

# **Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca**



**Editor**

Dr. Sadoth Sandoval Torres

**Editores Asociados**

- Protección y Producción Vegetal: Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez
- Patrones y procesos de la Biodiversidad del Neotrópico: Dra. Demetria Martha Mondragón Chaparro
- Administración de los Recursos Naturales: Dra. Arcelia Toledo López
- Ingeniería: M. en C. Frank Manuel León Martínez
- Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario: M. en C. Graciela E. González Pérez

**Responsables de la Edición**

Dr. Baldomero Hortencio Zárate Nicolás

Dr. Carlos Espinoza Nájera

M. en. C. María Yescas León

**Instituto Politécnico Nacional**

Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"  
Zacatenco, Delegación. Gustavo A. Madero  
CP 07738, México DF.

**Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional  
Unidad Oaxaca**

Hornos No. 1003, Col. Noche Buena,  
Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230. Oaxaca.  
Teléfono: (951) 517 0610 Ext. 82769.

**Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca**, Año 3, Vol. 3 Núm. 3, 15 de Agosto 2019, es una publicación anual editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR – Unidad Oaxaca. Calle Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México, C.P. 71230. Teléfonos: 951 517 06 10, ext. 82769, <http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/cccto/>, Editor responsable: Dr. Sadoth Sandoval Torres. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-060817174800-203. ISSN: 2594-0171, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Unidad de Informática del CIIDIR – UNIDAD OAXACA del IPN: L.I. Justo César Marcial Aguilera. Calle Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México, C.P. 71230, fecha de la última modificación, 29 de Agosto de 2019. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

## CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	4
CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES DE ONDA ULTRASÓNICA CON EL ESFUERZO DE FLUENCIA DE UN FLUIDO VISCOPLÁSTICO .....	6
DETECCIÓN DE CONTAMINACIÓN DE ORIGEN AGRÍCOLA EN SAN ANTONINO CASTILLO VELASCO, OAXACA.....	13
IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS HÚMEDOS Y SECOS MEDIANTE ESCALAS ESPECÍFICAS DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	18
EFFECTO DEL FOROFITO SOBRE LA PROBABILIDAD DE REPRODUCCIÓN DE <i>Tillandsia carlos-hankii</i> Matuda (BROMELIACEAE) .....	22
LA PLAGA POR DESCORTEZADOR EN OAXACA, MÉXICO: ANÁLISIS CON ECUACIONES ESTRUCTURALES .....	27
USO DE EXTRACTOS ORGANICOS EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN BIOMASA DE ALBAHACA .....	36
LA RUTA TURISTICA CAFÉ PLUMA: ANÁLISIS Y PROPUESTA DE RESTRUCTURACIÓN .....	41
DISEÑO PARTICIPATIVO DE SANITARIO SECO EN ASENTAMIENTO PERIURBANO A LA CIUDAD DE OAXACA DE JUÁREZ.....	48
LA COCINA TRADICIONAL DE SOLA DE VEGA, OAXACA, COMO ELEMENTO DE IDENTIDAD CULTURAL.....	55

## LA PLAGA POR DESCORTEZADOR EN OAXACA, MÉXICO: ANÁLISIS CON ECUACIONES ESTRUCTURALES

Rivera Jiménez Edith, Regino Maldonado Juan, Pérez Rosas Brenda, Luis Santiago Magdiel, García Hernández José, Lázaro Juárez Evelyn, Martínez López Citlali, Ruiz Jiménez, Axel  
Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-Unidad Oaxaca.

Autor para correspondencia: [jregino@ipn.mx](mailto:jregino@ipn.mx)

### Resumen

Entre los problemas forestales más importantes en México se encuentran la plaga por descortezador. De manera puntal, en los bosques de Oaxaca se ha presentado un aumento en el número de brotes de escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus sp.*, a partir de los años 90's. Se utiliza el marco FPEIR (Fuerzas motrices indirectas, Presión, Estado, Impacto, Respuesta), y el modelo de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales con el software smartPLS 3.0 para explicar la dinámica de la plaga y su compleja relación con cada uno de los componentes del modelo. Para integrar los cinco componentes del modelo se seleccionaron siete indicadores que aportaron datos sobre el estado del descortezador en zonas forestales de Oaxaca, atendiendo que fueran datos bien representados, provenientes de fuentes secundarias confiables y disponibles en un lapso de tiempo de 1990 a 2017. El estudio concluye que debido al cambio climático la precipitación anual (mm) e índice de infiltración (mm) disminuyeron considerablemente, factores que provocaron la aparición frecuente de incendios de bosques, disminución de la cubierta forestal y la proliferación del descortezador. Ante la plaga del escarabajo el gobierno mantuvo en observación, cuidado y saneamiento casi la misma cantidad de hectáreas afectadas y tratadas por la enfermedad arbórea durante el periodo analizado.

