

GUÍA TÉCNICA PARA EL USO DE SEMIOQUÍMICOS PARA EL MONITOREO Y TRAMPEO MASIVO DE *Dendroctonus mexicanus* *y Dendroctonus frontalis* EN MÉXICO



Autores:

Dr. Guillermo Sánchez Martínez

M. Sc. Adán Hernández Hernández

Biól. José Francisco Reséndiz Martínez

Dr. Víctor Javier Arriola Padilla

M.C. Saúl Santana Espinoza

Investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Fotografías:

Guillermo Sánchez Martínez

Guía técnica para el uso de semioquímicos para el monitoreo y trampeo masivo de *Dendroctonus mexicanus* y *Dendroctonus frontalis* en México.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento NoComercial 4.0 Internacional, que permite a terceros consultarla de manera gratuita y hacerle algunas adaptaciones de forma, siempre y cuando se dé el crédito apropiado a los autores y se comparta sin fines comerciales.

Impreso y hecho en México
Zapopan, Jalisco 2020

Contenido:

Introducción	4
Conceptos básicos sobre semioquímicos	5
Feromonas	5
Aleloquímicos	6
Multifuncionalidad de los semioquímicos.....	6
Fundamentos para el uso de semioquímicos.....	6
Semioquímicos que intervienen en el inicio y detención del ataque de <i>Dendroctonus mexicanus</i> y <i>Dendroctonus frontalis</i>	8
Forma de uso de los semioquímicos	9
Semioquímicos para el monitoreo y el trampeo masivo de <i>Dendroctonus frontalis</i> y <i>Dendroctonus mexicanus</i>	11
Protocolo para el monitoreo y trampeo masivo de <i>Dendroctonus frontalis</i> y <i>Dendroctonus mexicanus</i>	14
Ventajas de utilizar semioquímicos para el monitoreo y trampeo masivo	21
Disponibilidad de semioquímicos en el mercado	22
Recomendaciones generales	23
Agradecimientos	24
Literatura consultada	24
Anexos	29

Introducción

Los insectos descortezadores del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) son los más importantes desde el punto de vista ecológico y económico en los bosques de coníferas del mundo; debido a que algunas especies muestran un comportamiento agresivo y tienen la capacidad de causar la muerte de hasta millones de árboles en situaciones epidémicas (Wood 1982, Cibrián et al. 1995, Canadian Forest Service 2020). La importancia de este grupo de insectos se ha acentuado en el presente siglo, ante las evidencias registradas del cambio climático, pues son sensibles a los cambios fisiológicos sufridos por los árboles en temporadas de sequía extrema, llegando a impactar millones de hectáreas en pocos años (Moore y Allard 2008).

En México, la nueva Norma Oficial NOM-019-SEMARNAT-2017, además de indicar las medidas de combate de insectos descortezadores, propone incorporar el uso de semioquímicos para el monitoreo, prevención y control de insectos descortezadores, tomando en cuenta las experiencias y los últimos avances de investigación en la línea de ecología química de insectos descortezadores (SEMARNAT, 2018).

Si bien la literatura refleja que ha habido experiencias importantes con el uso de semioquímicos en México, para la captura de insectos descortezadores de coníferas con distintos propósitos (Islas Salas 1980, Pineda Torres et al. 1988, Villa-Castillo 1992, Torres Espinosa et al. 2004, Sánchez-Martínez et al., 2007; Sánchez-Martínez et al., 2008, Moreno et al. 2008, Macías-Sámamo et al. 2014) es necesario proveer información básica sobre este tipo de tecnología al personal técnico de las dependencias del sector forestal, a los profesionistas prestadores de servicios técnicos forestales y estudiantes de nivel técnico y superior, para que en su momento hagan el mejor uso de ellos y cumplan de la mejor manera con las actividades de monitoreo con fines preventivos o el trampeo masivo, sin riesgo de provocar una infestación accidental o de seleccionar productos semioquímicos inadecuados; asegurando además la correcta identificación de las especies capturadas.

En los últimos 20 años, el autor principal y colaboradores han realizado varios estudios de campo en los que se ha evaluado el efecto atrayente de varios productos semioquímicos disponibles en el mercado, dirigidos a *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus*. El más reciente de estos estudios fue realizado a través de un proyecto financiado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONACYT-CONAFOR) titulado “Validación de formulaciones de compuestos semioquímicos, para determinar aquellas que son apropiadas para el monitoreo y aquellas adecuadas para el trampeo masivo de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* en el centro y norte de México”.

