



El Colegio de la Frontera Sur

Insectos descortezadores: estudio local en la Reserva de la
Biosfera Tehuacán-Cuicatlán y distribución regional actual y
ante cambio climático

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar al grado de Maestra en
Ciencias en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Por

Maricruz Martínez Velasco

2018



PORTADILLA DE TESIS DE MAESTRÍA

El Colegio de la Frontera Sur

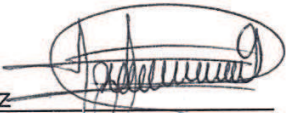

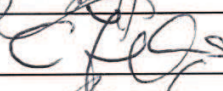



San Cristóbal de Las Casas, ____ de junio del 2018.

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Maricruz Martínez Velasco

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada
Insectos descortezadores: estudio local en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán
y distribución regional actual y ante cambio climático

para obtener el grado de **Maestro (a) en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**

	Nombre	Firma
Director/a	<u>Dario Alejandro Navarrete Gutiérrez</u>	
Asesor/a	<u>Arturo Carrillo Reyes</u>	
Asesor/a	<u>Christiane Junghans</u>	
Sinodal adicional	<u>Benigno Gómez y Gómez</u>	
Sinodal adicional	<u>Fausto Bolom Ton</u>	
Sinodal suplente	<u>Jorge Castellanos Albores</u>	

DEDICATORIA

A mi familia: herman@s y abuelo.

En especial a mi madre Cristina.

A mi padre † y mi hermano †.

A Miguel Ángel por estar a mi lado

y apoyarme siempre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar la maestría en ciencias en El Colegio de la Frontera Sur.

A las personas que colaboraron en la realización de esta tesis, al Dr. Dario A. Navarrete Gutiérrez por su asesoría y contribución desde el principio y al Dr. Arturo Carrillo Reyes por sus revisiones y comentarios en el escrito.

A la M. en C. Christiane Junghans por sus valiosas aportaciones y apoyo en el proceso.

A los sinodales: M. en C. Benigno Gómez y Gómez, Dr. Fausto Bolom Ton y Dr. Jorge Castellanos Albores por sus comentarios y observaciones que ayudaron a enriquecer el escrito.

Al SIBE de la unidad San Cristóbal de Las Casas por su labor.

A mis compañer@s de la maestría.

A las comunidades de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán por recibirme y permitirme realizar el trabajo de campo.

CONTENIDO

RESUMEN	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	2
Literatura citada	7
CAPÍTULO II. ARTÍCULO ENVIADO A LA REVISTA BOSQUE.....	13
Percepción y atención del daño por descortezador en seis comunidades de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, México.....	13
Resumen.....	13
Introducción	14
Métodos	15
Resultados	19
Discusión	25
Conclusión	29
Agradecimientos	30
Referencias.....	30
CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE CUATRO ESPECIES DE DESCORTEZADOR Y SUS PRINCIPALES HOSPEDEROS	35
Resumen.....	35
Introducción	36
Materiales y métodos.....	38
Resultados	44
Discusión	49
Conclusión	52
Literatura citada	53
CAPÍTULO IV. REFLEXIONES FINALES.....	62
Literatura citada	64
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES	67
Anexos	69

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II. ARTÍCULO ENVIADO A LA REVISTA BOSQUE.....	13
Cuadro 1. Características socio-ambientales de cada localidad.....	17
Cuadro 2. Aprovechamiento maderable por localidad..	20
CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE CUATRO ESPECIES DE DESCORTEZADOR Y SUS PRINCIPALES HOSPEDEROS	35
Cuadro 1. Características físico-ambientales, número de registros totales (N) y porcentaje de registros usados como entrenamiento (Tr) para las especies objetivo de descortezador.....	39
Cuadro 2. Características físico- ambientales, número de registros totales (N), y porcentaje de registros usados como entrenamiento (Tr) para las especies de pinos seleccionados y que son hospederos confirmados de las especies de descortezador incluidas en el presente estudio.....	40
Cuadro 3. Variables climáticas para cada especie de descortezador ¹ y hospedero.....	43
Cuadro 4. Variables climáticas con la mayor contribución a los modelos de descortezadores ¹ y de sus principales hospederos.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	2
Figura 1. Proceso de modelación mediante el algoritmo MaxEnt	6
CAPÍTULO II. ARTÍCULO ENVIADO A LA REVISTA BOSQUE.....	13
Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio	16
Figura 2. Signos de daño en árboles por localidad.....	21
Figura 3. Superficie afectada en hectáreas por localidad considerando las respuestas de los encuestados	22
CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE CUATRO ESPECIES DE DESCORTEZADOR Y SUS PRINCIPALES HOSPEDEROS	35
Figura 1. Mapas de distribución potencial para el período actual (1969-1990) correspondientes a los incisos a, c, e y g, para el escenario HadGEM-ES del 2070 los incisos b, d, f y h. DAB= <i>D. adjunctus</i> Blanford 1897; DFZ= <i>D. frontalis</i> Zimmerman 1868; DMAS= <i>D. mesoamericanus</i> Armendáriz-Toledano & Sullivan 2015; DMH= <i>D. mexicanus</i> Hopkins 1905. PHW= <i>P. hartwegii</i> Lindl. 1839; PPR= <i>P. pringlei</i> Shaw. 1905; PLP= <i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham. 1831; POO= <i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltdl. 1838; PTC= <i>P. teocote</i> Schltdl. & Cham. 1830 y PMX= <i>P. maximinoi</i> H. E. Moore 1966.....	47
Figura 2. Superficie potencial (a) y área adecuada en km ² (b) de cuatro especies de descortezador para las condiciones actuales (1969-1990) y para el escenario climático HadGEM2-ES RPC8.5 del 2070.....	49

RESUMEN

Los insectos descortezadores son considerados una amenaza para los ecosistemas forestales debido a que pueden provocar la muerte de árboles a escala de paisaje; por los potenciales efectos del cambio climático se esperan brotes de mayor magnitud y afectación. Esta tesis abarcó dos enfoques en relación a la presencia de los descortezadores: un enfoque local que involucra el impacto en seis comunidades dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán donde se analizó la percepción del daño y manejo del insecto por los comuneros a través de encuestas y entrevistas semiestructuradas; y otro enfoque global mediante la modelación de la distribución potencial de cuatro especies de descortezador registradas en esta zona y dos de sus principales hospederos, así como su proyección para el escenario climático HadGEM2-ES RCP8.5 del 2070. Asimismo se obtuvo el área adecuada para cada insecto considerando sus hospederos. Se encontró que bajo un enfoque local se presta poca importancia a los daños por descortezador debido a la falta de un aprovechamiento forestal comercial. Mediante el enfoque global, la variable que mejor contribuyó al modelo de distribución para los descortezadores y los pinos fue la estacionalidad de la temperatura (Bio4). Se obtuvo una disminución en la distribución potencial y el área adecuada para *Dendroctonus adjunctus* y *Dendroctonus mexicanus* y un aumento en *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mesoamericanus*. Los mapas de distribución generados a partir de los modelos son un insumo que puede ser usado en estrategias de monitoreo respecto a zonas que a futuro pueden ser afectadas por descortezadores y toman importancia en sitios donde se han presentado brotes aunque no existan intereses de aprovechamiento forestal comercial, como el caso de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Palabras clave: brotes de descortezador, afectación, cambio climático, aprovechamiento forestal

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales cubren cerca del 30% de la superficie terrestre y proporcionan diferentes servicios ecológicos, económicos y estéticos (Bonan 2008), incluyendo recursos maderables y no maderables formando parte de los medios de vida de las comunidades rurales (FAO 2012). Entre las funciones de estos ecosistemas se encuentra la regulación del microclima y la protección de las cuencas hidrológicas (Merino et al. 1997), así como la fijación de carbono, lo cual, contribuye a la mitigación de los efectos del cambio climático (Torres-Rojo et al. 2016).

Desde un enfoque local, las prácticas de manejo en áreas forestales, no sólo incluyen el aprovechamiento comercial de la madera, sino también, la obtención de bienes para el consumo doméstico y poseen un valor patrimonial para las comunidades con superficie forestal (Merino 2011). En el caso de México, estas comunidades representan 70% de la propiedad colectiva de los bosques (Merino 2004).

Los insectos del género *Dendroctonus* son un componente natural de los bosques templados que permiten la regeneración y el recambio de las especies forestales a través de la selección de los árboles viejos y enfermos (Bentz 2005). Sin embargo, cuando los insectos se dispersan hacia árboles sanos y de diferentes edades (Durán y Poloni 2014) pueden provocar daños a gran escala y convertirse en brotes epidémicos (Martinson et al. 2013) o considerarse plagas debido al impacto económico en el comercio internacional de la madera (FAO 2012).

En Norte y Centro América se distribuyen 17 especies del género *Dendroctonus* (Wood 1982). Particularmente en México, Cibrián y colaboradores (1995) reconocen 12 especies relacionadas con la diversidad y endemismo de sus hospederos del género *Pinus* del cual colonizan 25 de 42 especies de pinos presentes (Farjon y Styles

1997). Estos insectos seleccionan a sus hospederos dependiendo de los compuestos volátiles que exudan (Erbilgin et al. 2007), los cuales varían en tipo y concentración permitiéndoles distinguir entre diferentes especies arbóreas y evaluar la condición de éstas (Pureswaran y Borden 2003). Por lo tanto, existen especies generalistas, que utilizan más del 60% de los hospederos dentro de su área geográfica, y especialistas que usan menos del 40% (Kelly y Farrell 1998).

Los insectos del género *Dendroctonus* son los agentes de mayor daño en los bosques de coníferas del hemisferio norte (Armendáriz-Toledano y Zúñiga 2017). Estos daños, se miden en términos económicos de acuerdo a la superficie afectada por los insectos, las tasas de mortalidad de los hospederos (Morris et al. 2017) y el impacto económico en la población dependiente de los recursos forestales (Pye et al. 2011). En México, estos insectos han provocado la muerte de pinos en diferentes estados, de 1990 a 2012 representaron el 39.8% de todas las plagas y enfermedades (CONAFOR 2013) y los brotes se han intensificado hasta superar los disturbios por incendios en 2013 (Durán y Poloni 2014).

De acuerdo con el panel intergubernamental de cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2014), se espera un incremento de la temperatura media global $>1.5^{\circ}\text{C}$ para el período 2081-2100, debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades humanas. Los efectos de estos cambios en la temperatura y precipitación pueden influir en el crecimiento de las plantas a través de la fotosíntesis y provocar el avance de los bosques templados hacia los polos (Grace et al. 2002), así como cambios en la distribución altitudinal y latitudinal de diversas especies (Parmesan et al. 1999; Wilson et al. 2005).

Debido a la sensibilidad de los componentes del clima de los insectos fitófagos (Dale et al. 2001), se pueden generar brotes de descortezador más extensos, severos y frecuentes (Allen et al. 2010), así como una mayor susceptibilidad de sus hospederos debido al estrés por sequías constantes (Anderegg et al. 2015) y pérdidas económicas en la producción maderable. También, algunas prácticas de manejo silvícolas como la tala selectiva o eventos como los incendios (Covington et al. 1997) pueden llevar a

árboles homogéneos en edad, estructura y vigor (McDowell et al. 2008) y provocar una mayor susceptibilidad a la colonización por parte de los insectos.

El papel de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), como estrategia de conservación, puede conducir a la mitigación de los efectos del cambio climático, dependiendo del manejo y la integridad de sus ecosistemas (Hannah 2008). Este manejo en México, depende de las poblaciones ubicadas dentro de las áreas protegidas y del co-manejo a través de instituciones como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

En la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), un ANP ubicada en los estados de Puebla y Oaxaca, se reporta la presencia de especies del género *Dendroctonus* desde 2005 en las localidades de Concepción Pápalo y San Juan Tepeuxila (COFOSA 2009). Dentro de esta zona se encuentran diferentes asociaciones de bosque templado: encino (12%), coníferas (5%) y pino-encino (3%) (SEMARNAT-CONANP 2013); cuyas especies arbóreas (*Pinus* y *Quercus*) son consideradas las más vulnerables al cambio climático debido a un rango estrecho de tolerancia térmica (Laurent y Vilá 2003). Por lo anterior, es importante conocer el manejo al que están expuestos estos ecosistemas, así como estimar posibles afectaciones que puedan sufrir por agentes de disturbios.

Debido al rol que juegan en los bosques de coníferas de Norte y Centro América y al registro reciente, de brotes más graves y frecuentes en toda su historia, es de interés conocer la distribución potencial actual de estas especies (Bentz et al. 2010; Salinas-Moreno et al. 2010; Evangelista et al. 2011). En este estudio se abarcan dos enfoques para analizar la presencia de descortezador a partir de las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo se perciben y controlan los daños por descortezadores en seis comunidades de la RBTC? y ¿Cuál es la distribución potencial de cuatro especies de descortezador reportadas en la RBTC y dos de sus principales hospederos para el período actual y bajo un escenario climático del 2070?

La primera pregunta corresponde a un enfoque local, que toma en cuenta el punto de vista de los poseedores de terrenos forestales, quienes pueden verse

afectados directamente por la presencia de descortezadores. Los objetivos de este enfoque fueron analizar la percepción de los comuneros sobre el daño de los descortezadores en los bosques de seis localidades dentro de la RBTC y las actividades de manejo que realizan para contrarrestarlos, además expone el papel de las instituciones que intervienen en la atención del daño por estos insectos. La metodología seguida consistió en encuestas y entrevistas semiestructuradas a los comuneros y actores encargados del área forestal en la Comisión Nacional Forestal y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Los resultados y análisis se muestran en el segundo capítulo de este documento.

La segunda pregunta corresponde a un enfoque global, debido a que abarca una escala mayor a 10,000 km (Pearson y Dawson 2003) que incluye la distribución regional de las especies de descortezador desde Norte hasta Centroamérica. Los objetivos particulares consistieron en determinar la distribución potencial actual y ante un escenario de cambio climático de cuatro especies de descortezador registradas dentro de la RBTC y dos de sus principales hospederos, además del área adecuada para cada insecto a partir de la distribución de las especies del género *Pinus*.

Para determinar la distribución de los insectos descortezadores, una herramienta utilizada son los modelos de nichos ecológicos, estos toman en cuenta las variables escenopoéticas, aquellas que no son consumidas como la elevación y la temperatura (Hutchinson 1978) y donde no tienen efecto visible las variables bióticas o bionómicas que hacen referencia a aquellas que son consumidas y son objetivo de competencia.

Estos modelos son procedimientos estadísticos que estiman el área ocupada por una especie en el sentido estricto, sin embargo, cuando se utilizan registros de presencia, se estima un conjunto de variables ambientales que transfieren esta información en ambientes escenopoéticos similares de los puntos de presencia dependiendo del algoritmo utilizado (Jiménez-Valverde et al. 2008). El resultado de estos modelos es la distribución potencial de las especies (Peterson et al. 2011).

El algoritmo utilizado en este estudio fue el de máxima entropía, el cual, estima la probabilidad de que una especie este presente dadas las condiciones ambientales, ajustando una función que discrimina los datos de presencia frente a los datos del entorno (Elith et al. 2011). Se siguió el procedimiento mostrado en la figura 1, donde se observa la entrada de datos al modelo a partir de los registros de presencia separados en dos conjuntos que permiten la evaluación del mismo. Las variables ambientales fueron seleccionadas a partir de un análisis de correlación y aquellas más significativas de acuerdo a la biología de la especie.

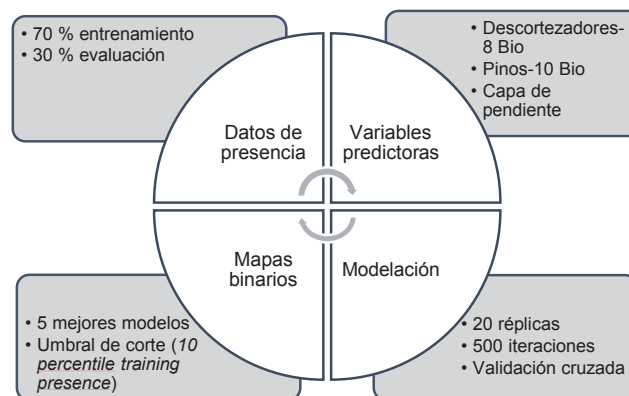


Figura 1. Proceso de modelación mediante el algoritmo MaxEnt. Elaboración propia.

Los detalles y resultados de este proceso se muestran en el capítulo tres, donde se incluye la distribución potencial de cada especie y su proyección para el escenario climático HadGEM2-ES, elegido por incluir componentes oceánicos, atmosféricos, hielo marino y componentes del sistema terrestre (ES) como la dinámica vegetal y la biología del océano (Martin et al. 2011). Se seleccionó un forzamiento radiativo alto (RCP8.5) del 2070, ya que bajo condiciones severas de emisiones, se podrían esperar mayores cambios en las condiciones climáticas. Este artículo incluye cuáles variables determinan la distribución de cuatro especies de descortezador reportadas para la RBTC mediante la modelación de la distribución potencial. También se obtuvo el área adecuada a partir de la distribución de dos hospederos para cada insecto.

En el capítulo cuatro se incluyen las reflexiones finales respecto a los enfoques utilizados y los hallazgos más importantes de los artículos realizados, así como la asociación que tienen y las limitantes e implicaciones en la presencia de descortezadores.

En el último capítulo se exponen las conclusiones generales de acuerdo a los resultados de cada artículo.

LITERATURA CITADA

- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, Kitzberger T, Rigling A, Breshears DD, Hogg EHT, et al. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259:660-684.
- Anderegg WRL, Hicke JA, Fisher RA, Allen CD, Aukema J, Bentz B, Hood S, Lichstein JW, Macalady K, McDowell N, et al. 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist* 208(3):674-683.
- Armendáriz-Toledano F, Zúñiga G. 2017. Illustrated key to species of genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) occurring in Mexico and Central America. *Journal of Insect Science* 17:1-15.
- Bentz B. 2005. Bark Beetle Outbreaks in Western North America: Causes and Consequences. Snowbird, Utah. 44 p.
- Bentz BJ, Régnière J, Fettig CJ, Hansen M, Hayes JL, Hicke JA, Kelsey RG, Negrón JF, Seybold SJ. 2010. Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: Direct and indirect effects. *BioScience* 60(8):602-613.
- Bonan GB. 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320(5882):1444-1449.

- Cibrián D, Méndez JT, Campos R, Yates III HO, Flores JE. 1995. Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 453 p.
- COFOSA (Consultoría forestal y servicios agropecuarios SA de CV). 2009. Estudio regional forestal. Unidad de manejo forestal 2010. Región Cañada. Oaxaca, México. 336 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. El medio ambiente en México 2013-2014. [Consultada 15/03/2018]. http://www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/02_ecosistemas/2_3.html.
- Covington WW, Fulé PZ, Moore MM, Hart SC, Kolb TE, Mast JN, Sackett SS, Wagner MR. 1997. Restoring ecosystem health in ponderosa pine forests of the southwest. *Journal of Forestry* 95(4):23-29.
- Dale VH, Joyce LA, McNulty S, Neilson RP, Ayres MP, Flannigan MD, Hanson PJ, Irland LC, Lugo AE, Peterson CJ, et al. 2001. Climate Change and Forest Disturbances: Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *Bioscience* 51(9):723-734.
- Durán E, Poloni A. 2014. Escarabajos Descortezadores: diversidad y saneamientos en bosques de Oaxaca. *Biodiversitas* :7-12.
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík M, Chee YE, Yates CJ. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17:43-57.
- Erbilgin N, Mori SR, Sun JH, Stein JD, Owen DR, Merrill LD, Campos-Bolaños R, Raffa KF, Méndez-Montiel T, Wood DL, et al. 2007. Response to host volatiles by native and introduced populations of *Dendroctonus valens* (Coleoptera:

- Curculionidae, Scolytinae) in North America and China. *Journal of Chemical Ecology* 33:131-146.
- Evangelista PH, Kumar S, Stohlgren TJ, Young NE. 2011. Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US. *Forest Ecology and Management* 262(3):307-316.
- FAO. 2012. Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal. Roma, Italia: Organización de las Naciones unidad para la agricultura y la alimentación. 164 p.
- Farjon A, Styles BT. 1997. *Pinus* (Pinacea). *Flora Neotropica*, Monograph 75. New York, USA: Organization for Flora Neotropica. The New York Botanical Garden.
- Grace J, Beringer F, Nagy L. 2002. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany* 90:537-544.
- Hannah L. 2008. Protected areas and climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:201-212.
- Hutchinson GE. 1978. *An Introduction to Population Ecology*. New Haven, CT: Yale University Press.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Geneva, Switzerland. 151 p.
- Jiménez-Valverde A, Lobo JM, Hortal J. 2008. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions* 14:885-890.
- Kelly ST, Farrell BD. 1998. Is specialization a dead end? The phylogeny of the host use in *Dendroctonus* bark beetles (Scolytidae). *Evolution* 52(6):1731-1743.