**Palabras clave:** Servicios ecosistémicos, plagas y enfermedades de bosques, ecosistemas forestales,

### Abstract

Some of the most important forest problems in Mexico is pest per bark beetle. From the 90's in the forests of Oaxaca there has been an increase in the number of bark beetle shoots of the genus *Dendroctonus sp.* The DPSIR framework (Drives indirect forces, Pressure, State, Impact, Response), structural equations model with the partial least squares in the smartPLS 3.0 software are used to explain the dynamics of the pest and its complex relationship with each of the model components. To integrate the five components of the model, seven indicators were selected to provide data on the state of the bark beetle in forested areas of Oaxaca, taking into account that they were well represented data, coming from reliable secondary sources and available in a period of time from 1990 to 2017. The study concludes that due to climate change annual precipitation (mm) and infiltration index (mm) decreased considerably. These factors have caused the frequent occurrence of forest fires, reduction of forest cover and the proliferation of bark beetle. Given the plague of the beetle, the government kept almost the same number of hectares affected and treated by the tree disease during the analyzed period under observation, care and sanitation.

**Keywords:** Ecosystem services, forest pests and diseases, forest ecosystems,

## INTRODUCCIÓN

La creciente pérdida de hectáreas de superficie forestal reportadas en Oaxaca en los últimos años, se ha debido a incendios, deforestación, enfermedades y plagas (Salinas *et al.*, 2010). Entre las plagas más recurrentes se encuentran el barrenador, defoliador, muérdago y descortezador (Sosa *et al.*, 2018; Del-Val y Sáenz, 2017; Queijeiro *et al.*, 2011).

Los insectos descortezadores del género *Dendroctonus*, son las plagas forestales primarias más importantes en los bosques de pino en el sur de México (Castellanos *et al.*, 2013). Los ecosistemas de bosque en Oaxaca son de gran importancia ecológica, económica y social para las comunidades cercanas. Durante el período 2004-2009 más de 6,300 ha de bosques de pinos del estado fueron atacadas por los insectos descortezadores *Dendroctonus adjunctus* Blandford, *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Castellanos *et al.*, 2013). Estos son los insectos más destructivos y que en términos económicos el volumen de madera resulta ser la más afectada (Jiménez, 2005). La dinámica de estas plagas inicia con las hembras pioneras en la colonización de especies arbóreas, liberando sus feromonas, las cuales estimulan a los machos a agregarse sobre el fuste del árbol (Casimiro, 2007). El primer signo que muestra un árbol infestado son escurrimientos de resina sobre el fuste o base de las ramas. En una zona plagada, es notorio el cambio en la tonalidad verde del árbol a una amarillenta o café rojiza (Nunez y Dávila, 2012). Dependiendo del grado de infestación en las superficies arbóreas, se toman las acciones de tratamiento químico con feromonas cuando la agresión puede ser revertida; pero, si la afectación es irreversible, se realiza el derrumbe de los ejemplares. La plaga por descortezador afecta los servicios ecosistémicos (provisión, regulación, culturales y de soporte), que son las contribuciones tanto directas como indirectas que recibimos los humanos de los ecosistemas (MEA, 2005; Daily *et al.*, 1997).