El objetivo de esta publicación es proveer al personal técnico de sanidad forestal una guía para el uso apropiado de semioquímicos con fines de monitoreo o trampeo masivo de estas dos especies. Se incorporan los últimos resultados de investigación y validación de los compuestos semioquímicos bajo las condiciones de México, e integra la información de experiencias de estudios anteriores tanto en nuestro país como el extranjero. El propósito es que el personal técnico y los productores hagan uso de la tecnología forestal que se genera a través de la investigación científica, y en especial el conocimiento generado a través de proyectos del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONACYT-CONAFOR) y del Programa de Investigación en Sanidad Forestal y Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El alcance del documento es informativo y formativo, que permite implementar de la mejor manera las actividades de prevención y control de insectos descortezadores establecidas en la Norma Oficial NOM-019-SEMARNAT-2017.

Conceptos básicos sobre semioquímicos

Ante la falta del habla como la del ser humano, diversos animales se comunican mediante señales acústicas y señales químicas que provienen de otros animales, o que son emitidos por plantas. De ahí que, el término “semioquímico”, se refiere a un compuesto químico volátil que sirve como señal de comunicación entre organismos (Price 1997). Estos compuestos se volatilizan con facilidad a temperatura ambiente y se dispersan en el espacio donde son detectados por los animales receptores.

Los semioquímicos se clasifican y reciben nombres acordes al tipo de comunicación que desempeñen. De esta manera, una “feromona”, es un compuesto que sirve para la comunicación entre individuos de una misma especie, mientras que un “aleloquímico” es un compuesto que interviene en la comunicación entre individuos de diferentes especies (Reinhart 2004, Mathews y Mathews 2010).

Feromonas

Las feromonas pueden tener funciones específicas de comunicación; por ejemplo: la atracción sexual, la transmisión de señales de alarma, la orientación hacia fuentes de alimentos, la señalización de territorios ocupados y el marcaje de lugares de interés. Por ello, de acuerdo con su funcionamiento, las feromonas se clasifican principalmente como:

Feromona sexual – aquella que tiene la función de atraer a uno o varios miembros del sexo opuesto, con fines de apareamiento.

Feromona de agregación- aquella que tiene la función de atraer a individuos de ambos sexos hacia un lugar para colonizar.

Feromona de antiagregación – aquella que tiene la función de impedir la agregación de individuos a un lugar que ya está ocupado.

Feromona de alarma – aquella que tiene la función de alertar a los individuos de la población ante un peligro.

Feromona de marcaje- aquella que tiene la función de señalar sitios de interés para los individuos.

Aleloquímicos

Se clasifican de acuerdo con el efecto que provoquen en la especie que envía y en la especie que recibe la señal. De esa manera se tienen los siguientes tipos:

Kairomona - compuesto volátil liberado por una especie de un nivel trófico, que tiene un efecto en la comunicación de otra especie de otro nivel trófico y resulta de beneficio para la especie que detecta la señal (Whitman 1988, Price 1997).

Alomona - compuesto volátil liberado por una especie que también tiene un efecto en la comunicación de otra especie, y en este caso resulta de beneficio para la especie emisora (Whitman 1988, Mathews y Mathews 2010).

Sinomona - compuesto liberado por una especie que provoca una respuesta en otra especie, pero que resulta favorable para el emisor y el receptor (Whitman 1988, Price 1997).

Multifuncionalidad de los semioquímicos

Es importante conocer que un mismo compuesto semioquímico puede ejercer señales de comunicación multifuncionales. Por ejemplo, los compuestos volátiles de la resina de las coníferas, llamados monoterpenos, pueden servir para disuadir el ataque de cierto tipo de herbívoros, en cuyo caso actúan como alomonas, porque el árbol que las libera se beneficia; sin embargo, algunos de ellos como α -pineno, 3-careno, mirceno, terpinoleno y limoneno, resultan atractivos para los insectos descortezadores, de manera que en este caso funcionan como kairomonas, porque el árbol que los libera es afectado al atraer con ello a sus parásitos o depredadores. Asimismo, algunos monoterpenos que atraen los descortezadores pueden atraer también a sus depredadores, actuando como sinomonas entre el hospedero y los depredadores (Whitman 1988).