- Laurent F, Vilá M. 2003. Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands. *Journal of Vegetation Science* 14:389-398.
- Martin GM, Bellouin N, Collins WJ, Culverwell ID, Halloran PR, Hardiman SC, Hinton TJ, Jones CD, McDonald RE, Brown AR, et al. 2011. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development* 4:723-757.
- Martinson SJ, Ylloja T, Sullivan BT, Billings RF, Ayres MP. 2013. Alternate attractors in the population dynamics of a tree-killing bark beetle. *Population Ecology* 55:95-106.
- McDowell N, Pockman WT, Allen CD, Breshears DD, Kolb T, Plaut J, Sperry J, West A, Williams DG, Yepez EA, et al. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* 178(4):719-739.
- Merino L. 2004. Conservación o deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México. México, DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. 339 p.
- Merino L. 2011. Rights, pressures and conservation in forest regions of Mexico. In: de Castro F, Hogenboom B, Baud M, eds. *Environmental governance in Latin America*. Palgrave Macmillan. p. 1-23.
- Merino L, Alatorre G, Cabarle B, Chapela F, Madrid S. 1997. El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad. Primera ed. Cuernavaca, Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Consejo Mexicano para la Silvicultura Sostenible, World Resources Institute. 131 p.

- Parmesan C, Ryrholm N, Stefanescu C, Hill JK, Thomas CD, Descimon H, Huntley B, Kaila L, Kullberg J, Tammaru T, et al. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579–583.
- Pearson RG, Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12:361–371.
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Bastos Araújo M. 2011. *Ecological niches and geographic distributions. United States of America: Princeton University Press.* 316 p.
- Pureswaran DS, Borden JH. 2003. Is bigger better? Size and pheromone production in the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Insect Behavior* 16(6):765-782.
- Pye JM, Holmes TP, Prestemon JP, Wear DN. 2011. Economic Impacts of the Southern Pine Beetle. In: Coulson RN, Klepzing K. eds: *Southern Pine Beetle II.* Department of Agriculture Forest Service. p. 213-222.
- Salinas-Moreno Y, Ager A, Vargas CF, Hayes JL, Zúñiga G. 2010. Determining the vulnerability of Mexican pine forests to bark beetles of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Forest Ecology and Management* 260:52-61.
- SEMARNAT-CONANP (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2013. Programa de manejo Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. México DF, México. 329 p.
- Torres-Rojo JM, Moreno-Sánchez R, Mendoza-Briseño MA. 2016. Sustainable forest management in Mexico. *Current Forestry Reports* 2:93-105.

- Wilson RJ, Gutiérrez D, Gutiérrez J, Martínez D, Agudo R, Monserrat VJ. 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8:1138-1146.
- Wood SL. 1982. The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae). A taxonomic monograph. *Great Basin Naturalist*. Memoirs 6. Provo, Utah: Brigham Young University.

1 **CAPÍTULO II. ARTÍCULO ENVIADO A LA REVISTA BOSQUE**

2 **Percepción y atención del daño por descortezador en seis comunidades de la Reserva de la**
3 **Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, México**

4 **Maricruz Martínez Velasco ^b, Christiane Junghans ^{a*}, Arturo Carrillo Reyes ^c, y Dario**
5 **Alejandro Navarrete Gutiérrez ^d**

6 * Autor de correspondencia: ^a El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Departamento de
7 Agricultura, Sociedad y Ambiente. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n. C.P. 29290. San
8 Cristóbal de las Casas. Chiapas. México. cjunghans@ecosur.mx

9 ^b El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Departamento de Conservación de la Biodiversidad

10 ^c Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Sustentabilidad y Ecología Aplicada .1^a Sur
11 Poniente No. 1460. C. P. 29000. Tuxtla Gutiérrez. Chiapas. México

12 ^d El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Laboratorio de Análisis e Información Geográfica

13 **RESUMEN**

14 Los insectos descortezadores constituyen una amenaza a los ecosistemas forestales cuando se convierten
15 de brotes endémicos a epidémicos ya que pueden provocar una disminución en los almacenes de madera.
16 En el caso de México, los recursos naturales de muchos territorios de ejidos y comunidades se
17 administran de manera colectiva. Se abordó la percepción que los comuneros tienen sobre la presencia
18 de descortezadores en los bosques de coníferas y latifoliadas de seis localidades dentro de la Reserva de
19 la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán y se documentó las actividades que realizan para su manejo y control.

20 Se aplicó una metodología mixta y se trianguló la información obtenida de diferentes fuentes;
21 mediante encuestas a comuneros, entrevistas semiestructuradas a las autoridades de bienes comunales, y
22 al personal encargado del área forestal de la CONAFOR y la CONANP, respectivamente, así como la
23 revisión de informes técnicos y literatura.

24 El interés principal en estas localidades es un uso múltiple del bosque, no un aprovechamiento
25 forestal comercial porque consideran que esta actividad deterioraría los bosques, por lo que el manejo
26 silvícola no es prioridad de los comuneros. Reconocen los brotes como endémicos, aunque las
27 instituciones introdujeron el concepto de plaga. En algunos casos, han construido conocimiento sobre los
28 descortezadores y su control por la intervención de externos. Ya que los insectos carecen de importancia

29 local, se deben buscar esquemas de monitoreo y control a través de una mayor coordinación entre
30 diversos actores.

31 *Palabras clave:* *Dendroctonus*, brote epidémico, manejo forestal, saneamiento forestal, control de plagas

32 INTRODUCCIÓN

33 Las especies del género *Dendroctonus*
34 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae) tienen
35 importancia ecológica y económica en los
36 ecosistemas forestales (Six y Bracewell 2015);
37 estos insectos pueden colonizar diferentes
38 especies de pinos dependiendo de los
39 compuestos volátiles que exudan (Erbilgin *et al.*
40 2007) y pueden terminar con rodales completos
41 provocando una disminución en los almacenes
42 de madera (Six y Bracewell 2015). Aunque
43 contribuyen a la renovación de los bosques a
44 través del ataque a árboles viejos o enfermos,
45 cuando la densidad de población aumenta,
46 pueden provocar brotes epidémicos y afectar a
47 árboles sanos y de diferentes edades (Durán y
48 Poloni 2014), además son considerados plaga
49 debido al impacto económico en el comercio de
50 productos maderables (FAO 2012). Por otro
51 lado, el manejo silvícola que incluye prácticas de
52 modificación de los rodales como la tala
53 selectiva, puede provocar una homogenización
54 en edad y especies arbóreas (Covington *et al.*
55 1997), y en consecuencia una mayor
56 susceptibilidad a la colonización por parte de los
57 insectos (Feeney *et al.* 1998).

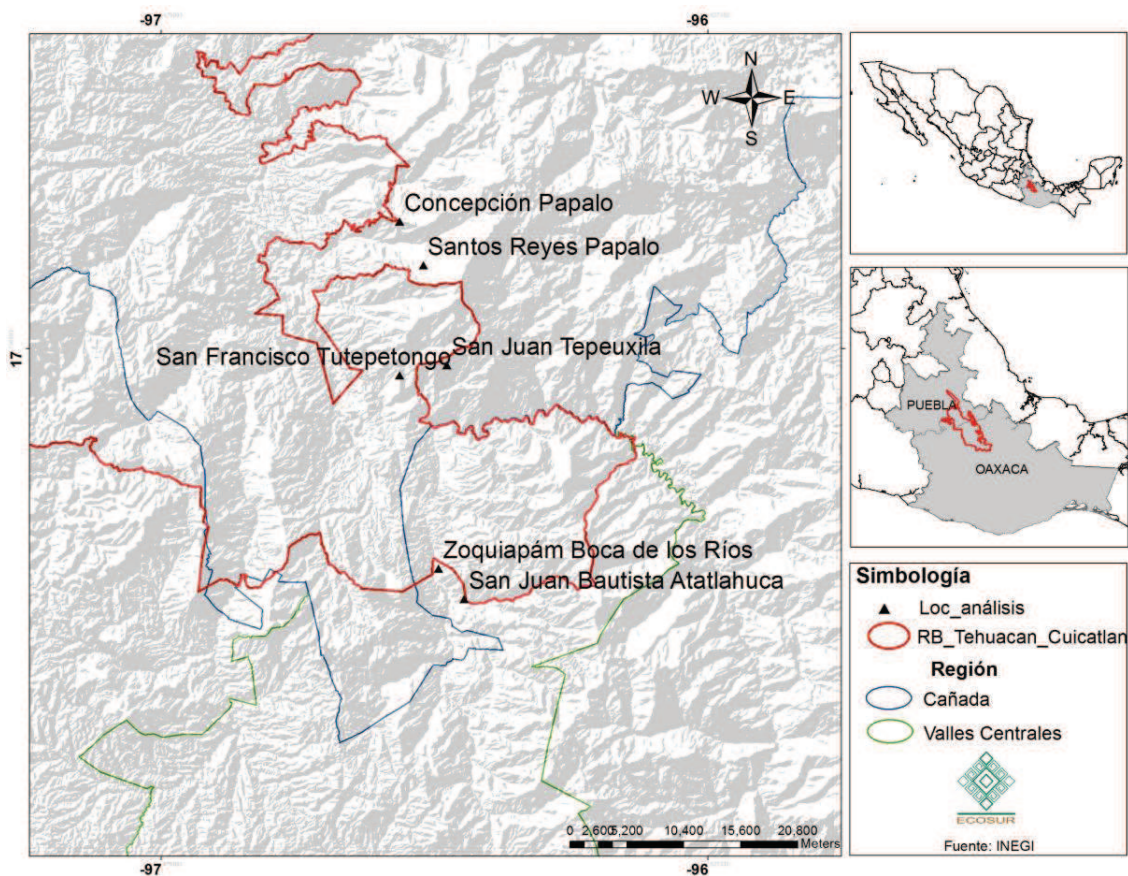
58 En México, los daños por
59 descortezadores representaron el 39.8% de todas
60 las plagas y enfermedades de 1990 a 2012

61 (CONAFOR 2013). Las actividades de
62 saneamiento de las áreas afectadas por estos
63 insectos se realizan de acuerdo los lineamientos
64 técnicos de la NOM-019-SEMARNAT-2006
65 guiados por la Comisión Nacional Forestal
66 (CONAFOR) y la Secretaría del Medio
67 Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
68 es la encargada de expedir los certificados y
69 autorizaciones respecto a medidas fitosanitarias.
70 Los poseedores de los terrenos forestales son los
71 responsables de llevar a cabo los trabajos de
72 saneamiento.

73 Una característica importante de los
74 bosques en México, es la administración de los
75 recursos naturales de manera colectiva en
76 territorios de propiedad común de ejidos
77 (sistema de distribución y posesión de la tierra
78 que se institucionalizó después de la revolución
79 mexicana) y comunidades (figura de posesión
80 colectiva que fue reconocida en la época
81 colonial) (Bray *et al.* 2007). Se reportan el “uso
82 múltiple del bosque” para obtener madera,
83 combustible, recursos alimenticios y
84 medicinales (Bolom 2005), y el manejo forestal
85 comunitario, que se refiere a empresas forestales
86 comunitarias orientadas a la comercialización de
87 recursos de propiedad común (Bray *et al.* 2007),
88 específicamente de la madera (aprovechamiento
89 maderable), en este caso. Nos referimos al

90 manejo forestal como todas las actividades que 121 Este estado ocupó el primer lugar
91 modifican la estructura y composición de los 122 nacional en afectación por insectos y
92 rodales con el fin de comercializar la madera. 123 enfermedades en el 2015 con una superficie de
93 Los brotes de insectos del género 124 18.789 hectáreas afectadas (INEGI 2016).
94 *Dendroctonus* también toman importancia 125 Registros de insectos del género *Dendroctonus*
95 debido al incremento de la temperatura que ha 126 del 2004 al 2011 muestran una superficie dañada
96 ocurrido en los últimos años, y que provoca 127 de 7.734 hectáreas, afectando sobre todo a la
97 estrés por sequía en los árboles y la posibilidad 128 región Sierra Norte y Valles Centrales
98 de brotes de *Dendroctonus* más extensos, 129 (Castellanos-Bolaños *et al.* 2013). Este hecho es
99 severos y frecuentes (Allen *et al.* 2010). 130 de gran importancia para el estado debido a que
100 En este contexto, las Áreas Naturales 131 ocupa el quinto lugar respecto al
101 Protegidas (ANP) son consideradas una 132 aprovechamiento maderable en México
102 herramienta para la mitigación de los efectos del 133 (SEMARNAT 2016).
103 cambio climático a través de la conservación e 134 El presente trabajo, describe cómo los
104 integridad de sus ecosistemas (Prüssmann *et al.* 135 comuneros de seis localidades dentro de la
105 2016). 136 Reserva perciben la presencia y afectación por
106 En la Reserva de la Biosfera Tehuacán- 137 especies de *Dendroctonus*. También identifica
107 Cuicatlán (RBTC), el aprovechamiento forestal 138 las prácticas que realizan para controlarlo, y se
108 comercial es considerado una actividad primaria 139 relacionan tomando en cuenta el contexto de los
109 importante de acuerdo al programa de manejo 140 intereses locales respecto a los recursos
110 (SEMARNAT-CONANP 2013), donde también 141 forestales. Se reconoce la posición de diversos
111 se estipula la conservación de la diversidad 142 actores respecto a las actividades y
112 biológica, siendo los bosques de coníferas y 143 recomendaciones para atender los brotes en
113 latifoliadas uno de los objetos de conservación. 144 dicha área.
114 Dentro de esta área, existen 278 localidades 145
115 (SEMARNAT-CONANP 2013), sin embargo, 146 MÉTODOS
116 se reporta la presencia de descortezadores en 147 *Área de estudio.* La Reserva de la Biosfera
117 localidades, nueve dentro del polígono, siete en 148 Tehuacán-Cuicatlán se ubica en las provincias
118 el área de influencia y dos en municipios 149 fisiográficas Sierra Madre del Sur (93%) y Eje
119 aledaños, todas correspondientes al estado de 150 Neovolcánico (7%) en los estados de Oaxaca y
120 Oaxaca (CONAFOR 2015). 151 Puebla, con una superficie de 490.186 hectáreas
152 (SEMARNAT-CONANP 2013).

153 De las 18 localidades con presencia de 162 criterios: reportes de presencia del
 154 descortezador, se seleccionaron las siguientes 163 descortezador, ubicación dentro de la Reserva,
 155 seis, cuyos datos generales se mencionan en la 164 beneficio (2 localidades) o no-beneficio (4
 156 figura 1: Concepción Pápalo (Concepción), San 165 localidades) del programa de Pago por Servicios
 157 Francisco Tutepetongo (Tutepetongo), San Juan 166 Ambientales y Aprovechamiento Maderable, así
 158 Tepeuxila (Tepeuxila), San Juan Bautista 167 como la disposición a participar y el otorgar el
 159 Atatlahuca (Atatlahuca), Zoquiápam Boca de los 168 permiso previo de las autoridades locales para
 160 Ríos (Zoquiápam) y Santos Reyes Pápalo 169 realizar encuestas y entrevistas.
 161 (Reyes); tomando en cuenta los siguientes



170

171 **Figura 1.** Mapa de localización de la zona de estudio

172 Location map of the study area

173 Estas localidades se encuentran en las 177 Zoquiápam) y pertenecen a la subprovincia
 174 regiones político-administrativas Cañada 178 fisiográfica sierras orientales de Oaxaca, la
 175 (Concepción, Tutepetongo, Tepeuxila y Reyes) 179 elevación oscila entre los 1000 msnm y los 2800
 176 y Valles Centrales de Oaxaca (Atatlahuca y 180 msnm (García-CONABIO 1998).

181 Los climas que se presentan van desde 194 Atlatlahuca, Tepeuxila y Concepción
 182 los secos áridos BSo (h') w en los límites con el 195 (SEMARNAT-CONANP 2013). También
 183 municipio de San Juan Bautista Cuicatlán hasta 196 existen áreas afines de bosque mesófilo de
 184 los semi cálidos subhúmedos y los templados: C 197 montaña en Tepeuxila y Reyes (SEMARNAT-
 185 (w1) y C (w2) (García E.-CONABIO, 1998). En 198 CONANP 2013). La superficie con bosque
 186 consecuencia, se encuentran diferentes tipos de 199 templado de cada núcleo agrario se muestran en
 187 vegetación: bosque tropical caducifolio en las 200 el cuadro 1, Zoquiápam cuenta con la menor
 188 partes altas y menores a 1500 msnm en 201 superficie con 4% (639 hectáreas) y la mayor
 189 Tutepetongo, bosque de *Quercus* que predomina 202 Concepción con 42% (5,576 hectáreas). Se habla
 190 en zonas por arriba de los 1400 msnm en 203 la lengua indígena cuicateca en Tepeuxila,
 191 Concepción, Tepeuxila y Tutepetongo (Reyes *et* 204 Reyes y Concepción y la chinanteca en el
 192 *al.* 2004), así como bosque de pino-encino donde 205 municipio de Atlatlahuca (SEMARNAT-
 193 es más dominante el pino y que se distribuye en 206 CONANP 2013).

207 **Cuadro 1.** Características socio-ambientales de cada localidad.

208 Socio-environmental characteristics by locality.

Localidad	Municipio	Población total	Población indígena	Superficie total (hectáreas)	Bosque ^a (hectáreas)
Concepción Pápalo	Concepción Pápalo	674	196	*12.984,7	5.576,4
San Francisco Tutepetongo	San Francisco Tutepetongo	694	164	*1.613,2	232,2
Santos Reyes Pápalo	Santos Reyes Pápalo	2.221	1.876	**928,5	*7.032,1
San Juan Tepeuxila	San Juan Tepeuxila	485	207	*5.914,9	Dato no disponible
San Juan Bautista Atlatlahuca	San Juan Bautista Atlatlahuca	726	103	*12.235,2	1.551,8
Zoquiápam los Ríos	Boca de San Juan Bautista Atlatlahuca	447	137	*14.180,7	639,0
				**2.146,5	

209

210 ^a Incluye bosque de coníferas y mesófilo de montaña; *Bienes comunales; **Ejido.

211 Fuente: Censo de población y vivienda (<http://www.inegi.org.mx>); Uso de suelo y vegetación (<http://www.inegi.org.mx>); Padrón e Historial
212 de Núcleos Agrarios (<http://www.ran.gob.mx>).
213

214 Dentro de las actividades principales en 245 a su vez identificaron a otros informantes que
215 esta zona, se encuentra el aprovechamiento 246 habían ocupado algún cargo en años anteriores
216 forestal comercial, regulado por instituciones 247 (método bola de nieve), dando un total de 53
217 como la CONAFOR y autorizada por la 248 personas encuestadas (Concepción-12,
218 SEMARNAT en Concepción, Tepeuxila, 249 Tutepetongo-2, Reyes-10, Tepeuxila-10,
219 Atatlahuca y Zoquiápam (SEMARNAT- 250 Atatlahuca-10, Zoquiápam-9). El cuestionario
220 CONANP 2013). Se practica el cultivo de maíz, 251 abarcó los recursos utilizados del bosque,
221 frijol y árboles frutales en Concepción, y el 252 eventos de afectación, síntomas del daño en el
222 turismo debido al atractivo de la cueva del chevé 253 arbolado, actividades de saneamiento,
223 (Tostado-Santiago 2010). 254 reforestación y apoyo institucional.