El marco conceptual de FPEIR (Fuerzas motrices indirectas, Presión, Estado, Impacto, Respuesta), diseñado por la Agencia Europea

del Medio Ambiente (EEA por sus siglas en inglés) (Svarstad *et al.*, 2008; EEA, 1999), proporciona un marco integrado para el análisis de factores sociales, económicos y ambientales relacionados al problema de plaga por descortezador en los bosques de Oaxaca. Para efectos de esta revisión, las fuerzas motrices indirectas se entienden como los factores externos, por ejemplo el cambio climático, que a su vez genera presiones y compromete la integridad de los ecosistemas, afectando así el estado de los bosques en Oaxaca con la proliferación de descortezador. Por lo tanto, se generan impactos económicos, sociales, ambientales, entre otros. Para menguar los impactos se generan respuestas de solución por parte de la sociedad y principalmente del gobierno a los problemas ambientales. Por lo anterior, el estudio plantea las hipótesis siguientes:

H1: La superficie tratada por efecto de descortezador tiene una relación inversa y negativa con la precipitación e índice de infiltración.

H2: La superficie tratada por efecto de descortezador tiene una relación directa y positiva con los incendios.

H3: La superficie tratada por efecto de descortezador tiene una relación directa y positiva con la superficie afecta por descortezador.

H4: La superficie tratada por efecto de descortezador tiene una relación directa y positiva con la producción forestal maderable y captura de carbono.

H5: La precipitación anual e índice de infiltración tienen una relación inversa y negativa con los incendios.

H6: Los incendios tienen una relación directa y positiva con la superficie afectada por descortezador.

H7: La superficie afectada por descortezador tiene una relación inversa y negativa con la producción forestal maderable y captura de carbono.

En síntesis del análisis de la literatura y contexto se planteó el modelo de investigación (Figura 1).

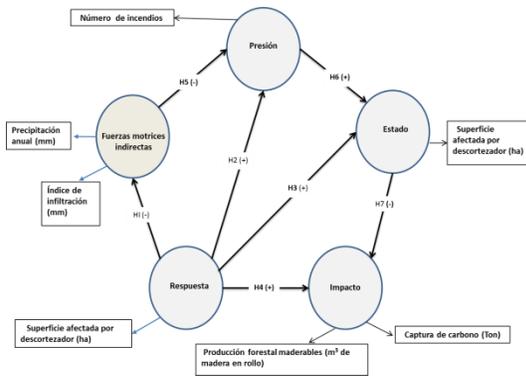


Figura 1. Modelo de investigación  
Fuente: CONAFOR 2019, 2018; MEA 2005; EEA 1999

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Para explicar cuál ha sido el efecto de la respuesta del gobierno al problema ambiental de plagas y enfermedades de los bosques en Oaxaca por la distribución del descortezador. Se diseña un estudio longitudinal explicativo que analiza las relaciones causales entre cinco variables latentes del marco FPEIR con el modelo de ecuaciones estructurales y mínimos cuadrados parciales (Wei *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2018; Santos-Martín *et al.*, 2013). Con base en información de fuentes secundarias (INEGI, CONAFOR, SEMARNAT) considerando un período de 28 años, a nivel

estatal se seleccionaron siete indicadores o variables manifiestas disponibles de 1990 a 2017, quienes integraron las cinco variables latentes del modelo (Lorenzo-Cruz, 2014; Sotelo *et al.*, 2011) (Tabla 1).

Primero se realiza un análisis de tendencias de cada uno de los indicadores de las cinco variables latentes. En seguida se realiza el análisis causal de las variables latentes para probar las hipótesis del estudio con el software smartPLS 3.0 (Wei *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2018).

**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

**Análisis individual de tendencias de los indicadores**

En Oaxaca de 1990 a 2017 la precipitación anual (mm), el índice de infiltración (mm), la producción forestal maderable (m<sup>3</sup> de madera en rollo), y la captura de carbono (Ton) disminuyeron considerablemente. El número de incendios aumento, mientras que la superficie afectada por descortezador (ha), y la superficie tratada por efecto de descortezador (ha) no presentaron cambios considerables (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis individual de tendencias por indicador

Variable latente		Variable manifiesta		Valor de la pendiente	Tendencia	
Dependiente	Fuerzas motrices indirectas	FMI3	Precipitación anual (mm)	-0.0188	Disminuye considerablemente	↓↓
		FMI6	Índice de infiltración (mm)	-0.0943	Disminuye considerablemente	↓↓
	Presión	P1	Número de incendios	0.0513	Aumenta	↑
	Estado	E1	Superficie afecta por descortezador (ha)	0.0139	Estable	↔
	Impacto	I3	Producción forestal maderable (m <sup>3</sup> de madera en rollo)	-0.0671	Disminuye considerablemente	↓↓
		I5	Captura de carbono (Ton)	-0.1122	Disminuye considerablemente	↓↓
Independiente	Respuesta	R2	Superficie tratada por efecto de descortezador (ha)	0.0103	Estable	↔