Tomando en cuenta que en el proceso de ataque de los insectos descortezadores no solo ocurre la interacción entre dos niveles tróficos (árbol-insecto descortezador), sino entre tres o más (i.e. árbol-descortezador-enemigos naturales), la función de un semioquímico cambia de acuerdo con la posición de la interacción trófica (Whitman 1988). Este conocimiento debe tomarse en cuenta para la elaboración de formulaciones y uso de semioquímicos encaminados al manejo integral de este grupo de insectos. Además, este conocimiento sirve en actividades prácticas de monitoreo de insectos descortezadores con semioquímicos, donde es común capturar, junto con estos, a sus depredadores naturales y otras especies secundarias.

Fundamentos para el uso de semioquímicos

El uso de semioquímicos en el manejo integral de insectos se fundamenta en el conocimiento de las interacciones que ocurren entre los árboles e insectos plaga durante el proceso de ataque. En términos generales existen dos categorías de agresividad de las especies de insectos descortezadores: 1) las "especies agresivas", también conocidas como "especies primarias" y 2) las "especies no agresivas" o "secundarias".

Las especies agresivas, para poder alimentarse y reproducirse, atacan “en masa” (Byers 1989, Price 1997, Six y Bracewell 2015), a través de lo cual cientos o miles de insectos atacan al hospedero en un tiempo relativamente corto que permite vencer sus defensas. *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* son especies de conducta agresiva que de manera natural habitan los bosques de México. Otros descortezadores de este tipo son *Dendroctonus ponderosae*, *Dendroctonus brevicornis*, *Dendroctonus adjunctus*, y *Dendroctonus pseudotsugae* (Sánchez-Martínez et al. 2007). Las especies no agresivas, no atacan en masa y pueden reproducirse sin necesidad de matar a su hospedero; generalmente, infestan árboles debilitados o en proceso de muerte provocada por otros factores (Byers 1889, Six y Bracewell 2015). *Dendroctonus valens*, *Dendroctonus approximatus* y *Dendroctonus parallelocollis*, representan especies de conducta no agresiva en su hábitat natural (Lindgren y Raffa 2013, Six y Bracewell 2015).

La comunicación mediante semioquímicos es especialmente importante para los insectos descortezadores de conducta agresiva. Al concluir su maduración dentro de la corteza de un árbol muerto, emergen, vuelan y se dispersan dentro del bosque. A partir de entonces buscan nuevos hospederos vivos, mediante señales visuales y la detección de volátiles liberados por los árboles (kairomonas) (Vité y Francke 1976, Wood 1982). Una vez que un árbol hospedero ha sido encontrado, el insecto pionero perfora la corteza e inicia la construcción de una galería en el floema. Dentro de las galerías, las especies agresivas liberan feromonas de agregación, exponiéndolas al ambiente a través de la defecación (Vité y Francke 1976), aunque algunas especies sintetizan feromonas inmediatamente después de entrar en contacto con la resina del hospedero, sin que necesariamente tengan que consumir el floema (Vité y Francke 1976, Wood 1982). En respuesta a la señal química, machos y hembras detectan el hospedero e inician su colonización perforando la corteza hasta alcanzar el floema, produciendo más feromonas de agregación. Es de esta manera como ocurre el ataque en masa.

Durante el ataque masivo, los árboles afectados segregan compuestos volátiles contenidos en la resina (monoterpenos), los cuales funcionan como kairomonas, mejorando el efecto de atracción de las feromonas de agregación (Seybold et al. 2006). En brotes epidémicos *Dendroctonus mexicanus* puede alcanzar una densidad de ≈ 85 a 170 ataques por metro cuadrado, mientras que *Dendroctonus frontalis* alcanza ≈ 320 a 960 ataques por metro cuadrado (Vité et al. 1974). Esta respuesta de los insectos descortezadores a las feromonas de agregación es conocida como “atracción secundaria” (Vité y Francke 1976).

Una vez que el ataque masivo de los descortezadores es exitoso, algunas especies liberan una feromona de anti-agregación, para evitar la sobresaturación de insectos que pudiera resultar en una alta competencia intraespecífica por el alimento (Vité y Francke 1976, Byers 1989).