224 Estas localidades se rigen por el sistema 255 Se aplicaron un total de 12 entrevistas
225 de usos y costumbres; prevalece la economía 256 semiestructuradas a las autoridades de bienes
226 ceremonial en la que los beneficios se aplican 257 comunales de cada localidad y otras a aquellas
227 para el bien de la comunidad (CDI-PNUD 2008). 258 con permiso de aprovechamiento maderable
228 Martínez-Luna (2010) usa el término 259 (Concepción, Tepeuxila y Zoquiápam). Se
229 “comunalidad” y lo interpreta como un modelo 260 abarcaron temas sobre la organización de la
230 de organización socio-política que se sustenta en 261 comunidad, el papel de los prestadores de
231 valores como la cooperación, reciprocidad y 262 servicios técnicos, la vigilancia en el bosque, las
232 solidaridad; la asamblea comunitaria es la 263 anualidades aprovechadas, el destino de la
233 máxima autoridad. 264 madera y datos históricos sobre el

234 *Obtención de datos de campo.* Se utilizó una 265 aprovechamiento forestal. También se visitaron
235 metodología mixta (Mackenzie y Knipe 2006) 266 sitios afectados por descortezador en años
236 que incluye encuestas a comuneros y ejidatarios, 267 anteriores en Tutepetongo y brotes de pocos
237 así como entrevistas semiestructuradas a actores 268 árboles en Concepción y Tepeuxila, donde se
238 clave en la zona de estudio y revisión de 269 colectaron ejemplares de insectos que fueron
239 informes técnicos. 270 enviados al Colegio de la Frontera Sur-

240 La selección de las personas, para el caso 271 Tapachula para su identificación por una
241 de las encuestas, se realizó de manera cualitativa 272 especialista.

242 mediante un muestreo estratégico de acuerdo a 273 Por otro lado, se entrevistó al encargado
243 Ruiz e Ispizúa (1989) localizando a las 274 de sanidad forestal de la CONAFOR en Oaxaca,
244 autoridades de bienes comunales actuales y éstos 275 así como a la encargada del área forestal en la

276 Reserva para identificar las actividades de
277 control y seguimiento realizadas en las áreas con
278 afectación por descortezador, y la percepción
279 institucional sobre la presencia de este insecto.

280 *Análisis e interpretación de datos.* Se
281 capturaron las respuestas de las encuestas en el
282 programa SPSS (versión 21, IBM Inc.) donde se
283 realizó un análisis con estadística descriptiva
284 para obtener frecuencias y tablas de
285 contingencias con el fin de comparar las
286 variables de acuerdo a las características y el
287 contexto de cada localidad. Se presentan los
288 resultados de manera descriptiva; la
289 interpretación se basó en la conjunción de la
290 percepción de los fenómenos por parte de los
291 comuneros y la experiencia teórico-práctica de
292 los investigadores (Taylor y Bogdan 1987), y fue
293 apoyada por el análisis mediante palabras clave
294 de las transcripciones de las entrevistas
295 semiestructuradas.

297 RESULTADOS

298 *Aprovechamiento local de los bosques.* La
299 actividad principal de los encuestados es la
300 agricultura (43 encuestados=93%), como cultivo
301 principal destaca el maíz, seguido del frijol y
302 árboles frutales. También hacen uso de varios
303 recursos del bosque, tanto maderables (leña,
304 madera) como no maderables (hongos, agua,
305 hojarasca, plantas útiles). Estos recursos se
306 aprovechan para autoconsumo y venta
307 (principalmente madera y leña).

308 La heterogeneidad paisajística hace que
309 en esta pequeña porción de la reserva cada
310 comunidad tenga su propio patrón de
311 aprovechamiento y diferentes asociaciones de
312 vegetación. Existe bosque de pino en
313 Concepción y Atlatlahuca, una mayor presencia
314 de encino y de pino-encino, con pocas áreas de
315 exclusivamente pino en Tepeuxila y Reyes; y
316 bosques de encino y de pino-encino en
317 Tepeuxila y Zoquiápam.

318 El autoabasto con combustible (leña) fue
319 de mayor importancia; sin embargo, en las seis
320 localidades no se utiliza el pino sino,
321 preferentemente, el encino o especies que
322 provienen de la selva baja caducifolia en
323 Zoquiápam, Tutepetongo y Atlatlahuca. No se
324 requiere de un permiso si se extrae material de
325 árboles secos en poca cantidad que es
326 transportada por carga; al aprovechar encinos en
327 pie y cantidades que son transportadas en
328 camionetas, en cinco de las comunidades
329 necesitan obtener un permiso local expedido por
330 el comisariado de bienes comunales. El pino es
331 aprovechado para uso propio, del que se
332 obtienen tablas y morillos (polines) para la
333 construcción de casas y no es permanente, sino
334 limitado a ciertos eventos; se requiere un
335 permiso local que puede ser solicitado cada diez
336 años al comisariado.

337 Cuando el pino es aprovechado de
338 manera comercial es necesario solicitar un
339 permiso ante las instituciones correspondientes,

340 únicamente cuatro de las seis comunidades lo 357 venció en Tepeuxila y Zoquiápam, sin embargo,
 341 han solicitado (cuadro 2). Reyes y Tutepetongo, 358 tienen interés por seguir aprovechando, ya que
 342 no realizaron este aprovechamiento debido a la 359 cuentan con el estudio técnico de 10 años para
 343 poca superficie de pino que poseen (cuadro 1) y 360 ingresarlo a la SEMARNAT. En Zoquiápam, la
 344 a los acuerdos y reglamentos intracomunitarios 361 aprobación del permiso solicitado fue
 345 para evitar la corta de árboles. En Atlatlahuca y 362 condicionada al cumplimiento del requisito
 346 Zoquiápam, históricamente se realizó el 363 impuesto por la (CONAFOR) del saneamiento
 347 aprovechamiento maderable mediante 364 de áreas afectadas por descortezador.

348 concesiones autorizadas a la empresa Fábricas 365 Debido a ello, existe mayor interés por
 349 de papel Tuxtepec; en este sentido, no se trató de 366 parte de los comuneros en áreas con potencial de
 350 una actividad de la que se haya apropiado la 367 aprovechamiento. Actualmente sólo Concepción
 351 comunidad. En Atlatlahuca en vez de apoyar la 368 tiene un permiso vigente de aprovechamiento
 352 conservación, deterioró los bosques de pino y de 369 maderable, sin embargo, aún no ha cortado los
 353 pino-encino. 370 árboles de las anualidades correspondientes

354 El permiso para el aprovechamiento 371 debido a la falta de aprobación de la asamblea
 355 maderable gestionado por las comunidades 372 comunitaria.
 356 mediante la contratación de un asesor técnico,

373 **Cuadro 2.** Aprovechamiento maderable por localidad.

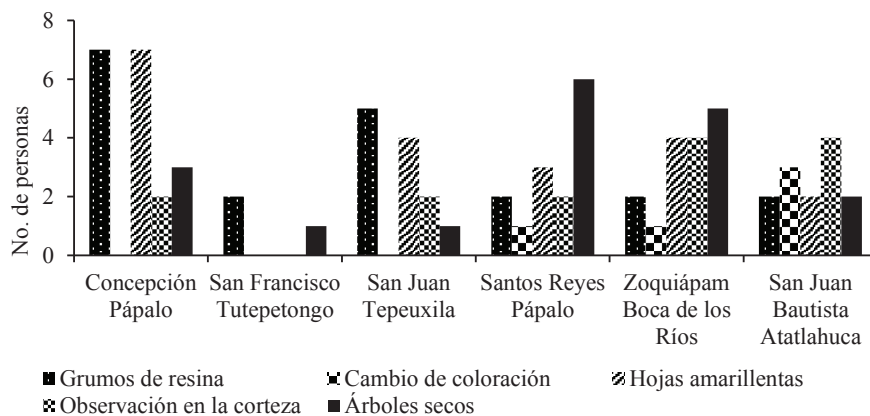
374 Forest management by locality.

375

Localidad	Período	Empresa	Permiso actual	Estado actual	Venta de madera plagada
Concepción Pápalo			2012	Sin aprovechamiento	2015
San Juan Tepeuxila	1990	Empresa de Jalisco	*2016		2016
San Juan Bautista Atlatlahuca	1970-2000	Fábricas de papel Tuxtepec	Sin permiso	Sin aprovechamiento	
Zoquiápam Boca de los Ríos	1990	Fábricas de papel Tuxtepec	*2013	Condicionado al saneamiento	2017

377 *Año de vencimiento del permiso.

378 La madera plagada se vendió en Concepción, 400 de los árboles) en esta comunidad: *D. adjunctus*
379 Tepeuxila y Zoquiápam, mediante la 401 Blandford 1897; y una especie secundaria (arriba
380 contratación de los mismos comuneros para las 402 al árbol cuando ya fue colonizado): *D.*
381 prácticas de “arrime y carga”, que consisten en 403 *aproximatus* Dietz 1890, además de otras
382 el traslado de los troncos cortados a los sitios 404 especies que se alimentan de árboles en proceso
383 donde son transportados para su venta. Los 405 de descomposición como *Cossonus* spp., esta
384 recursos económicos obtenidos de esta se 406 última junto con *Elacatis* spp., se encontraron
385 destinaron a la construcción de obras de 407 también en Tutepetongo y Concepción.
386 beneficio común como iglesia, caminos, 408 Por lo general, los pobladores
387 agencias municipales, compra de camionetas e 409 reconocieron más los signos de daño en los
388 insumos y permite tener recursos para el 410 árboles que la presencia de los insectos (figura
389 funcionamiento de la oficina del comisariado de 411 2). Los síntomas que más identificaron fueron
390 bienes comunales. 412 los grupos de resina en el tronco (20
391 *Identificación local del daño por* 413 encuestados =38%), y el color amarillento de las
392 *descortezadores*. Aunque la mayoría de los 414 acículas (20 encuestados =38%). El primer
393 encuestados (30 encuestados= 57%) reconoció a 415 síntoma de estos, fue más detectado en
394 los ejemplares mostrados como descortezadores, 416 Tepeuxila y Concepción, lo que les permitió
395 solamente en Tepeuxila los distinguieron de otro 417 realizar un diagnóstico temprano de la presencia
396 tipo de insectos que han visto en la corteza de los 418 del insecto, a diferencia de Reyes y Zoquiápam,
397 árboles. De acuerdo a la identificación realizada, 419 donde notaron el daño cuando los árboles ya
398 se encontró sólo una especie primaria de 420 estaban secos.
399 descortezador (aquella que inicia la colonización



421

422 **Figura 2.** Signos de daño en árboles por localidad.

423 Signs of damage in trees by location.

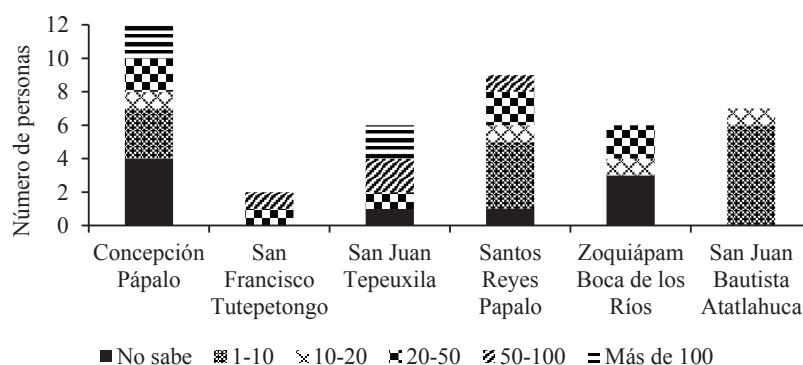
424 La identificación de estos síntomas 453 relacionado con un marcador histórico local
425 también depende de la frecuencia de los 454 debido a un conflicto agrario que tuvieron con la
426 recorridos de vigilancia, en todas las 455 comunidad colindante de Tutepetongo, y en
427 comunidades realizaron de uno a dos recorridos 456 2015-2016, cuando recibieron apoyos para
428 al mes, dependiendo de la distancia a los bosques 457 sanear las hectáreas afectadas. En este último
429 de pino que va desde una hora en Concepción 458 período también se presentaron daños en
430 hasta ocho horas de camino en Zoquiápam. 459 Concepción, Reyes y Zoquiápam (de acuerdo al

431 *Percepción local y gravedad de áreas dañadas.* 460 comisariado de bienes comunales). En
432 El término plaga es utilizado por los pobladores 461 Tutepetongo se presentaron estos brotes en el
433 para referirse a los descortezadores debido al 462 2010 y en Concepción en 2014-2015, donde
434 poder destructor que tienen, ya que acaban 463 mencionaron haber tenido más de 100 ha
435 completamente con el árbol y siempre están 464 afectadas (Figura 3), al igual que en Tepeuxila.
436 presentes en el bosque (aunque de manera 465 En el 2017, se identificaron brotes endémicos en
437 endémica), además por la influencia de las 466 Concepción y Tepeuxila (trabajo de campo),
438 instituciones, quienes contabilizan el daño por 467 aunque 77% de los encuestados (41 casos)
439 hectáreas. La gravedad del mismo estuvo 468 mencionaron haber observado árboles dañados
440 relacionado con la superficie afectada y con la 469 por causa de los descortezadores.

441 capacidad humana para controlar el avance de la 470 Los pobladores no fecharon con
442 afectación por este insecto. Mientras una 471 exactitud los inicios de la infestación por
443 afectación de 1-10 hectáreas (Atatlahuca) fue 472 descortezadores, y por lo tanto, existe una gran
444 considerada poco grave, un daño de 20-50 y de 473 variedad de respuestas. Dado que los daños
445 50-100 hectáreas fue muy grave. 474 comienzan en pocos árboles y van en aumento

446 Los primeros brotes de descortezador 475 con el paso de los años, hasta que se realiza el
447 (endémicos) de acuerdo a los comuneros 476 saneamiento, una detección temprana les resulto
448 ocurrieron en 1992, 1993 y 1997 en Zoquiápam, 477 difícil. Tampoco relacionaron la afectación con
449 Tepeuxila y Concepción, respectivamente. 478 otros marcadores históricos localmente

450 Los brotes epidémicos ocurrieron en 479 importantes que puedan facilitar la
451 Tepeuxila en dos períodos, de acuerdo al 480 reconstrucción de la línea de tiempo de la
452 comisariado de bienes comunales: 2005-2006 481 presencia de descortezador.



482

483 **Figura 3.** Superficie afectada en hectáreas por localidad considerando las respuestas de los encuestados.

484 Area affected in hectares by locality considering the answers of the respondents.

485

486 También se aprecia la discrepancia de las 507 instituciones. Anteriormente, los comuneros
 487 respuestas en relación al área afectada, por lo 508 descortezaban los árboles y enterraban el
 488 general, sólo recordaron los parajes o zonas 509 material afectado (16 encuestados=35%);
 489 donde hubo presencia de descortezador. Durante 510 actualmente, la técnica más utilizada (17
 490 el período en que la respectiva comunidad sufrió 511 encuestados=37%) es la aplicación de químicos
 491 mayores daños por descortezadores, estimaron 512 a la madera troceada para su posterior venta,
 492 como afectadas entre 1 y más de 100 hectáreas 513 seguido del descortezado y quemado de las
 493 (Concepción y Reyes), y entre 20 y más de 100 514 cortezas. En los casos donde sólo cortaron el
 494 hectáreas (Tepeuxila). 515 árbol (7 encuestados=15%), lo exponían a la

495 Lo que dañó de manera más significativa 516 intemperie para después utilizar la madera.
 496 el bosque fue el aumento de la infestación por 517 El daño a los árboles se puede evitar a
 497 plagas vinculado a incendios forestales previos. 518 través de recorridos de vigilancia (7
 498 También se encontró que los incendios se han 519 encuestados=13%) para detectar las primeras
 499 presentado en todas las localidades, y en tres de 520 afectaciones y realizando un control efectivo en
 500 ellas son apreciados como igual o más dañinos 521 los árboles infestados (12 encuestados=23%);
 501 para los bosques que las plagas. 522 7% (4 encuestados) mencionó la asesoría técnica

502 *Acciones de vigilancia, control y seguimiento a* 523 como otra opción.
 503 *brotos de descortezadores.* Las técnicas 524 Aunque en la realización de los
 504 aplicadas en las comunidades para el control del 525 saneamientos forestales también se presentó
 505 descortezador, fueron recomendadas 526 heterogeneidad en los recuerdos de los
 506 generalmente por los asesores técnicos o las 527 encuestados quienes no coincidieron con los

528 años precisos, se retomó lo reportado por la 560 atracción de los descortezadores, realizado en
529 mayoría de cada localidad. Se tuvieron los 561 Reyes, donde actualmente no existe presencia de
530 siguientes períodos de saneamiento de acuerdo a 562 descortezador; en Zoquiápam aún está pendiente
531 los encuestados: en Reyes y Concepción de 2014 563 la colocación de estas trampas por parte del
532 a 2015, y Tepeuxila y Zoquiápam ZBR en 2016. 564 asesor.

533 Para ello, obtuvieron primero la autorización del 565 *Reforestación.* Después de realizar el
534 saneamiento, asimismo recibieron apoyos en 566 saneamiento forestal, en los sitios visitados y de
535 insumos (gasolina y herramientas) y asesoría 567 acuerdo a lo mencionado por los comuneros se
536 técnica, por parte de las instituciones. Sin 568 notó una recuperación natural (árboles de 10
537 embargo, estos apoyos fueron insuficientes para 569 años de edad) en Tepeuxila y Zoquiápam e
538 sanear las áreas afectadas, de acuerdo al 30% de 570 inducida por medio de reforestaciones en
539 los encuestados (16 casos), esto se logró 571 Tutepetongo. En Tepeuxila, reforestaron áreas
540 contrarrestar mediante “tequios”, que son 572 dentro del programa de manejo forestal que
541 trabajos comunitarios no retribuidos (Merino 573 pueden ser aprovechadas en el futuro.

542 2004) realizados por los comuneros. Además 574 A menudo, los comuneros también
543 percibieron que los trámites tardaron demasiado 575 reforestan áreas donde no existe afectación,
544 para la notificación del saneamiento, lo que 576 producto de programas con especies de pino que
545 provocó una expansión de las áreas afectadas. 577 brinda la CONAFOR, ya que sólo existe un
546 Cabe mencionar que Reyes y 578 vivero en la localidad de Concepción con
547 Tutepetongo no recibieron apoyo por parte de la 579 especies nativas.

548 CONAFOR; Tutepetongo recibió recursos para 580 Por lo tanto, 53% de los encuestados (28
549 sanear y realizar barreras con el material muerto 581 casos) mencionó que la superficie de bosque ha
550 por parte de la Comisión Estatal Forestal 582 disminuido, 26% (14 casos) que sigue igual ya
551 (COESFO). En Zoquiápam, sanearon con el 583 que las zonas afectadas se recuperaron mediante
552 apoyo de los tequios que realizaron los 584 regeneración natural o reforestaciones, sólo 6%
553 comuneros, ya que consideran que es una 585 (3 casos) indico que la superficie arbórea ha
554 obligación efectuar estos trabajos comunitarios. 586 aumentado.