Fuente: CONAFOR 2019, 2017; SEMARNAT 2018

**Evaluación del modelo de medición**

Los valores de la confiabilidad compuesta (CC), como los valores del Alpha de Cronbach y valores del índice de Rho\_A de Dijkstra y Henseler de las cinco variables latentes fueron 0.941, 0.875 y 0.888 respectivamente, cercanos a 1. Los resultados anteriores muestran consistencia interna de los datos del

modelo de medición. La varianza promedio extraída (VPE) en las cinco variables fue mayor a 0.888, lo que indica una buena validez convergente de los datos de cada constructo. El índice de bondad de ajuste de 0.686, indica el buen ajuste del modelo completo, ya que el valor obtenido es cercano a 1 (Tabla 2).

Tabla 2. Consistencia interna y validez convergente

Variable	Alpha de Cronbach	Rho_A	CC	VPE
Estado	1.00	1.000	1.000	1.000
Fuerzas motrices indirectas	0.875	0.888	0.941	0.888
Impacto	0.951	1.552	0.972	0.946
Presión	1.000	1.000	1.000	1.000
Respuesta	1.000	1.000	1.000	1.000
Índice de bondad de ajuste	0.686			

La validez discriminante prueba la diferencia entre constructos, es decir que un constructo es único y captura fenómenos no representados por otros constructos del modelo. La validez discriminante se obtuvo con la raíz cuadrada de la VPE de cada variable, donde los valores de la diagonal deben ser mayores a los valores de las filas (Sun *et al.*, 2018; Hair *et al.*, 2014) (Tabla 3).

Tabla 3. Validez discriminante

Variable	Estado	Fuerzas motrices indirectas	Impacto	Presión	Respuesta
Estado	1.00				
Fuerzas motrices indirectas	0.187	0.942			
Impacto	0.190	0.911	0.972		
Presión	0.148	0.467	0.305	1.00	
Respuesta	0.763	0.236	0.166	0.140	1.000

**Evaluación del modelo estructural**

La evaluación de resultados del modelo de ecuaciones estructurales con mínimos cuadrados parciales considera dos puntos importantes: 1. Los coeficientes de determinación R<sup>2</sup>, y 2. Los niveles de significancia de los coeficientes de ruta del modelo estructural (Sun *et al.*, 2018). Los valores de R<sup>2</sup> muestran el grado en que la varianza en las variables latentes puede ser explicada por sus construcciones estructurales; el rango de este valor va de 0 a 1, y entre más

cercano este de la unidad indica una mayor precisión predictiva. En este estudio el resultado del modelo de ecuaciones estructurales explica menos de un tercio del total de la varianza, debido posiblemente al limitado número y composición de variables manifiestas de las variables latentes del modelo (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes de determinación R<sup>2</sup>

Variables	R <sup>2</sup>
Estado	0.584
Fuerzas motrices indirectas	0.056
Impacto	0.037
Presión	0.219

Los niveles de significancia de los coeficientes de ruta (valor t), representan las relaciones hipotizadas entre los constructos, poseen valores que van desde -1 (fuertemente negativo) a +1 (fuertemente positivo), y cuando los valores están cercanos a cero indican relaciones más débiles (Figura 2).

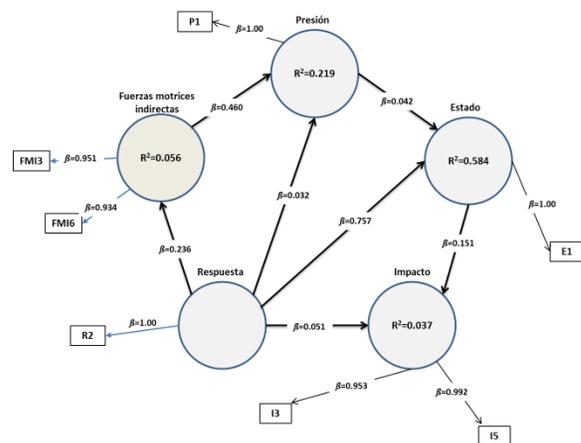


Figura 2. Relación entre variables latentes

De las siete hipótesis que planteo el estudio, sólo 3 resultaron significativas (H3, H5 e H1) (Tabla 5).