555 Otros apoyos que recibieron las 587 *El papel de las instituciones.* De acuerdo a las
556 localidades corresponden al programa de Pago 588 disposiciones legales enmarcadas en la Ley
557 por Servicios Ambientales (PSA), vigente en 589 General de Desarrollo Forestal Sustentable, los
558 Tutepetongo y Concepción, además de la 590 poseedores de los terrenos forestales son los
559 instalación de trampas con feromonas para la 591 encargados de realizar los saneamientos

592 forestales. La CONAFOR brinda prestadores de
593 servicios técnicos cuando los predios no cuentan
594 con algún asesor técnico ni con un programa de
595 manejo forestal; en el caso de contar con este
596 último, las localidades deben suspender el
597 aprovechamiento y realizar el saneamiento
598 forestal lo que lleva a los comuneros a atender
599 primero las áreas dentro de este programa. Para
600 que sea autorizada la notificación de
601 saneamiento por parte de la SEMARNAT, es
602 necesario enviar el informe técnico fitosanitario
603 para solicitar el permiso de la dirección regional
604 de la CONANP para predios dentro de un Área
605 protegida.

606 El tratamiento a los árboles afectados
607 debe realizarse con base a la NOM-019-
608 SEMARNAT-2006, sin embargo, algunas
609 actividades que influyen en la eficiencia de estos
610 tratamientos de acuerdo a la CONAFOR y
611 CONANP son: el adiestramiento y la aplicación
612 adecuada de las técnicas de saneamiento, la falta
613 de recursos económicos, la tardanza de las
614 notificaciones para realizar el saneamiento y la
615 desatención por parte de los poseedores de los
616 terrenos forestales debido a conflictos agrarios
617 en las localidades.

618 Ambas instituciones también
619 coincidieron en que un factor que ha
620 influenciado el aumento de las superficies
621 plagadas han sido las intensas sequías en el
622 estado así como los incendios.

623 La CONAFOR tiene el registro de las
624 siguientes especies en la Reserva: *D. adjunctus*,
625 *D. mexicanus* Hopkins 1905 y *D.*
626 *mesoamericanus* Armendáriz-Toledano &
627 Sullivan 2015 (especie recién descrita) e
628 identifica un daño en 12 localidades y realizaron
629 saneamientos forestales en las localidades de
630 estudio excepto para Zoquiápam y Atatlahuca.

631 De acuerdo a la CONANP, en 2016, se
632 formaron cinco brigadas forestales para atender
633 las afectaciones por el descortezador en el estado
634 de Oaxaca y las localidades que no cuentan con
635 un prestador de servicios técnicos.

636 DISCUSIÓN

637 El interés de las localidades de estudio se
638 basa en actividades de subsistencia mediante el
639 autoabasto de alimentos básicos y otros
640 productos que obtienen a partir de un uso
641 múltiple del bosque en el sentido de Bolom
642 (2005); no se han observado los elementos que
643 determinan un manejo forestal comunitario ya
644 que no se dedican al aprovechamiento comercial
645 constante y organizado de la madera (Bray *et al.*
646 2007).

647 La leña es uno de los recursos del bosque
648 más importante y la principal fuente de
649 combustible en las zonas rurales de México
650 (Masera *et al.* 2005) como también en las
651 localidades de este estudio; los pinos sirven
652 exclusivamente para la construcción y la venta
653 de madera. Aunque dos de las comunidades
654

655 reciben actualmente pagos por mantener
656 servicios ambientales, y está surgiendo
657 últimamente una propuesta ecoturística en una
658 comunidad, no se puede observar un mayor
659 interés por aprovechar los recursos del bosque
660 mediante la venta de productos no-maderables y
661 servicios, como mencionan Hernández-Aguilar
662 *et al.* (2017) para la región Mixteca Sur de
663 Oaxaca.

664 El aprovechamiento maderable de
665 manera comercial es considerado como una
666 actividad que deteriora los bosques, en
667 consecuencia, dos de ellas nunca han
668 considerado obtener el permiso de
669 aprovechamiento, y en otra, con la aprobación de
670 la asamblea, se ha decidido no aprovechar las
671 anualidades correspondientes del permiso
672 otorgado. Esta contradicción entre el
673 aprovechamiento maderable y la conservación
674 de los bosques, diverge de Bray (2010) quien
675 concluye que en comunidades con manejo
676 forestal no existe deforestación, o alcanza una
677 tasa baja, así como de Tomaselli y Hajjar (2011)
678 quienes proponen a las empresas forestales
679 comunitarias como estrategia para mitigar la
680 deforestación y emisiones de carbono. En la
681 RBTC, el aprovechamiento maderable se realizó
682 en por la empresa Fábricas de Papel Tuxtepec
683 durante 25 años y es asociada por los comuneros
684 con un impacto negativo sobre los bosques
685 debido a la extracción de madera sin permitir la
686 recuperación de los bosques.

687 Lo anteriormente expuesto toma
688 importancia al analizar la percepción local en
689 relación a la presencia y control de los
690 descortezadores. Mientras un manejo silvícola
691 deficiente y el pastoreo y aprovechamiento no
692 regulados predisponen a los árboles a la
693 colonización por descortezadores (Leal-Olivera
694 2014), las buenas prácticas en las actividades
695 forestales y la diversificación de especies y edad
696 de los rodales pueden reducir el riesgo de brotes
697 de descortezador (FAO 2012, Lieutier 2006).

698 En las localidades de estudio, los bosques
699 (coníferas y mesófilo de montaña) representan
700 en promedio 16% respecto a la superficie de
701 cada núcleo agrario, de estos, se obtienen
702 múltiples recursos (principalmente leña, madera
703 y plantas útiles) y la venta de madera de pino no
704 aporta ingresos sustanciales a la comunidad, por
705 lo que las infestaciones por descortezador no
706 constituyen un problema inmediato para la
707 sobrevivencia de las familias. Al contrario, la
708 venta de madera plagada en años recientes ha
709 constituido incluso una fuente de ingresos
710 adicional a las habituales. Por lo tanto, al decidir
711 sobre la distribución de recursos de los sistemas
712 familiares y comunitarios hacia las actividades
713 productivas, las buenas prácticas en el manejo
714 del bosque y el control de los descortezadores
715 tendrán prioridad y recibirán inversiones
716 únicamente cuando las comunidades obtengan
717 un beneficio por el aprovechamiento maderable,
718 como es el caso de Tepeuxila.

719 Esta poca importancia que los comuneros 751 tomando en cuenta las hectáreas y volumen
720 prestan a las infestaciones por descortezadores 752 afectado, lo cual muestra una situación
721 en los bosques de pino se muestra en los 753 alarmante para el estado de Oaxaca (Castellanos-
722 resultados de este estudio: en varias 754 Bolaños *et al.* 2013); también son identificados
723 comunidades no se realiza un diagnóstico 755 como amenaza del objeto de conservación
724 temprano por la falta de identificación de los 756 bosque de coníferas y latifoliadas en la Reserva
725 primeros síntomas de daño en el árbol, por la 757 (SEMARNAT-CONANP 2013). Sin embargo,
726 lejanía de las áreas de bosque de pino, no están 758 para los poseedores de los terrenos forestales
727 conscientes del inicio de las infestaciones en el 759 actualmente no causan grandes daños sino, por
728 pasado, no saben datar con exactitud los 760 lo general, afectan a escasos árboles, así que los
729 periodos de infestación y las estimaciones de la 761 perciben y caracterizan como brote endémico, y
730 superficie dañada presentan una gran amplitud 762 a nivel local el término “plaga” no es usado e
731 de respuestas. 763 interpretado en el sentido económico-técnico de
732 Los autores como FAO (2012), 764 las instituciones, sino por el poder destructor del
733 Castellanos-Bolaños *et al.* (2013) y Pye *et al.* 765 insecto. La introducción de este concepto a las
734 (2011) se refieren a la necesidad de buenas 766 comunidades por agentes externos como
735 prácticas y el control de los descortezadores por 767 técnicos de instituciones y empresas también se
736 razones netamente económicas, ya que el 768 menciona en el caso de insectos asociados a
737 comercio de la madera se ve afectado por la 769 cultivos agrícolas en algunas comunidades
738 disminución en el volumen y calidad de la 770 tsotsiles en Chiapas (López de la Cruz 2017).
739 madera, y son considerados plagas forestales. 771 Aunque la mayoría de los encuestados
740 Sin embargo, cuando se habla de especies 772 reconoce a los insectos descortezadores, estos
741 nativas, los brotes de estos insectos se 773 pueden confundirse con especies secundarias,
742 consideran endémicos, ya que pueden ser 774 principalmente con las del género *Ips* (Alvarado-
743 controlados de manera directa en rodales 775 Villanueva 2013, Castellanos-Bolaños *et al.*
744 menores de 50 árboles y evitar su expansión, 776 2013), debido a que son poco conspicuos y
745 como es el caso de *D. frontalis* (Billings y Pase 777 difíciles de observar (Bentley 1992), ya que su
746 1979), mientras que cuando existe un daño a 778 ciclo de vida involucra diferentes etapas en las
747 nivel de paisaje se conocen como epidémicos 779 que son prácticamente invisibles para los
748 (Martinson *et al.* 2013). En las localidades de 780 humanos al encontrarse dentro de la corteza
749 estudio, los descortezadores son denominados 781 (Durán y Poloni 2014). Los comuneros
750 “plaga” por instituciones como la CONAFOR, 782 determinan la presencia del insecto más bien por

783 el daño causado; ellos identifican por lo menos 815 Se realiza un “co-manejo” de los recursos
 784 cinco signos de daño en el árbol que asocian 816 (Bray *et al.* 2007), ya que los saneamientos
 785 directamente al descortezador, aunque no saben, 817 forestales se realizan por los propietarios de los
 786 que de acuerdo a los especialistas, estos síntomas 818 terrenos forestales con base a leyes y
 787 indican los diferentes estados de desarrollo de 819 reglamentos ejercidos por la SEMARNAT. Se
 788 este insecto, que va desde una coloración verde 820 identifican los siguientes tipos de saneamientos
 789 decolorado o amarillento en sus primeras etapas, 821 de acuerdo a Durán y Poloni (2014): realizados
 790 al café rojizo cuando está en una etapa adulta 822 con los recursos de las comunidades, en conjunto
 791 (Edwin Rose 1966, Durán y Poloni 2014). En 823 con el apoyo de CONAFOR y mediante
 792 Tepeuxila, comunidad que ha recibido mayor 824 acuerdos internos sin el permiso de la
 793 capacitación en el marco de actividades de 825 SEMARNAT, debido a que son pocos árboles y
 794 saneamiento realizadas en conjunto con la 826 son utilizados dentro de la misma comunidad.
 795 CONAFOR, los conocimientos sobre los 827 La permanencia de la comunalidad en
 796 insectos son mayores. Lo anterior afirma que, 828 estas seis localidades, igual que en otros casos en
 797 históricamente, por falta de importancia de este 829 Oaxaca, constituye la base de la organización
 798 insecto, las comunidades no han construido un 830 interna que guía la toma de decisiones respecto a
 799 conocimiento propio, sino este ha sido adquirido 831 recursos en común como el bosque (Durán y
 800 mediante agentes ajenos a la comunidad. 832 Poloni 2014), por lo tanto, se decide mediante
 801 Al igual que el conocimiento sobre los 833 asamblea las prácticas como el saneamiento o
 802 descortezadores, los comuneros han aprendido 834 aprovechamiento de la madera afectada y en
 803 las formas de control por los agentes externos y 835 caso de obtener recursos económicos por esta
 804 la más recomendada actualmente, es mediante 836 última, se destinan principalmente a inversiones
 805 prácticas mecánicas como el corte y remoción 837 productivas y sociales, como también menciona
 806 del material infectado (Billings 2011), además 838 Merino (2004).
 807 también ha tomado auge el monitoreo de las 839 La recuperación de las áreas dañadas se
 808 poblaciones con el uso de diferentes 840 da principalmente de manera natural en algunas
 809 semioquímicos para su atracción (Macías- 841 localidades y en la mayoría por medio de
 810 Sámano y Niño-Domínguez 2014). Esta técnica 842 reforestaciones que apoya la CONAFOR, por lo
 811 de trampeo ha sido implementada por la 843 que es importante el seguimiento a estas. Los
 812 CONAFOR en una localidad, lo cual puede ser 844 pinos utilizados para reforestar son especies no-
 813 útil para una detección temprana y un control 845 nativas, lo cual, puede influir en la formación de
 814 rápido del descortezador. 846 conjuntos de árboles homogéneos que en el

847 futuro pueden ser más susceptibles al ataque de 879 pinos no tienen una alta importancia económica
848 insectos (Feeney *et al.* 1998), contrario a la 880 ya que por la normatividad de la reserva los
849 regeneración natural donde las especies están 881 campesinos tienen limitantes para comercializar
850 mejor adaptadas y son más resistentes a estos 882 la madera y por cuestiones estratégicas, hacen un
851 ataques (FAO 2012). 883 uso múltiple del bosque. Aun así, el registro

852 Por otro lado, los incendios ocurridos en 884 muestra que los comuneros han construido
853 1998 (referido por los pobladores), 1992 y 1999 885 conocimiento acerca de los insectos y las
854 (SEMARNAT-CONANP 2013), son asociados 886 prácticas para su control por la influencia de
855 por los comuneros con la presencia de 887 agentes externos.

856 descortezador. Esto se debe a que existe una 888 La organización interna, basada en usos
857 mayor susceptibilidad a la afectación por plagas 889 y costumbres y los principios de comunalidad,
858 y enfermedades de árboles quemados 890 ha permitido a los comuneros enfrentar los
859 (Rodríguez-Trejo *et al.* 2007, Fonseca *et al.* 891 brotes epidémicos que ocurrieron en el pasado.
860 2008) y se observa una colonización de los 892 En algunas comunidades, se ha logrado
861 árboles vivos por descortezadores después de un 893 autogestionar hasta cierto grado los trabajos de
862 incendio (Fonseca-González *et al.* 2014). 894 saneamiento. También se obtienen beneficios al

863 Por lo tanto, ante la aparición de 895 comercializar la madera de árboles dañados que
864 incendios y conjuntos de árboles homogéneos 896 se destinan a obras de beneficio común.

865 debido a las recientes reforestaciones, pueden 897 Las áreas sin manejo forestal, con zonas
866 desencadenar la presencia de brotes epidémicos 898 de rodales homogéneos producto de la
867 de descortezador en el futuro. Aunado a ello, con 899 regeneración natural e inducida, y ante los
868 el cambio climático toma mayor importancia la 900 escenarios de cambio climático, existe una
869 detección y el control de estos insectos en áreas 901 probabilidad de afectación en el futuro, por lo
870 sin manejo forestal e intereses económicos, por 902 que es necesario establecer un monitoreo
871 lo que la vigilancia y medidas de sanidad forestal 903 continuo de la mano con los poseedores de los
872 podrían volverse más urgentes en estas áreas. 904 terrenos forestales, que permita tomar medidas
873 905 preventivas en el control del descortezador.

874 CONCLUSIÓN 906 Ante esta perspectiva de futuras
875 Se registra que los campesinos no tienen 907 afectaciones por descortezadores, se propone
876 mucho conocimiento de los descortezadores y 908 considerar por parte de las instituciones que el
877 los daños por estos son poco notados. Esta 909 problema puede ocurrir no únicamente en áreas
878 “poca” relevancia otorgada es debido a que los 910 con aprovechamiento maderable autorizado

911 donde los daños económicos por brotes obligan 923 organizativas de las comunidades para gestionar
 912 a un control y saneamiento, sino también en 924 el control de los descortezadores y saneamiento
 913 zonas con pino y pino-encino con escaso manejo 925 de los bosques.
 914 forestal y un uso múltiple del bosque, pero en 926
 915 áreas prioritarias para la conservación. Se 927 AGRADDECIMIENTOS
 916 recomienda buscar esquemas de colaboración 928 Al Consejo Nacional de Ciencia y
 917 comunidad-instituciones y la co-gestión de los 929 Tecnología (CONACyT) por la beca no. 630323
 918 territorios donde las instituciones tomen un 930 de la maestría en ciencias en ECOSUR, al
 919 papel activo en el diagnóstico y control oportuno 931 personal de la Reserva, CONAFOR y
 920 del descortezador, fortaleciendo las capacidades 932 comuneros que aceptaron colaborar en este
 921 y conocimientos en las comunidades y por otro 933 estudio, a la Dra. Alicia Niño Domínguez por el
 922 lado se reconozcan las capacidades 934 apoyo en la identificación de los insectos.

935

936 REFERENCIAS

937 Alvarado Villanueva O. 2013. Evaluación de los 955 Bentley JW. 1992. El rol de los agricultores en
 938 factores asociados a las infestaciones de 956 el MIP. *CEIBA* 33:357–366.
 939 descortezadores (Coleoptera: Scolytinae) 957 Billings RF, Pase HA III. 1979. A field guide for
 940 en bosques de piñones (*Pinus* 958 ground checking southern pine beetle
 941 *cembroides*) en la reserva Sierra Gorda 959 spots. USDA Forest Service, Combined
 942 de Guanajuato. Tesis de maestría en 960 Forest Pest Research Development
 943 ciencias. Querétaro, México. 961 Program. Handbook No. 558. 19 p.
 944 Universidad Autónoma de Querétaro. 58 962 Billings R. 2011. Mechanical control of southern
 945 p. 963 pine beetle infestation. *In*: Coulson RN,
 946 Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, 964 Klepzing KD eds. Southern Pine Beetle
 947 Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, 965 II. Department of Agriculture Forest
 948 Kitzberger T, Rigling A, Breshears DD, 966 Service. Ashville, NC. p. 213–222
 949 Hogg EHT, et al. 2010. A global 967 Bolom Ton F. 2005. De bosques y saberes.
 950 overview of drought and heat-induced 968 Perspectivas de conservación de recursos
 951 tree mortality reveals emerging climate 969 forestales en el municipio de Huixtán,
 952 change risks for forests. *Forest Ecology* 970 Chiapas. Tesis de maestría en ciencias.
 953 *and Management* 259:660–684. DOI: 971 Chiapas, México. Universidad de
 954 10.1016/j.foreco.2009.09.001 972 Ciencias y Artes de Chiapas-Centro de

973 Estudios Superiores de México y 1005 2013-2014. Consultada 15 de marzo
 974 Centroamérica. 200 p. 1006 2018.
 975 Bray D, Merino L, Barry D. 2007. Los bosques 1007 http://www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/02_ecosistemas/2_3.html.
 976 comunitarios de México. Manejo 1008 ml.
 977 sustentable de paisajes forestales. 1009
 978 México DF, México. Instituto Nacional 1010 CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX).
 979 de Ecología-Secretaría del Medio 1011 2015. Resumen de sanidad forestal.
 980 Ambiente y Recursos Naturales, Consejo 1012 México DF, México. CONAFOR,
 981 Civil Mexicano para la Silvicultura 1013 SEMARNAT.
 982 Sostenible, Instituto de Geografía 1014 Contreras-Hinojosa JR, Volke-Haller V,
 983 UNAM, Florida International Institute. 1015 Oropeza-Mota JL, Rodríguez-Franco C,
 984 443 p. 1016 Martínez-Saldaña T, Martínez-Garza Á.
 985 Bray DB. 2010. Toward “post-REDD+ 1017 2003. Disponibilidad y uso de leña en el
 986 landscapes” to reduce emissions from 1018 municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. *Terra
 987 deforestation and forest degradation.* 1019 *Latinoamericana* 21(3):437–445.
 988 *CIFOR* 30:1–8. 1020 Covington WW, Fulé PZ, Moore MM, Hart SC,
 989 Castellanos Bolaños JF, Ruiz Martínez EO, 1021 Kolb TE, Mast JN, Sackett SS, Wagner
 990 Gómez Cárdenas M, González Cubas R. 1022 MR. 1997. Restoring ecosystem health in
 991 2013. Fundamentos técnicos para el 1023 ponderosa pine forests of the southwest.
 992 control de insectos descortezadores de 1024 *Journal of Forestry* 95:23–29.
 993 pinos en Oaxaca. México DF, México. 1025 Durán E, Poloni A. 2014. Escarabajos
 994 Instituto Nacional de Investigaciones 1026 Descortezadores: diversidad y
 995 Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 31 p. 1027 saneamientos en bosques de Oaxaca.
 996 CDI-PNUD (Comisión Nacional para el 1028 *Biodiversitas* :7–12.
 997 Desarrollo de los Pueblos Indígenas- 1029 Edwin Rose W. 1966. The biology and ecology
 998 Programa de las Naciones Unidas para el 1030 of *Dendroctonus valens* Lec.; and the
 999 Desarrollo). 2008. Los Pueblos 1031 biology, ecology and control of
 1000 Indígenas de México. Pueblos indígenas 1032 *Dendroctonus frontalis* (= *mexicanus*)
 1001 del México contemporáneo. México DF, 1033 Zimm. in central Mexico (Coleoptera:
 1002 México. 141 p. 1034 Scolytidae).
 1003 CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 1035 Erbilgin N, Mori SR, Sun JH, Stein JD, Owen
 1004 2013. El medio ambiente en México 1036 DR, Merrill LD, Campos-Bolaños R,