H3: La superficie tratada por efecto de descortezador (ha) tiene una relación directa y positiva con la superficie afectada por descortezador (ha) ( $\beta = 0.757$ ) ( $p = 0.000$ ). Cuando se incrementan las hectáreas afectadas por descortezador se incrementan las hectáreas

tratadas por la plaga. Sin embargo, las tendencias de los dos indicadores muestran que ambas superficies no se incrementaron.

H5: La precipitación anual (mm) e índice de infiltración (mm) tienen una relación inversa y negativa con los incendios ( $\beta = 0.460$ ) ( $p = 0.003$ ). Las lluvias y escorrentía disminuyeron considerablemente, probablemente por el cambio climático que ha favorecido a un mayor número de incendios. Los fenómenos climáticos como “El Niño” en los años 90, este produjo condiciones de sequía, incrementándose los incendios forestales en México. Además, los huracanes en 1998 provocaron fuertes vientos y lluvias que causaron inundaciones y avalanchas de barro que devastaron los bosques. En los años siguientes (1999 a 2003), una invasión de descortezadores en toda la región del país destruyó miles de hectáreas de pinares (FAO, 2017). El cambio climático altera el ciclo biológico normal de los escarabajos y por ende su ciclo vital es más corto, ocasionando la coexistencia de hasta diez generaciones superpuestas (Billings *et al.*, 2004). Estudios recientes sugieren que la proliferación por descortezador es consecuencia del cambio climático (CONAFOR, 2018; Weed *et al.*, 2013; Dukes *et al.*, 2009), estas interrupciones inducen estrés fisiológico que alteran los ciclos naturales en los ecosistemas haciéndolos más vulnerables y posteriormente menos resilientes. La situación ocasionada por el escarabajo descortezador se ve potenciada por la presencia de incendios forestales. Como resultado del ataque de esta plaga se obtienen grandes cantidades de madera muerta que de no ser extraídas para su venta o manejo adecuado se convierten en zonas con alta posibilidad de presentar incendios. Además, los incendios debilitan a los pinos cercanos y por ende producen menor cantidad de resina que les ayuda a defenderse de los ataques de plagas. Los bosques de pino de Oaxaca han tenido problemas de plaga de descortezadores desde las décadas de los 50’s, 60’s y 70’s (CONAFOR 2012). Durante el período 1995-2004 parte de sus bosques fue afectado por descortezadores y barrenadores, con un promedio de más de 1,000 hectáreas anuales CONAFOR (2012). Además, los

monocultivos del género *Pinus* establecidos para el aprovechamiento de madera ocasionan crecimiento constante de plántulas e impide la presencia de árboles de diversas edades. Por lo tanto, las plantaciones son muy susceptibles a incendios forestales. Por ello, se ha promovido la implementación de programas y acciones gubernamentales encaminadas a la protección y restauración de la cubierta vegetal. Uno de estos es el Programa para la Prevención y Combate de Incendios Forestales que ha permitido reducir la duración promedio de los incendios forestales (CONAFOR, 2018). H1: La superficie tratada por efecto de descortezador (ha) tiene una relación inversa y negativa con la precipitación anual (mm) e índice de infiltración (mm) ( $\beta = 0.236$ ) ( $p = 0.005$ ). Con el cambio climático la precipitación anual e infiltración de agua presentaron disminuciones considerables, lo que pudo ayudar a la aparición de más incendios. Sin embargo, las hectáreas afectadas y tratadas por descortezador permanecieron estables. La infiltración produce el escurrimiento de nutrientes del suelo. Sin embargo, la pérdida de cobertura vegetal ocasiona que su velocidad disminuya, provocando el empobrecimiento de la fertilidad del suelo. Los datos obtenidos para Oaxaca muestran una clara tendencia a la disminución de la infiltración a partir de la década de los 90’s, la cual se ve reflejada en la calidad del suelo con actividades forestales (Cantú *et al.*, 2007).

Las cuatro hipótesis restantes resultaron no significativas (H2, H4, H6 e H7) (Tabla 5).

Tabla 5. Coeficientes de ruta

Hipótesis	Relación	Coefficiente de ruta ( $\beta$ )	Valores ( $p$ )
H1	Respuesta->Fuerzas motrices indirectas	0.236	0.005
H2	Respuesta->Presión	0.032	0.858
H3	Respuesta->Estado	0.757	0.000
H4	Respuesta->Impacto	0.051	0.848
H5	Fuerzas motrices indirectas->Presión	0.460	0.003
H6	Presión->Estado	0.042	0.623
H7	Estado->Impacto	0.151	0.600

H2: La superficie tratada por efecto de descortezador tiene una relación directa y

positiva con los incendios ( $\beta = 0.032$ ) ( $p = 0.858$ ). El número de incendios se incrementó, pero no provocó incremento de la superficie tratada por descortezador. Lo que impactó en la disminución de la cobertura forestal.

H4: La superficie tratada por efecto de descortezador tiene una relación directa y positiva con la producción forestal maderable y captura de carbono ( $\beta = 0.051$ ) ( $p = 0.848$ ). La producción forestal maderable y captura de carbono disminuyeron pero no significativamente aunque continuó presentando el problema del descortezador y no se incrementaron las superficies tratadas por la plaga.

H6: Los incendios tienen una relación directa y positiva con la superficie afectada por descortezador ( $\beta = 0.042$ ) ( $p = 0.623$ ). Ciertamente se registraron más incendios, pero no significativamente. Sin embargo, no se incrementaron las hectáreas afectadas por la plaga como se tenía considerado. Por lo tanto, se puede decir que los incendios no necesariamente son la causa fundamental de la expansión de las plagas por descortezador.

Finalmente, H7: La superficie afectada por descortezador tiene una relación inversa y negativa con la producción forestal maderable y captura de carbono ( $\beta = 0.151$ ) ( $p = 0.600$ ). Esta última hipótesis también resultó no ser significativa. Sin embargo, las hectáreas dañadas por la plaga del descortezador provocó que la producción de madera y captura de carbono disminuyeran considerablemente (Tabla 5).

La presencia del descortezador involucra cambios en la calidad de la producción maderable, que depende en gran medida de aspectos visuales. Destacan el no presentar nudos, no contar con flamas continuas y no presentar manchas ocasionadas por hongos del género *Ophiostoma*, asociados al tracto digestivo de los descortezadores. Debido al ataque de plagas como *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus adjunctus* y *Dendroctonus mexicanus*, se observan impactos como son la disminución en la cantidad y calidad de  $m^3$  de madera en rollo.

A partir de 1990, se aprecia una tendencia a la baja en el precio del volumen de madera comercial puesta en aserradero. Dentro de los

factores que deprecian el valor del producto maderable se encuentran las manchas por hongos y las galerías generadas por los descortezadores (Castellanos *et al.*, 2013). La disminución en la superficie forestal implica pérdidas monetarias, afecta principalmente, el volumen de madera comercializada y el número de ejemplares que sirven de soporte para la supervivencia de especies no maderables (hongos, bromelias y orquídeas). En la década de los 90's, la producción no maderable alcanzó las 666 toneladas anuales, representando alrededor de \$2 566 000.00 para la economía de la región. Sin embargo, a partir de 1995, se observa una disminución considerable en la producción y un incremento en el costo de las especies no maderables (Nybakk *et al.*, 2009).

Como medida para poder contrarrestar los impactos por descortezador la CONAFOR en conjunto con las comunidades y ejidatarios de Oaxaca, han implementado el tratamiento mecánico el cual consiste en eliminar el individuo arbóreo y en el mejor de los casos partes del árbol pueden ser comercializados como madera de segunda o tercera calidad. Lo anterior, disminuye la provisión de servicios ambientales debido a que grandes extensiones de bosques mueren, se limita la captura de carbono y se reduce la calidad del aire (Boyd *et al.*, 2013; Begon *et al.*, 2006). Ante la problemática, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) inspecciona periódicamente las zonas consideradas como prioritarias para evitar la deforestación, entre las que se incluyen áreas naturales protegidas, zonas de aprovechamiento forestal autorizado y zonas de vegetación natural. Para detener y revertir el deterioro de la cubierta forestal del país, se cuenta con informes técnicos fitosanitarios, mapeos aéreos fitosanitarios, alertas tempranas mensuales y notificaciones de saneamiento. Asimismo, se han implementado campañas de reforestación y programas de restauración de suelos, y sanidad forestal (SEMARNAT, 2019; CONAFOR, 2018). Las alertas tempranas de evaluación de riesgo ante presencia de insectos descortezadores permiten evaluar la condición sanitaria del bosque y los sitios potenciales que podrían