- 1037 Raffa KF, Méndez-Montiel T, Wood DL,1069
 1038 et al. 2007. Response to host volatiles by1070
 1039 native and introduced populations of1071
 1040 *Dendroctonus valens* (Coleoptera:1072
 1041 Curculionidae, Scolytinae) in North1073
 1042 America and China. *Journal of Chemical*1074
 1043 *Ecology* 33:131–146. DOI:1075
 1044 10.1007/s10886-006-9200-2 1076
- 1045 Feeney SR, Kolb TE, Covington WW, Wagner1077
 1046 MR. 1998. Influence of thinning and1078
 1047 burning restoration treatments on1079
 1048 presettlement ponderosa pines at the Gus1080
 1049 Pearson Natural Area. *Canadian Journal*1081
 1050 *of Forest Research* 28:1295–1306. 1082
- 1051 FAO (Organización de las Naciones Unidas para1083
 1052 la Agricultura y la Alimentación). 2012.1084
 1053 Guía para la aplicación de normas1085
 1054 fitosanitarias en el sector forestal. Roma,1086
 1055 Italia. 164 p. 1087
- 1056 Fonseca-González J, De los Santos- Posadas1088
 1057 HM, Rodríguez-Ortega A, Rodríguez-1089
 1058 Laguna R. 2014. Efecto del daño por1090
 1059 fuego y descortezadores sobre la1091
 1060 mortalidad de *Pinus patula* Schl. et1092
 1061 Cham en Hidalgo, México. *Agrociencia*1093
 1062 48:103–113. 1094
- 1063 García E-CONABIO. 1998. Climas, escala1095
 1064 1:1000000. Comisión Nacional para el1096
 1065 Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.1097
 1066 México DF, México. 1098
- 1067 Gasca Zamora J. 2014. Gobernanza y gestión1099
 1068 comunitaria de recursos naturales en la1100
- Sierra Norte de Oaxaca. *Región y
 Sociedad* 60:89–120.
- Hernández-Aguilar JA, Cortina-Villar HS,
 García-Barrios LE, Castillo-Santiago
 MA. 2017. Factors limiting formation of
 community forestry enterprises in the
 southern mixteca región of Oaxaca,
 Mexico. *Environmental Management*
 59:490–504. DOI: 10.1007/s00267-017-
 0821-8
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y
 Geografía, MX). 2016. Anuario
 estadístico y geográfico por entidad
 federativa. México DF, México. Instituto
 Nacional de Estadística y Geografía.
- Lieutier F. 2006. Changing forest communities:
 Role of tree resistance to insects in insect
 invasions and tree introductions. *In:*
 Payne TD ed. Invasive forest insects,
 introduced forest trees, and altered
 ecosystems: Ecological pest
 management in global forests of a
 changing world. p. 15–51.
- Leal Olivera N. 2014. Fluctuación estacional de
Dendroctonus mexicanus Hopkins y
 variación estacional de la temperatura y
 humedad relativa, en San Juan del
 Estado, Etlá, Oaxaca. Tesis de maestría
 en ciencias. Edo. de México, México.
 Colegio de postgraduados. 63 p.
- López de la Cruz E. 2017. Conocimiento y
 percepción tsotsil sobre insectos

- 1101 perjudiciales y prácticas agrícolas de la 1133 Demand Overview Mapping. FAO.
1102 milpa en la selva El Ocote, Chiapas. 1134 Rome. Italy. 99 p.
1103 Chiapas, México. El Colegio de la 1135 Merino L. 2004. Conservación o deterioro: El
1104 Frontera Sur. 176 p. 1136 impacto de las políticas públicas en las
1105 Macías Sámano JE, Niño Domínguez A. 2014. 1137 instituciones comunitarias y en las
1106 Protocolo de monitoreo de 1138 prácticas de uso de los recursos
1107 descortezadores de coníferas mediante el 1139 forestales. México DF, México. INE-
1108 uso de semioquímicos. INIFAP- 1140 SEMARNAT. 331 p.
1109 SEMARNAT. Folleto Técnico Núm. 40. 1141 Prüssmann J, Suárez C, Guevara Ó, Vergara A.
1110 31 p. 1142 2016. Análisis de vulnerabilidad y riesgo
1111 Mackenzie N, Knipe S. 2006. Research 1143 climático del bioma amazónico y sus
1112 dilemmas Paradigms methods and 1144 áreas protegidas. Cali, Colombia. 48 p.
1113 methodology. *Issues in Educational* 1145 Pye JM, Holmes TP, Prestemon JP, Wear DN.
1114 *Research* 16:193–205. Disponible en 1146 2011. Economic Impacts of the Southern
1115 <http://www.iier.org.au/iier16/mackenzie>. 1147 Pine Beetle. *In*: Coulson RN, Klepzing
1116 html 1148 KD eds. Southern Pine Beetle II.
1117 Martínez Luna J. 2010. Eso que llaman 1149 Department of Agriculture Forest
1118 comunalidad. Oaxaca, México. Consejo 1150 Service. Ashville, NC. p. 213–222.
1119 Nacional para la Cultura y las Artes, 1151 Reyes Santiago J, Brachet C, Pérez Crisanto J,
1120 Secretaría de Cultura del Gobierno del 1152 Gutiérrez de la Rosa A. 2004. Cactáceas
1121 Estado de Oaxaca, Fundación Alfredo 1153 y otras plantas nativas de la Cañada de
1122 Harp Helú Oaxaca AC. 188 p. 1154 Cuicatlán, Oaxaca. Sociedad Mexicana
1123 Martinson SJ, Ylioja T, Sullivan BT, Billings 1155 de Cactología. Comisión Federal de
1124 RF, Ayres MP. 2013. Alternate attractors 1156 Electricidad. Instituto de Biología-
1125 in the population dynamics of a tree- 1157 UNAM. México. 196 p.
1126 killing bark beetle. *Population Ecology* 1158 Rodríguez-Trejo DA, Castro-Solís UB, Zepeda-
1127 55:95–106. DOI: 10.1007/s10144-012- 1159 Bautista M, John Carr R. 2007. First year
1128 0357-y 1160 survival of *Pinus hartwegii* following
1129 Masera O, Velázquez A, Ordoñez M, Drigo R 1161 prescribed burns at different intensities
1130 and Trossero M. 2005. Fuel Wood “hot 1162 and different seasons in central Mexico.
1131 spots” in Mexico. A Case Study Using 1163 *International Journal of Wildland Fire*
1132 WISDOM–Woodfuel Integrated Supply- 1164 16:54–62.

- 1165 Ruiz Olabuénaga J e ispizua Uribarri MA. 1989.1197 approach. *Forests* 2: 283-300.
- 1166 La decodificación de la vida cotidiana:1198
- 1167 Métodos de investigación cualitativa.
- 1168 Universidad de Deusto. España. Bilbao:
- 1169 Publicaciones.
- 1170 SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y
- 1171 Recursos Naturales, MX). 2016. Anuario
- 1172 Estadístico de la Producción Forestal
- 1173 2015. México DF, México.
- 1174 SEMARNAT-CONANP (Secretaría del Medio
- 1175 Ambiente y Recursos Naturales-
- 1176 Comisión Nacional de Áreas Naturales
- 1177 Protegidas, MX). 2013. Programa de
- 1178 manejo Reserva de la Biosfera
- 1179 Tehuacán-Cuicatlán. México DF,
- 1180 México. 329 p.
- 1181 Six DL, Bracewell R. 2015. Dendroctonus. *In*:
- 1182 Vega FE, Hofstetter RW eds. Native bark
- 1183 beetle: biology and ecology of native and
- 1184 invasive species. p. 305–350.
- 1185 Taylor S, Bogdan R. 1987. Introducción a los
- 1186 métodos cualitativos de investigación.
- 1187 Barcelona, España. Paidós. 343 p.
- 1188 Tostado Santiago W. 2010. Escuelas
- 1189 campesinas: impacto en la disponibilidad
- 1190 alimentaria en Concepción Pápalo,
- 1191 Oaxaca. Tesis de licenciatura. Oaxaca,
- 1192 México. Universidad Autónoma
- 1193 Chapingo. 72 p.
- 1194 Tomaselli MF, Hajjar R. 2011. Promoting
- 1195 Community Forestry Enterprises in
- 1196 National REDD+ Strategies: A business

CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE CUATRO ESPECIES DE DESCORTEZADOR Y SUS PRINCIPALES HOSPEDEROS

Maricruz Martínez Velasco¹, Dario Alejandro Navarrete Gutiérrez¹, Arturo Carrillo Reyes[‡] y Christiane Junghans¹

¹El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n. C.P. 29290. San Cristóbal de las Casas. Chiapas. México.

[‡] Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 1^a Sur Poniente No. 1460. C. P. 29000. Tuxtla Gutiérrez. Chiapas. México.

Autor de correspondencia: dnavarre@ecosur.mx

Resumen

Se modeló la distribución potencial actual y para el escenario climático mediante el algoritmo de máxima entropía de cuatro especies primarias de descortezador registradas en México: *Dendroctonus adjunctus* Blanford 1897, *D. frontalis* Zimmerman 1868, *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan 2015 (especie recién descrita) y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins 1905, y dos de los principales hospederos de cada una. Se proyectó esta distribución para el escenario climático HadGEM2-ES RCP8.5 del 2070 debido a que representa condiciones drásticas que pueden reflejar mayores cambios en las variables climáticas.

Se analizaron las variables que contribuyen a la distribución de cada especie y se obtuvo la distribución potencial actual y la distribución para el 2070, así como el área adecuada tomando en cuenta la distribución actual y futura de sus hospederos.

La variable que mejor contribuyó al modelo para los descortezadores y los pinos fue la estacionalidad de la temperatura (Bio4), excepto para *D. mexicanus*, donde la variable que más contribuyó fue la temperatura media del trimestre más cálido (Bio10).

La distribución potencial para el escenario HadGEM2-ES RCP8.5 del 2070, mostró una disminución para *D. adjunctus* y *D. mexicanus* en 40% y 7% y un aumento para *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* en 9% y 38%, respectivamente. El área adecuada de los descortezadores disminuyó para el escenario del 2070, en 26% y 4% para *D. adjunctus* y *D. mexicanus*, respectivamente; e incrementó en *D. frontalis* y *D.*

mesoamericanus en 7% y 30%, respectivamente. Esto refleja que la respuesta al cambio climático es especie-específica y muestra una disminución en especies consideradas agresivas como *D. adjunctus* y *D. mexicanus*, para las variables y el escenario climático utilizado.

Palabras clave: *Dendroctonus*, área adecuada, distribución potencial

Introducción

En México se distribuyen 12 especies del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), cuyos hospederos corresponden al género *Pinus* y *Pseudotsuga* (Salinas-Moreno et al. 2010). La mayor riqueza de estos insectos ocurre en el Eje Volcánico Transversal, ya que es un centro de diversificación y endemismo de los pinos (Farjon y Styles 1997), y prefieren aquellos que pertenecen a las subsecciones *Leiophyllae*, *Ponderosae* y *Oocarpae* (Salinas-Moreno et al. 2004).

Estos insectos forman parte del ciclo de crecimiento y regeneración de los bosques ya que permiten el recambio de las especies forestales (Bentz 2005), sin embargo, los brotes epidémicos de *Dendroctonus* pueden provocar la muerte de árboles a escala de paisaje (Martinson et al. 2013) ya que se alimentan directamente del floema, lo cual daña o mata completamente al árbol (Schelhaas et al. 2003; Meddens et al. 2012). Por ello, estos insectos pueden afectar los servicios ecosistémicos de las regiones templadas, principalmente la regulación del clima y agua, formación de suelo, control biológico, producción de alimentos y materias primas, así como el valor recreacional y cultural (Costanza et al. 1997). El impacto económico que causan es difícil de estimar debido a que se distribuye a lo largo de varios años (Pye et al. 2011).

La distribución de los insectos descortezadores depende de factores abióticos como la temperatura (Powell y Logan 2005); y bióticos relacionados con la interacción con otros insectos, principalmente depredadores de las familias *Cleridae*, *Trogossitidae*, *Colydiidae*, e *Histeridae* (Dahlsten 1982). Debido a la dependencia de la temperatura para su desarrollo, esta puede controlar el apareamiento, la tasa de ovoposición, el número de generaciones por año y los vuelos de dispersión (Bentz et al. 1991; Gaylord et al. 2008). Así mismo, la precipitación influye en la susceptibilidad

de sus hospederos (Berg et al. 2006) a través del vigor y resistencia del árbol (Turtola et al. 2003) y la humedad dentro de este afecta la ovoposición de las hembras (Webb y Franklin 1978; Wagner et al. 1979).

Para las próximas décadas y como consecuencia del incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, provenientes sobre todo de actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles (genera CO₂) y el cambio de uso de suelo (principalmente la deforestación que genera CO₂, CH₄ y N₂O) se espera un incremento en la temperatura media global >1.5°C para el período del 2081-2100 (IPCC 2014). Este cambio en la temperatura podría traer como consecuencia cambios en la distribución altitudinal y latitudinal en las especies (Parmesan et al. 1999; Wilson et al. 2005) y en el caso de los descortezadores, los brotes posiblemente podrán ser más extensos, severos y frecuentes (Allen et al. 2010), aunado a una mayor susceptibilidad de sus hospederos debido al estrés por sequías (Anderegg et al. 2015).

Registros recientes muestran brotes de *Dendroctonus* graves afectando árboles desde México hasta Alaska (Bentz 2005), como consecuencia del incremento en la temperatura y sequías constantes (McDowell et al. 2008; Allen et al. 2010; Chapman et al. 2012). También, debido al calentamiento existen nuevas áreas adecuadas para la distribución de algunas especies de descortezadores, principalmente hacia altas altitudes y mayores elevaciones (Bentz et al. 2010). *D. ponderosae* Hopkins 1902, ha extendido su área de distribución hacia el norte de la Columbia Británica (Safranyik et al. 2010; Cullingham et al. 2011; de la Giroday et al. 2012), y *D. frontalis* Zimmerman 1868, se ha expandido hacia Nueva Jersey en Estados Unidos y en el extremo sur de su área geográfica se ha contraído (Friedenberg et al. 2008; Weed et al. 2013). La temperatura también limita la supervivencia de esta última especie, disminuyendo la población en un 50% con una temperatura del aire de -12°C a -16°C (Trần et al. 2007). En *D. adjunctus* Blanford 1897 una temperatura menor de -25°C causa una alta mortalidad sobre todo cuando las larvas eclosionan (Massey et al. 1977).

También se espera una mayor mortalidad de pinos, debido a la respuesta fisiológica al clima y la interacción con los insectos (Anderegg et al. 2015) ya que con el aumento de temperatura se espera un incremento en las tasas de crecimiento y

reproducción de los descortezadores y la dispersión hacia áreas donde antes no se habían registrado (Weed et al. 2013). Por ello, es necesario considerar a los hospederos de los descortezadores y estimar su distribución.

Este estudio se enfoca en cuatro especies primarias de descortezador en México y en sus principales hospederos. El objetivo es modelar la distribución potencial de estas especies para las condiciones actuales y para un escenario climático del 2070 con el fin de obtener información de que variables explican esta distribución. Asimismo, se estimó el área adecuada para cada especie de descortezador, mediante la suma de las áreas de distribución de sus hospederos.

Materiales y métodos

Especies objetivo

Las especies de descortezador se seleccionaron con base a registros existentes y a estudios previos (COFOSA 2009) en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán: *Dendroctonus adjunctus* Blanford 1897, *Dendroctonus frontalis* Zimmerman 1868, *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan 2015 (especie recién descrita) y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins 1905. La distribución conocida de cada especie y las características físico-ambientales se muestran en el cuadro 1.

Posteriormente se realizó una búsqueda de registros de presencia tanto en la literatura como en las colecciones nacionales de insectos y fuentes de datos externos (GBIF) para cada especie y las variables ambientales que se pondrían a prueba en el modelo.

Cuadro 1. Características físico-ambientales, número de registros totales (N) y porcentaje de registros usados como entrenamiento (Tr) para las especies objetivo de descortezador. Fuente: Armendáriz-Toledano et al. 2015; Armendáriz-Toledano y Zúñiga 2017; Cibrián et al. 1995; Moser et al. 2005; Salinas-Moreno et al. 2010; Thatcher et al. 1980; Weed et al. 2013; Wood 1982.

Especie ^a	Distribución actual	Elevación (m)	Hospederos ^b	G/y ^c	N	Tr(%)
DAB	Sur de Utah hacia Colorado y hasta Guatemala.	1300-3940* 2000-2500**	PHW y PLP	1	32	100
	Oklahoma y Pensylvania hacia Florida, Nueva Jersey, Arizona y Nuevo México, y en México, Centroamérica hasta Nicaragua.	600-3200*	POO y PPR	3-7	109	68
DFZ	Nicaragua, Guatemala, El Salvador, Honduras, Belice y México (Chiapas, Oaxaca y Michoacán).	1500-2000** 600-3200* 2000-2500**	PMX y POO	ND	42	69
DMAS	Sureste de Arizona; Chihuahua hasta Honduras.	800-3650* 2000-2500**	PLP y PTC	3-6	24	68
DMH						

^a DAB = *Dendroctonus adjunctus* Blanford 1897; DFZ = *Dendroctonus frontalis* Zimmerman 1868; DMAS = *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan 2015; y DMH = *Dendroctonus mexicanus* Hopkins 1905. ^b PHW = *Pinus hartwegii* Lindl. 1839; PPR = *Pinus pringlei* Shaw. 1905; PLP = *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham. 1831; POO = *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltld. 1838; PTC = *Pinus teocote* Schltld. & Cham. 1830 y PMX = *Pinus maximinoi* H. E. Moore 1966. ^c G/y = Número de generaciones por año; *Altitudes mínima y máxima; **Altitud preferente; ND= dato no disponible

Se incluyeron seis especies de pinos por tener el mayor porcentaje de incidencia para cada especie de descortezador en México (Salinas-Moreno et al. 2010; Armendáriz-Toledano et al. 2015) y ser hospederos de todas las especies de descortezador, excepto para *D. mesoamericanus*, quién aún no se ha registrado sobre *Pinus teocote* Schltld. & Cham. 1830 (PTC) y *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham. 1831 (PLP). Además, estas especies son consideradas generalistas: *Pinus maximinoi* H. E. Moore 1966 (PMX) y PTC debido a su amplia tolerancia ecológica (Brown 1984); endémicas: PLP y especialistas: *Pinus hartwegii* Lindl. 1839 (PHW) y *Pinus pringlei* Shaw. 1905 (PPR), debido a tolerancias ecológicas estrechas limitadas a las áreas montañosas (Farjon y Styles 1997) (Cuadro 2). Las especies de pinos seleccionadas son utilizadas principalmente para el aprovechamiento maderable y la

producción de resina, excepto PHW, debido al difícil acceso a zonas de gran altitud donde crece (Farjon y Styles 1997) (cuadro 2).