verse afectados por esta plaga. En cumplimiento al Artículo 112 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable estas alertas se publican mensualmente (CONAFOR, 2019). El manejo efectivo de esta plaga se ve menguado por barreras como la existencia de conflictos agrarios en el estado. Estos limitan las acciones para atender el saneamiento de sus bosques, y en consecuencia las plagas se expanden más fácilmente (CONAFOR, 2018). El factor social es determinante y resultó serlo igualmente en el estudio realizado con plantas invasivas en Sudáfrica, donde se reconoció que las diferencias en la fragmentación del hábitat, el acceso a la región y las limitaciones organizativas dieron como resultado altas barreras para generar estrategias efectivas de gestión de plagas (Roura *et al.*, 2009).

De acuerdo a la CONAFOR (2012), otras presiones que ocasionan la expansión de plagas por descortezador son: 1) la tala clandestina, 2) los cambios de uso de suelo, 3) mala ejecución de labores de saneamiento forestal en áreas plagadas, 4) falta de recursos económicos para adquirir insumos, material y equipo de combate, 5) falta de coordinación interna y desinterés de los dueños y poseedores de áreas boscosas afectadas, 6) mala calidad del arbolado que no permite costear acciones de saneamiento forestal, 7) falta de seguimiento (monitoreo periódico) y supervisión técnica a las acciones de combate emprendidas, 8) avance lento en los trabajos de saneamiento por el método mecánico-físico, y 9) desatención y falta de organización para combatir y controlar los primeros brotes incipientes por plagas, y enfermedades forestales.

### Conclusiones

La distribución de los escarabajos descortezadores está relacionada a factores ambientales y socioeconómicos que interactúan. El marco FPEIR (Fuerzas motrices indirectas, Presión, Estado, Impacto, Respuesta) demostró ser una herramienta eficiente para establecer explícitamente los factores que determinan la propagación de los escarabajos descortezadores, y el método de ecuaciones estructurales determinó el impacto

de las principales variables e indicadores asociados a la propagación del descortezador. El estudio concluye que debido al cambio climático la precipitación anual (mm) e índice infiltración (mm) disminuyeron considerablemente, lo que provocó la aparición frecuente de incendios en bosques, disminución de la cubierta forestal y la proliferación del descortezador. Sin embargo, pueden existir otros factores sociales, organizativos, técnicos, económicos y naturales que pueden incidir en la distribución de la plaga. Ante tal situación el gobierno ha mantenido en observación, cuidado y saneamiento la misma cantidad de hectáreas afectadas y tratadas por la enfermedad arbórea durante el periodo analizado.

### Literatura citada

- Begon M., Townsend C. R. y Harper J.L. (2006). *Ecology*. 4a ed. Blackwell Publishing, 737 pp.
- Billings, R. F., Clarke, S. R., Espino-Mendoza, V., Córdón-Cabrera, P., Meléndez-Figueroa, B., Ramón-Campos, J., y Baeza, G. (2004). Gorgojo descortezador e incendios: Una combinación devastadora para los pinares de América Central. *Unasyuva*, 55(217).
- Boyd, I. L., Freer-Smith, P. H., Gilligan, C. A., y Godfray, H. C. J. (2013). The consequence of tree pests and diseases for ecosystem services. *Science*, 342(6160). <http://10.1126/science.1235773>
- Casimiro-Soriguer, D. (2007). Evaluación rápida del uso de trampas de feromonas para la captura de *IPS calligraphus* y sus enemigos naturales en San Fernando (Nueva Segovia) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA). <http://repositorio.una.edu.ni/2016/1/tnh10c339.pdf>
- Castellanos Bolaños, J., Ruiz Martínez, E., Gómez Cárdenas, M., y González Cubas, R. (2013). Fundamentos técnicos para el control de insectos descortezadores de pinos en Oaxaca. Oaxaca: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Comisión Nacional Forestal, Sanidad Forestal (2018), <https://www.gob.mx/conafor>