Cuadro 2. Características físico-ambientales, número de registros totales (N), y porcentaje de registros usados como entrenamiento (Tr) para las especies de pinos seleccionados y que son hospederos confirmados de las especies de descortezador incluidas en el presente estudio. Fuente: Eguiluz-Piedra 1982; Farjon y Styles 1997.

Espece ^a	Distribución conocida	Elevación (m)	Pp ^b	T ^c	Usos ^d	N	Tr(%)
PHW	Áreas de montaña de México y Guatemala.	3000-4000* 3400**	800-1500	11-38	I	300	70
PLP	Arizona y Nuevo México, Sierra Madre Occidental, Eje Volcánico Transversal y Sierra Madre del Sur en México.	1700-2800* 2100**	600-1300	14-38	R	846	70
PMX	Áreas de montaña de Guatemala, Honduras, el Salvador y Nicaragua.	600-2400* 900-1800**	1000-2000	18-40	M	268	70
POO	En México sobre la Sierra Madre Occidental, Mesoamérica.	1000-2400* 1800**	650-2600	3-35	M, R	547	70
PPR	Sierra Madre del Sur, Eje Volcánico Transversal	1500-2500* 1850**	600-1700	17-40	M, R	184	70
PTC	Desde Chihuahua hasta Chiapas, más abundante en el centro de México.	1500-3100* 2400**	600-1500	14-38	M, R	534	70

^a Los acrónimos para las especies de pinos son las mismas que en el cuadro 1; ^b Pp = Precipitación promedio (mm); ^c T = Temperatura media (°C); ^d I=inaccesible; R= Producción de Resina; M = Maderable; * Elevación mínima y máxima; ** Elevación óptima

Se realizó una búsqueda de registros de presencia de las especies seleccionadas en las siguientes colecciones de insectos: Colegio de Postgraduados, División de Ciencias Forestales (Universidad Autónoma Chapingo) y de los siguientes herbarios: Herbario-Hortorio (CHAPA) del Colegio de Postgraduados, Jerzy Rzedowski y Graciela Calderón del Instituto Politécnico Nacional y El Colegio de la Frontera Sur; además del portal del *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF; www.gbif.org). De los registros obtenidos, se eliminaron aquellos repetidos o que

estuvieron en una colindancia menor a 1km de distancia de otro registro. En total se obtuvieron 307 puntos de presencia con coordenadas (x,y) de las especies de descortezador y 2,679 registros de los hospederos (Cuadro 1 y ver soporte de información, tabla 1).

Variables climáticas

Se utilizaron 19 variables climáticas de la plataforma del World-Clim en su versión 1.4 (Hijmans et al. 2015) con una resolución de 30" (~1km²), para las condiciones actuales (1969 a 1990; cuadro 3).

Para determinar los cambios en la distribución de los descortezadores como de los hospederos, se utilizaron los datos para condiciones a futuro a 2070 (período del 2061 al 2080). Las capas climáticas para el modelo HadGEM2-ES (Martin et al. 2011) representan escenarios con trayectorias de concentraciones (RCP) de cuatro forzamientos radiativos: RCP2.6, RCP4.5, RCP6 y RCP8.5 (Wayne 2013). En este caso se seleccionó el RCP8.5, el cual representa un forzamiento radiativo de 8.5w/m², más de 1,370 ppm de CO² al año 2100 y una anomalía de la temperatura de 4.9°C (Moss et al. 2010). Todas las capas se homogenizaron a un tamaño de pixel de 1km en coordenadas geográficas y en formato ASCII.

Adicionalmente, a partir de un modelo digital del terreno de la *Shuttle Radar Topographic Mission* versión 4.1 (SRTM; <http://gisweb.ciat.cgiar.org>) con una resolución de pixel de 250m, se generó una capa de pendientes en ArcGis (ESRI versión 10.2.1) por ser considerada una variable estática de importancia para la construcción de los modelos.

Modelos de distribución potencial

Se estimaron las áreas de distribución potencial de las especies de descortezador y hospederos mediante el algoritmo MaxEnt v.3.3.3k (Phillips et al. 2006), el cual, transfiere la información de las variables ambientales de los registros de presencia a ambientes escenopoéticos similares (Jiménez-Valverde et al. 2008) y determina la contribución de las variables en la construcción de los modelos (Phillips et al. 2006). Las ventajas de este método es que genera sus propias ausencias o

pseudo ausencias ya que es muy difícil tener registros de que una especie está ausente; además también permite utilizar variables cuantitativas y categóricas (Phillips et al. 2006).

A partir de lo anterior, los registros de presencias se separaron en dos conjuntos de datos, 70% para entrenamiento del modelo y 30% para validación del mismo (Araújo et al. 2005); para el caso de *D. adjunctus* se utilizaron sólo datos de entrenamiento debido a que el total de registros obtenidos ($n = 32$) no fueron los mínimos suficientes para realizar una validación para aquellas especies con una amplia distribución (Proosdij et al. 2015).

De las 19 variables climáticas se realizó una selección de acuerdo a dos criterios principales: un coeficiente de correlación menor a 0.7, realizado en el programa ENMTools 1.4.4 (Warren y Seifert 2011) y las variables con mayor contribución al modelo, de acuerdo al remuestreo común (*Jackknife*) realizado en la primera réplica en MaxEnt 3.3.3.k (Phillips et al. 2006). Para las especies de descortezadores se seleccionaron ocho diferentes variables (las variables que coinciden en todas las especies son la Bio5, Bio10 y Bio19). Para las especies de pino se seleccionaron 10 variables diferentes, las únicas que coinciden en todas fueron la Bio15 y Bio7 (Cuadro 3).

Estas variables y la capa de pendiente se cortaron con base a la región que ha sido accesible para las especies durante un tiempo determinado (Peterson et al. 2011), delimitada por las zonas forestales de las ecorregiones terrestres de Norte y Centroamérica (Olson et al. 2001) de acuerdo a la distribución conocida de las especies.

Se realizaron 20 réplicas para cada modelo, con 500 iteraciones mediante el método de validación cruzada (Phillips et al. 2006). Este proceso se llevó a cabo también para las variables ambientales del modelo climático HadGEM2-ES RCP8.5 para las condiciones al 2070.

Cuadro 3. Variables climáticas para cada especie de descortezador¹ y hospedero

Variable	Descripción del predictor climático	Descortezador	Hospedero
Bio1	Temperatura media anual		
Bio2	Oscilación diurna de la temperatura	DMAS	PMX
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7)(*100)	DMH	PHW, PLP
Bio4	Estacionalidad de la temperatura (Desviación estándar*100)	DAB, DFZ, DMAS	PHW, PMX, POO, PPR
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido	DAB, DFZ, DMAS, DMH	PHW, PLP, PMX, POO, PTC
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío	DAB, DFZ, DMAS, DMH	POO, PPR
Bio7	Oscilación anual de la temperatura (Bio5-Bio6)	DMH	PHW, PLP, PMX, POO, PPR, PTC
Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo	DAB, DFZ	PHW, PLP, PMX, PTC
Bio9	Temperatura media trimestral de los más secos	DAB	PHW, PMX, POO, PTC, PPR
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido	DAB, DMAS, DMH	PHW, PLP, PMX, POO, PTC
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío	DFZ	PHW
Bio12	Precipitación anual		PMX, PPR, PTC
Bio13	Precipitación del mes más lluvioso	DFZ, DMAS, DMH	PLP, POO, PTC
Bio14	Precipitación del mes más seco	DAB, DMH	PHW
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)		PHW, PLP, PMX, POO, PPR, PTC
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo	DMAS	PLP, PMX, POO, PPR
Bio17	Precipitación del trimestre más seco		PLP, PPR, PTC
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido	DFZ, DAB, DFZ, DMAS,	PLP, POO, PPR, PTC
Bio19	Precipitación del trimestre más frío	DMH	POO, PPR

¹ Los acrónimos de las especies de descortezador son similares a los del Cuadro 1.

Fuente: WorldClim (2015), Hijmans et al. (2005), <http://www.worldclim.org>.

Para considerar un modelo como adecuado, se evaluó la exactitud en la predicción (Pearson 2010). La evaluación de los modelos se realizó mediante el Área bajo la curva (AUC) y las características de los gráficos ROC (Hanley y McNeil 1982). El AUC determina que los valores de presencia tengan un valor mayor de probabilidad sobre el modelo que los datos de ausencia (Fielding y Bell 1997), los valores van de 0.5 a 1. Un valor de 0.5 equivale a una clasificación al azar y un valor de 1 indica una separación de presencias y ausencias con un ajuste perfecto (Fielding y Bell 1997).

Se eligieron los mejores cinco modelos para cada especie de descortezador y hospedero con base al mayor AUC y la menor tasa de omisión obtenidas (Ruiz-Sanchez et al. 2015); cada uno de los modelos se transformó a mapa binario considerando el umbral logístico del percentil 10 de los datos de entrenamiento (*10 percentile training presence*) asumiendo que un 10% de los datos fueron identificados o georreferenciados erróneamente (Raes et al. 2009). Posteriormente, se hizo una multiplicación de estos modelos usando algebra de mapas para obtener un mapa de la distribución potencial actual y para el escenario del 2070 para cada especie de descortezador y hospedero. Por último, se obtuvo el área adecuada para cada descortezador sobreponiendo la distribución potencial de sus hospederos y, las características climáticas de las capas ambientales considerando los registros de presencia de cada especie.

Resultados

Para las especies de descortezador se obtuvieron los siguientes valores del AUC promedio de los cinco mejores modelos para las condiciones actuales: 0.92 (DFZ), 0.96 (DMH), 0.97 (DMAS) y 0.98 (DAB). La única variable que contribuyó de manera similar en los modelos actuales, así como para las condiciones a futuro en tres de las cuatro especies de descortezador fue la estacionalidad de la temperatura (Bio4) (Cuadro 4). Esta variable contribuyó con el 40.6%, el 32.6% y el 23.4% para *D. adjunctus*, *D. frontalis* y *D. mesoamericanus*, respectivamente para las condiciones actuales. Además mostró un aumento para el escenario a futuro en dos de las especies (41.8% para *D. adjunctus* y 30.9% para *D. frontalis*). Los valores promedio de los registros de presencia con respecto a ésta variable predictora mostraron un incremento

para el escenario climático a 2070 (Cuadro 4). Las variables de precipitación que más contribuyeron al modelo fueron: la precipitación del período más lluvioso (Bio13) en *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* con 27.1% y 12.4%, respectivamente; además la precipitación del trimestre más cálido (Bio19) en *D. frontalis* con 14.3%. Las variables que mejor contribuyeron en *D. mexicanus* no coinciden con las anteriores, pero sí para el escenario climático, donde se observa un aumento en la oscilación anual de la temperatura (Bio7) de 22.6°C a 24°C y en la temperatura media del trimestre más cálido (Bio10) de 17.8°C a 22.2°C, así como una disminución en la isothermalidad (Bio3) de 66.3% a 64.8%.

Cuadro 4. Variables climáticas con la mayor contribución a los modelos de descortezadores¹ y de sus principales hospederos. Los valores en negritas corresponden a las variables con mayor porcentaje de contribución al modelo.

Especie ¹	Variables	Actual (1969 -1990)			HadGEM2-ES RCP8.5 (2070)			
		Contribución (%)	N \bar{x}	AUC	Variables	Contribución (%)	N \bar{x}_1	AUC
Descortezador								
DAB	Bio4 (%)	40.6	241.0		Bio4 (%)	41.8	249.0	
	Bio6 (°C)	18.6	5.0	0.98	Bio5 (°C)	10.7	28.8	0.98
	Bio9 (°C)	20.7	11.0		Bio9 (°C)	25.8	15.3	
DFZ	Bio4 (%)	23.4	418.0		Bio4 (%)	30.9	464.0	
	Bio13 (mm)	27.1	211.4	0.92	Bio13 (mm)	25.4	214.0	0.91
	Bio18 (mm)	14.3	357.3		Bio11 (°C)	16.1	15.6	
DMAS	Bio4 (%)	32.6	129.1		Bio4 (%)	29.5	152.8	
	Bio10 (°C)	20.7	20.4	0.97	Bio5 (°C)	16.9	32.0	0.96
	Bio13 (mm)	12.4	267.0		Bio13 (mm)	18.6	274.0	
DMH	Bio3 (%)	15.7	66.3		Bio3 (%)	16.2	64.8	
	Bio7 (°C)	15.5	22.6	0.96	Bio7 (°C)	20.7	24.0	0.96
	Bio10 (°C)	40.9	17.8		Bio10 (°C)	42.2	22.2	
Hospederos								
PHW	Bio5 (°C)	28.1	22.1		Bio5 (°C)	18.9	27.1	
	Bio8 (°C)	17.2	13.4	0.96	Bio8 (°C)	19.5	17.4	0.96
	Bio10 (°C)	38.0	14.2		Bio10 (°C)	45.1	18.6	
PLP	Bio5 (°C)	31.2	26.4		Bio5 (°C)	13.8	32.4	
	Bio10 (°C)	19.7	17.7	0.92	Bio10 (°C)	43.3	22.2	0.92
	Bio16 (mm)	15.3	560		Bio16 (mm)	24.8	514	
PMX	Bio10 (°C)	26.2	21.1		Bio10 (°C)	19.1	25.6	
	Bio12 (mm)	14.5	1,443.0	0.95	Bio12 (mm)	32.2	1,294.0	0.94
	Bio16 (mm)	26.4	778		Bio4 (%)	15.9	185.2	

PPR	Bio4 (%)	33.9	165		Bio4 (%)	41.6	171	
	Bio15 (%)	14.4	100	0.94	Bio7 (°C)	13.4	23.2	0.94
	Bio19 (mm)	16.1	36		Bio18 (mm)	11.4	227	
PTC	Bio5 (°C)	31.3	26.2		Bio5 (°C)	26.7	31.1	
	Bio7 (°C)	36.8	22.1	0.94	Bio7 (°C)	34.8	23.6	0.94
	Bio9 (°C)	12.7	13.4		Bio10 (°C)	12.7	22.4	
POO	Bio4 (%)	24.7	167.5		Bio4 (%)	36.4	190.7	
	Bio6 (°C)	14.8	9.9	0.91	Bio6 (°C)	14.8	13.6	0.91
	Bio16 (mm)	23.2	760		Bio16 (mm)	20.8	662	

¹ Los acrónimos de las especies son similares a los de Cuadro 1; $N\bar{X}$ y $N\bar{X}_1$ son el promedio de las características climáticas de los registros de presencia de cada especie

Para las especies de pino, los valores del AUC para las condiciones actuales fueron del 0.91 (POO), 0.92 (PLP), 0.94 (PPR y PTC) y 0.96 (PHW). Dentro de las variables que más contribuyeron al modelo y coinciden en la mayoría de las especies, se encuentra la temperatura media del trimestre más cálido (Bio10) que muestra un aumento de 14.2°C a 18.6°C para PHW, 17.7°C a 22.2°C en PLP, de 21.1°C a 25.6°C en PMX, además de la temperatura máxima del mes más cálido (Bio5) que aumenta de 22.1°C a 27.1°C en PHW, de 26.4°C a 32.4°C en PLP y de 26.2°C a 31.1°C en PTC; ambas para el escenario climático utilizado.

Las variables de precipitación que más contribuyeron al modelo fueron la precipitación del trimestre más húmedo (Bio16) (15.3% en PLP, 26.4% en PMX y 23.2% en POO), la cual disminuye de 560mm a 514mm en PLP y de 760mm a 662mm en POO, para el escenario del 2070; además la precipitación anual (Bio12) (PMX) que disminuye de 1,443mm a 1294mm para el mismo escenario.

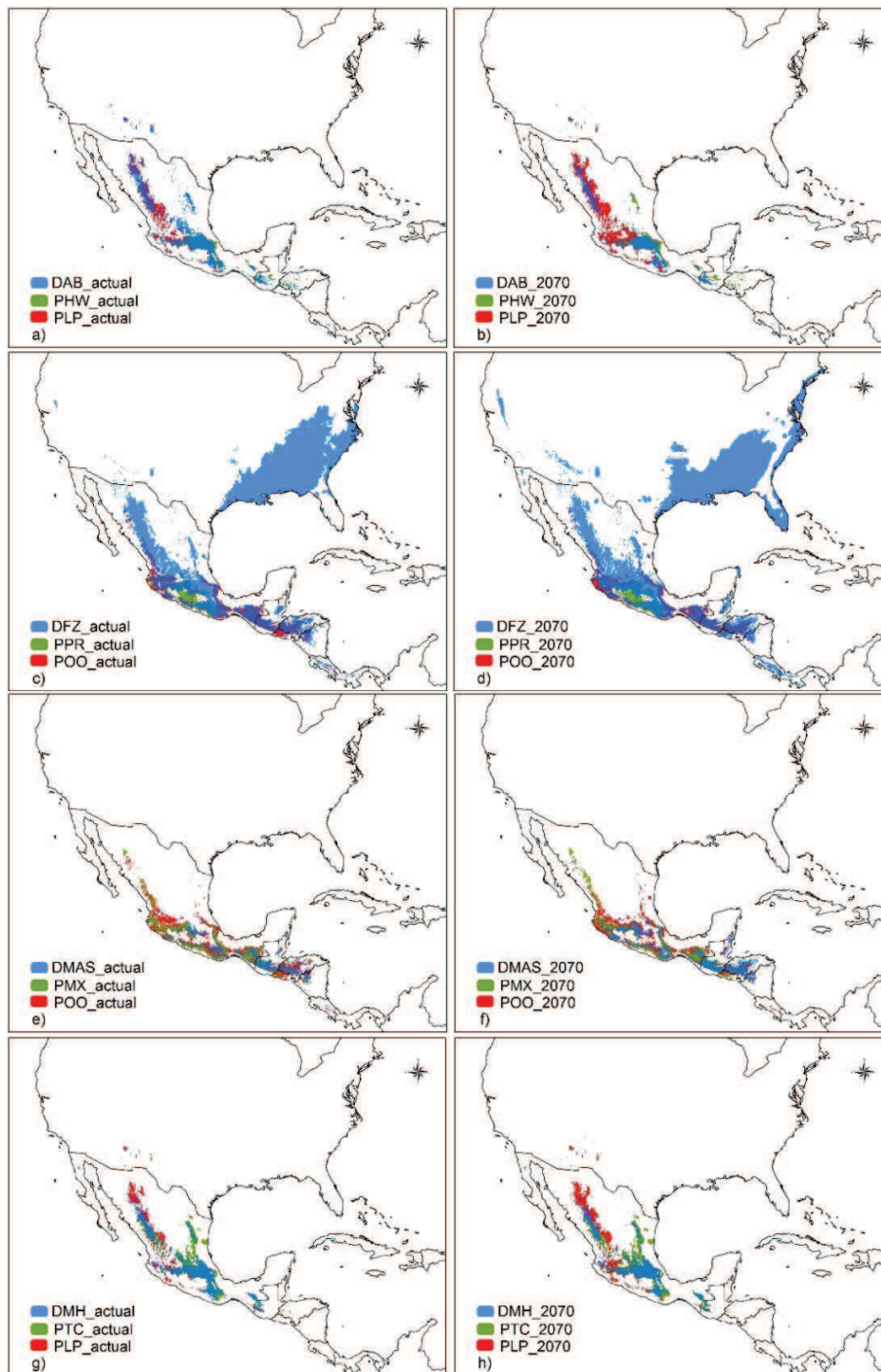


Figura 1. Mapas de distribución potencial para el período actual (1969-1990) correspondientes a los incisos a, c, e y g, para el escenario HadGEM-ES del 2070 los incisos b, d, f y h. DAB=*D. adjunctus* Blanford 1897; DFZ=*D. frontalis*

Zimmerman 1868; DMAS=*D. mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan 2015; DMH=*D. mexicanus* Hopkins 1905. PHW=*P. hartwegii* Lindl. 1839; PPR=*P. pringlei* Shaw. 1905; PLP=*P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. 1831; POO=*P. oocarpa* Schiede ex Schltdl. 1838; PTC=*P. teocote* Schltdl. & Cham. 1830 y PMX=*P. maximinoi* H. E. Moore 1966.

La especie de mayor distribución fue *D. frontalis*, cuyos hospederos se distribuyen desde México hasta Nicaragua (POO) y el centro de México (PPR) (Fig. 1c). La especie de menor distribución, *D. mesoamericanus*, inicia desde el sur de México hasta Nicaragua (Fig. 1e).

La superficie de distribución potencial para el escenario HadGEM2-ES RCP8.5 del 2070, muestra una disminución para *D. adjunctus* y *D. mexicanus* en 40% y 7% (Fig. 2a), respectivamente; estos cambios se observaron principalmente en el centro de México y la Sierra Madre Occidental para *D. adjunctus* (Fig. 1b). Asimismo, la distribución potencial para *D. frontalis* y *D. mesoamericanus*, aumentó en 9% y 38%, respectivamente (Fig. 2b). El área adecuada es la suma de la distribución potencial de dos hospederos para cada descortezador y es menor que la distribución potencial en todos los casos, además para el escenario del 2070, mostró una disminución, en 26% y 4% para *D. adjunctus* y *D. mexicanus*, respectivamente y en *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* incrementó en 7% y 30%, respectivamente.

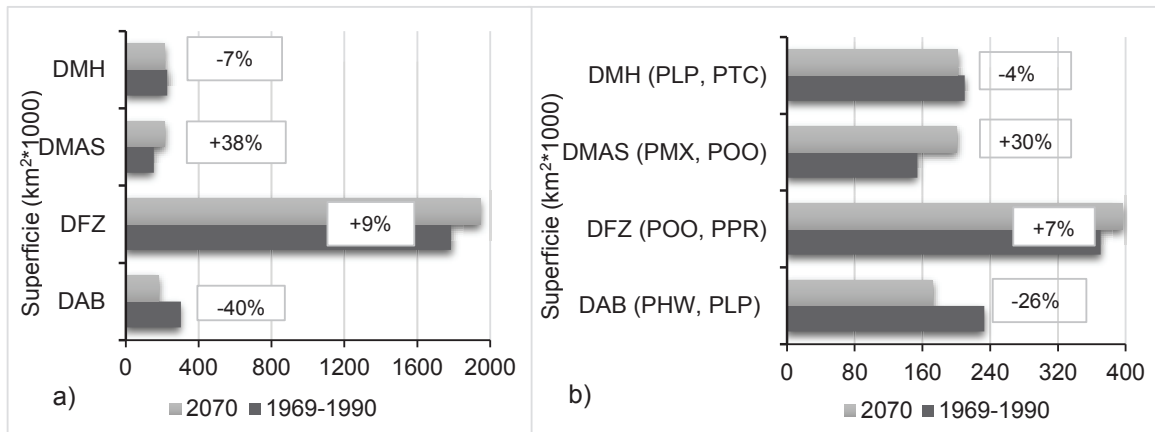


Figura 2. Distribución potencial (a) y área adecuada en km² (b) de cuatro especies de descortezador para las condiciones actuales (1969-1990) y para el escenario climático HadGEM2-ES RPC8.5 del 2070.

Discusión

Las condiciones climáticas son especie-específicas (Gómez-Mendoza y Arriaga 2007), por lo tanto, la mayoría de las variables y la contribución de estas para cada descortezador es diferente entre el escenario actual y el escenario climático del 2070.

Resulta de gran importancia la contribución de la estacionalidad de la temperatura (Bio4), la cual indica el coeficiente de variación de la temperatura media mensual (O'Donell y Ignizio 2012) debido a que los brotes de descortezador no son cíclicos, sino que están influenciados por variables climáticas estocásticas (Duehl et al. 2011) que, cuando son favorables, pueden incrementar el tamaño de población de los insectos.

La temperatura influye de manera vital en el ciclo de vida de estas especies; ya que de acuerdo a modelos basados en la fisiología de *D. frontalis* y *D. mexicanus* se observa un incremento de dos a cuatro generaciones por año para aumentos en temperatura de 1.6°C y de tres a cinco para un incremento de 6.3°C, tomando como base un promedio de una a tres generaciones por año en el sudeste de Estados Unidos (Waring et al. 2009). Asimismo, temperaturas cálidas en Nueva Jersey y

precipitaciones inferiores a la media (Six y Bracewell 2015), han propiciado el desplazamiento de *D. frontalis* hacia los páramos de pino de esta zona (Weed et al. 2013).

Para otras especies, como las analizadas por Evangelista y colaboradores en 2011 (*D. ponderosae* Hopkins 1902, *D. brevicomis* LeConte 1876 e *Ips pini* De Geer 1775), las variables con mayor contribución son la precipitación anual (Bio12) y la precipitación del trimestre más cálido (Bio18) considerando cuatro variables ambientales para cada especie. Esta última variable también contribuye mejor para *D. frontalis* en el presente estudio.

Para las especies de pino, las variables que más contribuyen en la distribución de estas muestran un aumento en la temperatura (Bio10, Bio5) y disminución en la precipitación (Bio16 y Bio12), lo que puede llevar a un mayor estrés de los árboles y una menor resistencia a la colonización por los insectos (Anderegg et al. 2015), y por lo tanto, provocar una mortalidad de árboles a gran escala.

La distribución del género *Dendroctonus*, sobre los principales sistemas montañosos de México, que incluyen la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur, el Eje Volcánico Transversal, las tierras altas de Chiapas y las zonas montañosas de Centroamérica se debe al origen neártico de este grupo (Halffter 1987).

La disminución que se observa en la distribución potencial para el escenario climático del 2070 en *D. adjunctus*, puede deberse a su tolerancia ecológica estrecha que incluye preferencias altitudinales por arriba de 2800m, y por ser la única especie del género *Dendroctonus* que tiene un período de hibernación en la etapa de huevo lo que limita su desarrollo a una generación al año en Estados Unidos y hasta dos en México (Cibrián et al. 1995; Massey et al. 1997). Por otro lado, su principal hospedero *P. hartwegii* Lindl. 1839 que se distribuye en las áreas montañosas de México, podría tener una disminución de hasta el 80% en el área de distribución para el 2050 (Gutiérrez y Trejo 2014).

Dendroctonus mexicanus, especie de amplia distribución en México (Salinas-Moreno et al. 2004), muestra una reciente introducción en Arizona, sin embargo, se desconoce si se debe a una falta de registro en el pasado (Moser et al. 2005). Con el cambio climático se esperaría que incremente la distribución de especies agresivas y con amplias tolerancias ambientales como esta (Bentz et al. 2010), sin embargo, en este estudio se encontró una disminución en la distribución potencial y el área adecuada para *D. mexicanus* en 7% y 4% respectivamente para el escenario del 2070, en otras especies como *D. ponderosae* Hopkins 1902 también se ha encontrado una disminución del 46% para el 2050 utilizando mapas de vegetación de la distribución potencial de sus hospederos (Evangelista et al. 2011).

La especie más estudiada debido a su amplia distribución y el impacto en los bosques de Estados Unidos ha sido *D. frontalis* (Ungerer et al. 1999; Williams y Liebhold 2002; Waring et al. 2009). La distribución de esta especie se eleva para escenarios con aumentos de temperatura de 2°C, 4°C y 8°C utilizando modelos discriminantes con desplazamientos hacia el norte (Williams y Liebhold 2002), lo cual también se predice para un escenario del 2070 utilizado en este trabajo, donde se muestra una expansión hacia el sureste de Estados Unidos, lo que indica condiciones más cálidas que son benéficas para esta especie, ya que las temperaturas mínimas de invierno limitan su distribución. Temperaturas de -12°C a -16°C resultan ser letales (Trần et al. 2007), aunque sus hospederos en Estados Unidos se encuentren más hacia el norte (Virtanen et al. 1998).

Aunque se sabe que *D. mesoamericanus* tiene una distribución simpátrica con *D. frontalis* (Armendáriz-Toledano et al. 2015), resulta importante estimar la distribución potencial con los registros que se tienen actualmente, ya que puede ser una base para futuros estudios sobre esta especie. Además, considerando el escenario del 2070 se predice un aumento en la distribución de *D. mesoamericanus* y en el área adecuada considerando dos de ocho hospederos donde se ha registrado. Al colonizar árboles junto con *D. frontalis* (Armendáriz-Toledano et al. 2015) se desconoce qué tan agresiva puede ser *D. mesoamericanus*, por lo que un

aumento en la distribución no es un indicativo de una mayor afectación al menos para esta especie.

Las variables climáticas utilizadas en la modelación del nicho ecológico de las especies de descortezador y de pinos indican el ambiente escenopoético que determina su distribución. Una limitante para el desarrollo y dispersión de los insectos descortezadores son los hospederos, además una modificación en la distribución de estos implica un cambio en la distribución de los insectos, debido a ello, se tomaron en cuenta dos de las principales especies de pino, que son hospederos de cada descortezador, el área de distribución ocupada por estos se consideró como el área adecuada y resultó ser menor que la distribución potencial en todos los casos. Aunque sólo se consideraron dos hospederos para determinar el área adecuada, es probable que esta área se sobreponga con la distribución de las otras especies preferidas por los descortezadores (entre 8 y 21 hospederos), ya que los principales sistemas montañosos de México son áreas de distribución de una gran variedad de pinos (Eguiluz-Piedra 1982). Sin embargo, es necesario tomarlos en cuenta en futuros estudios para estimar el área adecuada total de cada especie.

Debido a la posible contracción o expansión del área de distribución de las especies del género *Dendroctonus* por el aumento de la temperatura (Six y Bracewell 2015) es necesario contar con mapas de distribución que permitan tener una base sobre las áreas adecuadas para la presencia de los descortezadores que permita mejorar las estrategias de monitoreo y manejo.

Conclusión

Existen notables diferencias entre las especies analizadas, aunque se esperaba un aumento en las áreas de distribución para el 2070, debido a condiciones climáticas adecuadas para la supervivencia de especies del género *Dendroctonus*, la distribución para *D. adjunctus* y *D. mexicanus* muestra una disminución, solamente la distribución de *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* tienen un aumento. Cabe resaltar la importancia de los hospederos para la distribución de

los descortezadores, ya que el área adecuada disminuye para todos los insectos, haciendo difícil la dispersión de estos, y tiene la misma tendencia que la distribución potencial, aumenta para *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* y disminuye para *D. adjunctus* y *D. mexicanus*. Los modelos realizados para estas especies son válidos para el período analizado y sus tendencias pueden ser comparadas para otros períodos de estudio y con escenarios con condiciones menos drásticas.

Literatura citada

- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, Kitzberger T, Rigling A, Breshears DD, Hogg EHT, et al. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259:660-684.
- Anderegg WRL, Hicke JA, Fisher RA, Allen CD, Aukema J, Bentz B, Hood S, Lichstein JW, Macalady K, McDowell N, et al. 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist* 208(3):674-683.
- Araújo MB, Whittaker RJ, Ladle RJ, Erhard M. 2005. Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology and Biogeography* 14(6):529-538.
- Armendáriz-Toledano F, Niño A, Sullivan BT, Kirkendall LR, Zúñiga G. 2015. A New Species of Bark Beetle, *Dendroctonus mesoamericanus* sp. nov. (Curculionidae: Scolytinae), in Southern Mexico and Central America. *Annals of the Entomology Society of America* 108(3):403-414.
- Armendáriz-Toledano F, Zúñiga G. 2017. Illustrated key to species of genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) occurring in Mexico and Central America. *Journal of Insect Science* 17:1-15.
- Bentz BJ, JA Logan, GD Amman. 1991. Temperature dependent development of the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) and simulations of its

- phenology. *Canadian Entomologist*. 123: 1083-1094.
- Bentz B. 2005. *Bark Beetle Outbreaks in Western North America: Causes and Consequences*. Snowbird, Utah. 44 p.
- Bentz BJ, Régnière J, Fettig CJ, Hansen M, Hayes JL, Hicke JA, Kelsey RG, Negrón JF, Seybold SJ. 2010. Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: Direct and indirect effects. *Bioscience* 60(8):602-613.
- Berg EE, David Henry J, Fastie CL, De Volder AD, Matsuoka SM. 2006. Spruce beetle outbreaks on the Kenai Peninsula, Alaska, and Kluane National Park and Reserve, Yukon Territory: Relationship to summer temperatures and regional differences in disturbance regimes. *Forest Ecology and Management* 227(3):219-232.
- Brown JH. 1984. On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist* 124(2):255-279.
- Chapman TB, Veblen TT and Schoennagel T. 2012 Spatiotemporal patterns of mountain pine beetle activity in the southern Rocky Mountains. *Ecology* 93: 2175–2185.
- Cibrián D, Mendez JT, Campos R, Yates III HO, Flores JE. 1995. *Insectos Forestales de México*. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 453 p.
- COFOSA (Consultoría forestal y servicios agropecuarios SA de CV). 2009. *Estudio regional forestal*. Unidad de manejo forestal 2010. Región Cañada. Oaxaca, México. 336 p.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics* 387:253-260.
- Cullingham CI, Cooke JEK, Dang S, Davis CS, Cooke BJ, Coltman DW. 2011. Mountain pine beetle host-range expansion threatens the boreal forest.

Molecular Ecology 20:2157-2171.

de la Giroday HC, Carroll AL, Aukema BH. 2012. Breach of the northern Rocky Mountain geoclimatic barrier: initiation of range expansion by the mountain pine beetle. *Journal of Biogeography* 39:1112-1123.

Dahlsten DL. 1982. Relationships between bark beetles and their natural enemies. In: Mitton JB, Sturgeon KB, eds. *Bark beetles in North American conifers. A system for the study of evolutionary biology*. Austin, TX: University of Texas Press. p. 140-182.

Duehl AJ, Koch FH, Hain FP. 2011. Southern pine beetle regional outbreaks modeled on landscape, climate and infestation history. *Forest Ecology and Management* 261(3):473-479.

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

Evangelista PH, Kumar S, Stohlgren TJ, Young NE. 2011. Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US. *Forest Ecology and Management* 262(3):307-316.

Farjon A, Styles BT. 1997. *Pinus* (Pinacea). *Flora Neotropica, Monograph 75*. New York, USA: Organization for Flora Neotropica. The New York Botanical Garden.

Fielding AH, Bell JF. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24(1):38-49.

Friedenberg NA, Sarkar S, Kouchoukos N, Billings RF, Ayres MP. 2008. Temperature extremes, density dependence, and southern pine beetle (Coleoptera: Curculionidae) population dynamics in East Texas. *Population Ecology* 37(3):650-659.

- Gaylord M, Williams K, Hofstetter R, McMillin J, Degomez T, Wagner M. 2008. Influence of temperature on spring flight initiation for southwestern *Ponderosa* pine bark beetles (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Environmental Entomology* 37:57–69.
- Gómez-Mendoza L, Arriaga L. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation biology* 21:1545-1555.
- Gutiérrez E, Trejo I. 2014. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:179-188.
- Halffter G. 1987. Biogeography of the montane entomofauna of Mexico and Central America. *Annual Review of Entomology* 32: 95–114.
- Hanley JA, McNeil BJ. 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* 143(1):29-36.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, and Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Geneva, Switzerland. 151 p.
- Jiménez-Valverde A, Lobo JM, Hortal J. 2008. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions* 14:885-890.
- Martin GM, Bellouin N, Collins WJ, Culverwell ID, Halloran PR, Hardiman SC, Hinton TJ, Jones CD, McDonald RE, Brown AR, et al. 2011. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development* 4:723-757.
- Martinson SJ, Ylioja T, Sullivan BT, Billings RF, Ayres MP. 2013. Alternate attractors in the population dynamics of a tree-killing bark beetle. *Population Ecology*

55:95-106.

- Massey C, Lucht D, Schmid J. 1977. Roundheaded Pine Beetle. *Forest Insect and Disease* 1-8.
- McDowell N, Pockman WT, Allen CD, Breshears DD, Kolb T, Plaut J, Sperry J, West A, Williams DG, Yepez EA, et al. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* 178(4):719-739.
- Meddens AJH, Hicke JA, Ferguson CA. 2012. Spatiotemporal patterns of observed bark beetle-caused tree mortality in British Columbia and the western United States. *Ecological Applications* 22(7):1876-1891.
- Morris JL, Cottrell S, Fettig CJ, Hansen WD, Sherriff L, Carter VA, Clear JL, Clement J, Deroose RJ, Hicke JA, et al. 2017. Managing bark beetle impacts on ecosystems and society: priority questions to motivate future research. *Journal of Applied Ecology* 54:750-760.
- Moser JC, Fitzgibbon BA, Klepzig KD. 2005. Mexican pine beetle, *Dendroctonus mexicanus*: first record in the United States and co-occurrence with the southern pine beetle-*Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae or Curculionidae: Scolytinae). *Entomological News* 116(4):235-243.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, et al. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747-756.
- O'Donnell MS, Ignizio DA. 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States. Data serie. U.S. Geological Survey. 10 p.
- Olson DM, Dinerstein E, Wikramanayake ED, Burgess ND, Powell GVN, Underwood EC, D'amico JA, Itoua I, Strand HE, Morrison JC, et al. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. *Bioscience*

51(11):933-938.

- Parmesan C, Ryrholm N, Stefanescu C, Hill JK, Thomas CD, Descimon H, Huntley B, Kaila L, Kullberg J, Tammaru T, et al. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579–583.
- Pearson RG. 2010. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Lessons in conservation* 3:54-89.
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Bastos Araújo M. 2011. Ecological niches and geographic distributions. United States of America: Princeton University Press. 316 p.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Powell JA, Logan JA. 2005. Insect seasonality: circle map analysis of temperature-driven life cycles. *Theoretical Population Biology* 67:161-179.
- Proosdij ASJ Van, Sosef MSM, Wieringa JJ, Raes N. 2015. Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography* 38:1-11.
- Pye JM, Holmes TP, Prestemon JP, Wear DN. 2011. Economic Impacts of the Southern Pine Beetle. In: Coulson RN, Klepzing K. eds: Southern Pine Beetle II. Department of Agriculture Forest Service. p. 213-222.
- Raes N, Roos MC, Slik JWF, Van Loon EE, Steege HT. 2009. Botanical richness and endemism patterns of Borneo derived from species distribution models. *Ecography* 32: 180-192.
- Ruiz-Sanchez E, Mendoza-González G, Rojas-Soto O. 2015. Mexican priority bamboo species under scenarios of climate change. *Botanical Sciences*:1-13.

- Safranyik L, Carroll AL, Régnière J, Langor DW, Riel WG, Shore TL, Peter B, Cooke BJ, Nealis VG, Taylor SW. 2010. Potential for range expansion of mountain pine beetle into the boreal forest of North America. *The Canadian Entomologist* 142:415-442.
- Salinas-Moreno Y, Ager A, Vargas CF, Hayes JL, Zúñiga G. 2010. Determining the vulnerability of Mexican pine forests to bark beetles of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Forest Ecology and Management* 260:52-61.
- Salinas-Moreno Y, Mendoza MG, Barrios MA, Cisneros R, Macías-Sámano J, Zúñiga G. 2004. Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. *Journal of Biogeography* 31(7):1163-1177.
- Schelhaas M-J, Nabuurs G-J, Schuck A. 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology* 9:1620-1633.
- Six DL, Bracewell R. 2015. *Dendroctonus*. In: Vega FE, Hofstetter RW, eds. *Native bark beetle: biology and ecology of native and invasive species*. London, UK: Springer. p. 305-350.
- Thatcher RC, Searcy JL, Coster JE, Hertel GD, eds. 1980. *The southern pine beetle*. USDA, Expanded Southern Pine Beetle Research and Application Program, Forest Service, Science and Education Administration, Pineville, LA. Technical Bulletin 1631. 265 p
- Trần JK, Ylioja T, Billings RF, Jacques R, P. AM. 2007. Impact of Minimum Winter Temperatures on the Population dynamics of *Dendroctonus frontalis*. *Ecological Society of America* 17(3):882-899.
- Turtola S, Manninen A-M, Rikala R, Kainulainen P. 2003. Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in scots pine and norway spruce seedlings. *Journal of Chemical Ecology* 29(9):1981-1995.