- Comisión Nacional Forestal, Gerencia del Manejo del Fuego (2019). <https://www.gob.mx/conafor>
- Del-Val, E., y Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *TIP*, 20(2), 53-60. <http://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.006>
- Dukes, J. S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J. R., Rodgers, V. L., Brazeel, N. y Ehrenfeld, J. (2009). Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict?. *Canadian journal of forest research*, 39(2), 231-248.
- Daily GC, (1997). Nature's services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island.
- European Environmental Agency (EEA) (1999). Environmental indicators: Typology and overview. Copenhagen, EEA Technical report no. 25.
- Hair Jr, J. F., Sarstedt, M., Hopkins, L., y Kuppelwieser, V. G. (2014). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) An emerging tool in business research. *European Business Review*, 26(2), 106-121.
- Jiménez Martínez, E. (2005). Insectos descortezadores de pino y sus principales depredadores naturales. (F. Alemán, Ed.) Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Lorenzo-Cruz, P. (2014). Evaluación de los servicios de ecosistemas de la montaña a escala global. Ciudad de México: UAM.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*, Island Press, Washington, DC.
- Nunez Zuffo, C., y Dávila Arce, M. L. (2012). *Guía para la identificación de gorgojos descortezadores del pino e insectos asociados*, Estelí: Claudio Nunes Zuffo.
- Nybakk, E., Crespell, P., Hansen, E., y Luannan, A. (2009). Antecedents to forest owner innovativeness: An investigation of the non-timber forest products and services sector. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 608-618.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2017). *El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos*. 52p. <http://www.fao.org>
- Queijeiro-Bolaños, M. E., Cano-Santana, Z., y Castellanos-Vargas, I. (2011). Distribución diferencial de dos especies de muérdago enano sobre *Pinus hartwegii* en el área natural protegida "Zoquiapan y Anexas", Estado de México. *Acta botánica mexicana*, (96), 49-57.
- Roura-Pascual, N., Richardson, D. M., Krug, R. M., Brown, A., Chapman, R. A., Forsyth, G. G., ... y Wannenburg, A. (2009). Ecology and management of alien plant invasions in South African fynbos: accommodating key complexities in objective decision making. *Biological Conservation*, 142(8), 1595-1604.
- Santos-Martín F., Martín-López B., García-Llorente M., Aguado M., Benayas J., and Montes C. (2013). Unraveling the relationships between ecosystems and human wellbeing in Spain, *PLoS One*, 8(9), e73249
- Salinas M., Y., C. F. Vargas, G. Zúñiga, J. V. Ager y J. L. Hayes. (2010). Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional. Comisión Nacional Forestal. Zapopan; Jal., México. 90 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos (2018), <https://www.semarnat.gob.mx>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2019), Resumen de informe sobre vegetación. <https://www.semarnat.gob.mx>
- Sosa Díaz, L., Méndez González, J., García Aranda, M. A., Cambrón Sandoval, V. H., Villarreal Quintanilla, J. Á., Ruiz González, C. G., y Montoya Jiménez, J. C. (2018). Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques

- de coníferas de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(47), 187-208.  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.159>
- Sotelo, J., Tolón, A., y Lastra, X. (2011). Indicadores por y para el desarrollo sostenible, un estudio de caso. *Estudios Geográficos*, Vol. LXXII, 271, pp. 611-654  
<http://doi: 10.3989/estgeogr.201124>
- Sun, C., Wu, Y., Zou, W., Zhao, L., y Liu, W. (2018). A rural water poverty analysis in China using the DPSIR-PLS model. *Water resources management*, 32(6), 1933-1951.
- Svarstad, H., Petersen, L. K., Rothman, D., Siepel, H. y Waitzold, F. (2008). “Discursive biases of the environmental research framework DPSIR”. *Land use Policy*, 25(1), 116-125.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.03.005>
- Wei, Y., Zhu, X., Li, Y., Yao, T., and Tao, Y. (2019). Influential factors of national and regional CO2 emission in China based on combined model of DPSIR and PLS-SEM. *Journal of Cleaner Production*, 212, 698-712.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.155>