- Ungerer MJ, Ayres MP, Lombardero MJ. 1999. Climate and the northern distribution limits of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Biogeography* 26(6):1133-1145.
- Virtanen T, Neuvonen S, Nikula A. 1998. Modelling topoclimatic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) with a Geographical Information System: predictions for current climate and warmer climate scenarios. *Journal of Applied Ecology* 35:311-322.
- Wagner TL, Gagne JA, Doraiswamy P, Coulson RN, Brown KW. 1979. Development time and mortality of *Dendroctonus frontalis* in relation to changes in tree moisture and xylem water potential. *Environmental Entomology* 8: 1129–1138.
- Waring KM, Reboletti DM, Mork LA, Huang C-H, Hofstetter RW, Garcia AM, Fulé PZ, Davis TS. 2009. Modeling the impacts of two bark beetle species under a warming climate in the southwestern USA: ecological and economic consequences. *Environmental Management* 44:824-835.
- Warren DL, Seifert SN. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications* 21(2):335-342.
- Wayne GP. 2013. Representative Concentration Pathways. *Skeptical Science* 24 p.
- Webb JW, Franklin RT. 1978. Influence of phloem moisture on brood development of the southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology* 7:405–410.
- Weed AS, Ayres MP, Hicke JA. 2013. Consequences of climate change for biotic disturbances in North American forests. *Ecological Monographs* 83(4):441-470.
- Williams DW, Liebhold AM. 2002. Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology* 4:87-99.

- Wilson RJ, Gutiérrez D, Gutiérrez J, Martínez D, Agudo R, Monserrat VJ. 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8:1138-1146.
- Wood SL. 1982. The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae). A taxonomic monograph. *Great Basin Naturalist. Memoirs* 6. Brigham Young University, Provo Utah.

CAPÍTULO IV. REFLEXIONES FINALES

En el presente trabajo se usaron dos enfoques complementarios para abordar un tema de gran relevancia económica y ecológica: 1) la percepción local de los comuneros sobre los descortezadores en seis comunidades de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) y 2) la distribución potencial actual de cuatro especies de descortezador y los principales hospederos asociados a estos, así como su proyección ante un escenario climático del 2070.

Bajo el enfoque local, la presencia de descortezadores tiene un impacto menor en los bosques de las localidades de estudio, debido principalmente a la falta de un aprovechamiento comercial de la madera y al co-manejo dentro de la Reserva, ya que muchas de las decisiones de los ejidos y comunidades respecto al aprovechamiento de sus recursos se toman de acuerdo a la legislación forestal mexicana (Bray et al. 2007).

La influencia de las políticas públicas en el sector forestal tiene un impacto en el control de los insectos descortezadores, ya que las instituciones como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) promueven la conservación de los bosques en áreas protegidas, y no existen incentivos para el aprovechamiento maderable, actividad que bien organizada, y bajo un modelo de organización comunitaria puede ser una alternativa económica (Bray et al. 2003) y permitir una mayor atención a los disturbios en los bosques.

Aunque los reportes indican un incremento de los brotes por insectos descortezadores en México (SINIARN 2013), y también los modelos realizados predicen un incremento en las áreas de distribución de *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* para el 2070, la percepción de los comuneros indica un control de los brotes de descortezador mediante la organización y actividades de saneamiento incorporadas a partir de asesores externos.

A pesar de que actualmente no existen afectaciones por los descortezadores, en este estudio no se contabilizó el impacto a los servicios ambientales que proveen los bosques a las comunidades como la recarga de acuíferos y la diversidad

biológica, así como la cantidad de combustibles producto de madera muerta y que puede ser fuente de incendios forestales, ya que existe un mayor peligro después de dos años de los brotes dependiendo de los sitios y de las condiciones climáticas (Bentz 2005).

Dentro de la Reserva, existen bosques que son susceptibles al ataque de los insectos descortezadores, sin embargo, la expansión y dispersión de los brotes depende de diferentes factores; por un lado, la respuesta de los árboles a la sequía puede generar resistencia o mayor susceptibilidad a la colonización por insectos; por otro lado, también depende de la sincronía de los insectos con condiciones ambientales adecuadas y de la composición de los bosques en edad y estructura (McDowell et al. 2008). Otros factores relacionados con las prácticas de manejo de los rodales como la tala selectiva (Covington et al. 1997), el sobrepastoreo o eventos como los incendios (Leal-Olivera 2014), también pueden provocar mayor susceptibilidad a la colonización por insectos.

Para conocer la distribución de las especies de descortezador, se han realizado esfuerzos en diferentes países, en México se tienen mapas de distribución potencial de las 12 especies presentes (Salinas-Moreno et al 2010), sin embargo, pocos estudios toman en cuenta la interacción con los hospederos y los efectos del clima en su distribución (Morris et al. 2017), puesto que los pinos son un factor limitante para la dispersión de los insectos.

En este estudio se incluyó la modelación de la distribución potencial de cuatro especies de descortezador que se han registrado desde el 2005 dentro de la RBTC (COFOSA 2009) y la distribución de sus principales hospederos para obtener el área adecuada. La proyección de estas áreas bajo escenarios de cambio climático muestra una heterogeneidad entre las especies de descortezador, ya que se proyecta una disminución en la distribución para algunas y un aumento y desplazamiento en otras, también permite diferenciar que existe una mayor área de distribución en México, que relacionada con la diversidad de los pinos, 42 especies presentes (Farjon y Styles 1997), resulta de gran importancia analizar estas interacciones a partir de su distribución.

Un factor limitante de los modelos de distribución utilizados en este estudio es que operan a una escala global (mayor a 10000 km) donde no son visibles las variables bióticas que incluyen la interacción con otros insectos y que son a micro escala (menor de 10 m) (Pearson y Dawson 2003), debido principalmente a la falta de datos y a la complejidad de estas interacciones.

También se requieren estudios complementarios para tomar en cuenta la distribución de todos los hospederos preferidos por cada especie que incluyen desde ocho para *D. mesoamericanus* (Armendáriz-Toledano et al. 2015) hasta 21 para *D. mexicanus* (Salinas-Moreno et al. 2010).

Los modelos de distribución son insumos al estudio de los brotes de descortezador, sobre todo en relación a escenarios de cambio climático. Los mapas generados pueden ser una base para proponer estrategias de monitoreo en áreas adecuadas para la presencia de descortezadores o mejorar las estrategias llevadas a cabo por comunidades que no son netamente forestales pero que han experimentado los daños por estos insectos, como es el caso de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Estos modelos estiman un área de distribución y es posible que bajo otras variables y otros escenarios se pueda predecir otras áreas, por lo que es necesario complementar esta información con muestreos en campo que permita tener una mayor certeza de las predicciones de los mismos. Además, también se pueden incluir factores sociales que permitan saber el riesgo potencial por brotes de descortezadores; algunos criterios pueden ser las prácticas vinculadas a la condición de los rodales, cómo la reforestación o la corta selectiva de árboles, que promueven bosques homogéneos susceptibles a experimentar un mayor riesgo (Covington et al. 1997). Asimismo, puede incluirse la opinión de expertos y los estudios que existen en el país para explicar la existencia de los brotes actuales y los sitios donde se espera que tengan mayor riesgo en el futuro.

Literatura citada

Armendáriz-Toledano F, Niño A, Sullivan BT, Kirkendall LR, Zúñiga G. 2015. A New

- Species of Bark Beetle, *Dendroctonus mesoamericanus* sp. nov. (Curculionidae: Scolytinae), in Southern Mexico and Central America. *Annals of the Entomology Society of America* 108(3):403-414.
- Bentz B. 2005. Bark Beetle Outbreaks in Western North America: Causes and Consequences. Snowbird, Utah. 44 p.
- Bray D, Merino L, Barry D. 2007. Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales. Primera ed. México, DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. 339 p.
- Bray DB, Merino-Pérez L, Negreiros-Castillo P, Segura-Warnholtz G, Torres-Rojo JM, Vester HFM. 2003. Mexico's Community-Managed Forests as a Global Model for Sustainable Landscapes. *Conservation Biology* 17(3):672–677.
- COFOSA (Consultoría forestal y servicios agropecuarios SA de CV). 2009. Estudio regional forestal. Unidad de manejo forestal 2010. Región Cañada. Oaxaca, México. 336 p.
- Covington WW, Fulé PZ, Moore MM, Hart SC, Kolb TE, Mast JN, Sackett SS, Wagner MR. 1997. Restoring ecosystem health in ponderosa pine forests of the southwest. *Journal of Forestry* 95:23–29.
- Farjon A, Styles BT. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica*, Monograph 75. New York, USA: Organization for Flora Neotropica. The New York Botanical Garden.
- Leal Olivera N. 2014. Fluctuación estacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y variación estacional de la temperatura y humedad relativa, en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. Edo. de México, México. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de postgraduados. 63 p.
- McDowell N, Pockman WT, Allen CD, Breshears DD, Kolb T, Plaut J, Sperry J, West A, Williams DG, Yepez EA, et al. 2008. Mechanisms of plant survival and

mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* 178(4):719-739.

Morris JL, Cottrell S, Fettig CJ, Hansen WD, Sherriff L, Carter VA, Clear JL, Clement J, Deroose RJ, Hicke JA, et al. 2017. Managing bark beetle impacts on ecosystems and society: priority questions to motivate future research. *Journal of Applied Ecology* 54:750-760.

Pearson RG, Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12:361–371.

Salinas-Moreno Y, Ager A, Vargas CF, Hayes JL, Zúñiga G. 2010. Determining the vulnerability of Mexican pine forests to bark beetles of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Forest Ecology and Management* 260:52-61.

Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SINIARN). 2013. [Consultada 10/04/2018]. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx>.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

El daño por descortezadores puede ser percibido de diferente manera dependiendo del aprovechamiento que se realiza de los recursos del bosque. Para el enfoque local utilizado, la presencia de descortezador no constituye una amenaza en los bosques de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, ya que el aprovechamiento comercial de la madera no es la actividad principal de los comuneros y debido a que las políticas de conservación de la reserva les impiden realizar un aprovechamiento de tipo económico. Además, aunque en algunas comunidades cuentan con un permiso de aprovechamiento maderable autorizado, el uso del bosque se centra en un uso múltiple, con un impacto menor en los bosques.

A pesar de lo anterior y del poco conocimiento respecto a los síntomas e identificación de los descortezadores, los comuneros han adoptado medidas para enfrentar los brotes en el pasado, mediante los principios de la comunalidad y la organización basada en usos y costumbres. De presentarse nuevamente brotes en los bosques de los comuneros, es posible que puedan enfrentarlos mediante la organización interna y con el apoyo del conocimiento científico sobre las especies de *Dendroctonus* que se encuentran en sus bosques.

Para el enfoque global, se estimó la distribución potencial de cuatro especies de descortezador que indica una disminución en el área de distribución de *D. adjunctus* y *D. mexicanus* y un aumento en *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* para el escenario climático HadGEM2-ES RCP8.5 del 2070. El área adecuada representada por la distribución de dos hospederos para cada especie muestra la misma tendencia que la distribución potencial, se tiene un incremento en el área adecuada para *D. frontalis* y *D. mesoamericanus* y una disminución en *D. adjunctus* y *D. mexicanus* para el 2070. Es necesario tomar en cuenta la distribución de todos los hospederos de cada especie que permita estimar de manera más aproximada del área adecuada para cada insecto.

Estos dos enfoques muestran la importancia de generar información actual sobre la distribución de especies de importancia ecológica y económica; los mapas

generados son la base para futuros estudios con otros escenarios y otras variables que se pueden complementar para proponer estrategias de monitoreo en las áreas adecuadas para la presencia de descortezadores y en sitios donde se han presentado brotes en el pasado como el caso de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

ANEXOS



Encuesta. Manejo del bosque

Folio: _____

Encuestador: _____

Fecha de la encuesta : _____

I. Datos generales

Nom- Edad:
bre: _____

La participación en la encuesta es voluntaria. Estoy de acuerdo en participar y permito el uso de los datos de manera anónima en los documentos académicos que resulten de esta investigación. Firma

Localidad: _____

Municipio: _____

Estado: _____

II. Datos del encuestado

1. ¿Tiene algún cargo dentro de la comunidad? 1. Sí 2. No	2. ¿Cuál es el cargo que ocupa? 1. Autoridad ejidal 2. Vigilancia comunitaria 3. Otro	3. ¿Cuál es la tenencia de la tierra? 1. Ejido 2. Comunidad 3. Propiedad privada	4. ¿Su ejido/comunidad tiene algún reglamento sobre el manejo del bosque? 1. Sí 2. No
--	---	--	--

<p>5. ¿En qué consiste y para quienes se aplica este reglamento?</p>	<p>6. ¿Cuál es su ocupación principal?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Agricultor 2. Ganadero 3. Carpintero 4. Comercio de la madera 5. No trabaja 6. Otro 	<p>7. ¿Cuenta con superficie forestal?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sí 2. No
---	---	--

III. Zonas de bosque

<p>8. ¿Cuáles son los árboles más abundantes en su bosque?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pinos 2. Encinos 3. Otros 	<p>9. ¿Cuáles árboles son los que más utiliza?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pinos 2. Encinos 3. Otros 	<p>10. ¿Qué recursos obtiene del bosque?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Leña 2. Plantas comestibles 3. Frutos o semillas 4. Otro 	<p>11. ¿Necesita un permiso para poder cortar árboles?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sí 2. No
<p>12. ¿Cuántos árboles pueden cortar por familia/mes?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 1-5 2. 5-10 3. Más de 10 	<p>13. ¿Qué uso le da a éstos árboles?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Leña 2. Construcción 3. Carbón 4. Venta 5. Otro 	<p>14. ¿Qué tipo de herramienta utiliza para aprovechar los árboles?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Machete 2. Motosierra 3. Otro 	<p>15. ¿Quiénes se encargan de ir por éstos árboles?</p>

<p>16. ¿Existe gente sin permiso que también aproveche los árboles? 1. Sí 2. No ¿Quiénes?</p>	<p>17. ¿Qué eventos recientes han afectado el bosque?</p>	<p>18. ¿Cómo se organizan dentro de su comunidad para atender éstos eventos? Explique</p>
---	--	--

IV. Daños por descortezador

<p>19. ¿Ha observado árboles dañados o muertos en el bosque? 1. Sí 2. No</p>	<p>20. ¿A qué cree que se deba? 1. Incendios 2. Plagas 3. Otro</p>	<p>21. ¿Qué tipo de plagas ha observado en su bosque?</p>	<p>Espacio para mostrar especies de descortezador</p>
---	---	--	--

V. Acceso a programas gubernamentales

<p>31. ¿Ha recibido proyectos por parte de la CONAFOR? 1. Sí 2. No ¿De qué tipo?</p>	<p>32. ¿Cuentan con el programa de Pago por Servicios Ambientales? 1. Sí 2. No ¿Desde qué año?</p>	<p>33. ¿Cuentan con permisos de aprovechamiento forestal por parte de la CONAFOR? 1. Sí 2. No ¿Desde qué año?</p>	<p>34. ¿Han recibido apoyos para realizar saneamientos forestales? 1. Sí 2. No ¿En qué año?</p>
---	---	--	--

<p>22. ¿Ha observado árboles muertos por descortezador?</p> <p>1. Sí 2. No</p>	<p>23. ¿Cómo identifica a los árboles dañados por este insecto?</p>	<p>24. ¿Desde cuándo se dio cuenta de los árboles dañados? ¿Cómo recuerda ese año? Precisar</p>	<p>25. ¿En su terreno cuántos árboles afectados tiene?</p>
<p>26. ¿Cuánta superficie cree que está afectada por descortezador en su comunidad?</p> <p>1. 1- 10 ha 2. 10-20 ha 3. Más de 20 ha</p>	<p>27. ¿Cómo considera el daño en el bosque por este insecto?</p> <p>1. Poco grave 2. Algo grave 3. Muy grave</p>	<p>28. ¿Ha cambiado la superficie del bosque debido a la presencia del descortezador?</p> <p>1. Ha disminuido 2. Ha aumentado 3. Sigue igual</p>	
<p>29. ¿Qué acciones cree que deban hacerse para controlar los daños ocasionados por el descortezador?</p>			<p>30. ¿Qué ha hecho desde que se comenzó a dañar el bosque?</p> <p>1. Dar aviso a autoridades ejidales 2. Cortar los árboles 3. Quemar 4. Otro</p>
<p>35. ¿En qué consisten los saneamientos de los árboles afectados?</p> <p>1. Cortar 2. Cortar y enterrar 3. Cortar y</p>	<p>36. ¿Es suficiente el apoyo para sanear las zonas afectadas por descortezador?</p> <p>1. Sí 2. No ¿Por qué?</p>	<p>37. ¿Recibe apoyo para sanear por parte de otra institución?</p> <p>1. Sí 2. No ¿De qué tipo?</p>	

quemar 4. Descortezar y aplicar químicos 4. Otro		
---	--	--

VI. Reflexiones finales

38. ¿Cómo podría evitar que se mueran más árboles?
39. ¿Qué limitaciones enfrenta para poder evitar o controlar el daño a los árboles?
40. ¿Qué uso le da a los terrenos afectados por descortezador?

Guía de entrevistas semiestructuradas

Personal de la CONANP y CONAFOR

1. ¿Puede describir en qué consiste el manejo forestal que realizan los propietarios de los bosques en Oaxaca?
2. ¿Qué tipo de plagas existen en los bosques? ¿Cuál considera que es la de mayor importancia?
3. ¿Desde qué año fue informado sobre la presencia de descortezador en Oaxaca?
4. ¿Cuántas localidades han sido afectadas por descortezador en la región cañada? ¿Cuántas están dentro del polígono de la RBTC?
5. ¿De éstas, donde se presentan los mayores daños?
6. ¿En cuántas localidades se han realizado saneamientos forestales?
7. ¿Considera que estos saneamientos han sido suficientes para controlar la presencia de descortezador?
8. ¿A qué zonas de la RBTC corresponden las localidades afectadas de acuerdo a la zonificación del Área Natural Protegida?
9. ¿El manejo forestal que realizan éstas localidades concuerda con el programa de manejo?
10. ¿Cuáles son las especies de descortezador que se han registrado en la región cañada?
11. ¿Quién se encarga de realizar los saneamientos forestales en éstas zonas?
12. ¿En qué consisten las actividades de saneamiento realizadas en las localidades afectadas por descortezador?
13. ¿Qué responsabilidades o acciones les corresponde hacer como institución?

14. ¿Cómo se coordinan las instituciones con las comunidades para llevar a cabo los saneamientos forestales?
15. ¿Qué tipo de limitantes se enfrentan como institución para apoyar o participar en los saneamientos forestales?
16. ¿Qué porcentaje del presupuesto operativo es asignado al componente de sanidad forestal? ¿Qué porcentaje es asignado para daños por descortezador?
17. ¿Considera que el presupuesto asignado es suficiente para controlar la superficie plagada? ¿Ha aumentado en el último año?
18. Tomando en cuenta la superficie afectada los últimos cinco años, ¿Considera que la superficie actual ha aumentado, ha disminuido o sigue igual?
19. Con base en su opinión, (en caso de que la superficie haya aumentado) ¿qué factores han propiciado el incremento en la superficie afectada?
20. ¿Qué tipo de medidas proponen en las áreas que han sido afectadas por descortezador?
21. ¿Qué actividades son necesarias para mantener los bosques sanos y quienes considera que son los encargados de realizarlas?