En la actualidad la Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2017, contempla el uso de semioquímicos para el monitoreo, prevención y control de insectos descortezadores; por ello, es importante que el personal técnico encargado de la sanidad forestal conozca los aspectos básicos del uso de estos compuestos para que sean utilizados de la mejor manera y su efecto sea acorde al objetivo de uso.

Semioquímicos que intervienen en el inicio y detención del ataque de *Dendroctonus mexicanus* y *Dendroctonus frontalis*

Para el caso que nos ocupa, conviene conocer aquellas feromonas y aleloquímicos que intervienen en el ataque de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* hacia sus hospedantes, de manera que, en principio, estos conocimientos sirvan de guía para elegir los productos comerciales disponibles en el mercado que puedan servir para el monitoreo o trampeo masivo de estas especies. La frontalina es una feromona de agregación producida de manera natural por *Dendroctonus frontalis* (Vité y Francke 1976) y *Dendroctonus mexicanus* (Vité et al. 1974) (Cuadro 1). Por otra parte, la verbenona es una feromona que produce *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus brevicomis* y *Dendroctonus pseudotsugae*, con la cual envían señales para detener el ataque, actuando como feromona de antiagregación (Vité y Francke 1976, Madden et al. 1988, Lanier et al. 1988). En un estudio reciente, se detectaron pequeñas cantidades de verbenona en los grumos de resina de árboles atacados por *Dendroctonus mexicanus*, lo cual sugiere que este descortezador también produce esta feromona (Informe final del proyecto CONACYT-CONAFOR 291131).

Otra feromona producida por *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* es la *endo*-brevicomina, cuyo efecto es de agregación o antiagregación en función de la cantidad que sea liberada por los insectos (Cuadro 1). También se ha demostrado en estudios de campo que la *exo*-brevicomina, feromona producida por *Dendroctonus brevicomis*, tiene un efecto atrayente hacia *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* al combinarse con frontalina y algunos monoterpenos (Sánchez-Martínez y Wagner 2002, Moser et al. 2005, Gaylord et al. Hofstetter et al. 2008, y resultados del proyecto CONACYT-CONAFOR 291131).

Cuadro 1. Compuestos feromonales producidos por *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* y su función en el proceso de ataque.

Especie	Sexo emisor	Compuesto Feromonal	Función	Referencias
<i>Dendroctonus frontalis</i>		Verbenona (Biciclo [3.1.1] hepta-3-en-2-ona, 4,6,6-trimetil-, (1S)-)	Anti-agregación	Vité y Francke (1976).
<i>Dendroctonus frontalis</i>		(S)-(-) Frontalina (1,5-dimetil-6,8-dioxabicyclo [3.2.1] octano)	Agregación de machos principalmente y algunas hembras	Vité y Francke (1974). Vité y Francke (1976)
<i>Dendroctonus frontalis</i>		(+)- <i>endo</i> -brevicomina	Agregante y anti agregante en función de la cantidad del compuesto y la región del insecto	Lanier et al. (1988). Vité et al. (1974).
<i>Dendroctonus mexicanus</i>		Frontalina (1,5-dimetil-6,8-dioxabicyclo [3.2.1]octano)	Agregación de machos principalmente	Vité et al. (1974).
<i>Dendroctonus mexicanus</i>		<i>endo</i> -brevicomina	Agregación de machos principalmente	Vité et al. (1974).

Con respecto a los volátiles de la resina de los hospederos que hacen la función de kairomonas en el proceso de ataque de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus*, se tiene documentado el efecto de alfa-pineno, beta-pineno, mirceno y 3-careno, principalmente (Hofstetter et al. 2007).

Forma de uso de los semioquímicos

Los semioquímicos de efecto atrayente para insectos descortezadores son comercializados en una variedad de dispositivos de liberación (Figura 1). Para el caso del monitoreo o el trampeo masivo, los semioquímicos son colocados en trampas especialmente diseñadas para capturar este tipo de insectos. La más común es la trampa de embudos Lindgren (Lindgren 1983), o tipo Lindgren, la cual consiste en una serie de embudos negros ensamblados de forma vertical, que simulan el fuste de un árbol y un vaso recolector en la base donde quedan atrapados los insectos (Figura 2). El atrayente semioquímico colocado en las trampas está conformado generalmente por uno o varios compuestos feromonales más una fuente de monoterpenos. Este tipo de trampas se ha utilizado en varios estudios en México y Norteamérica y ha servido para capturar a varias especies de descortezadores con diferentes objetivos. Existen otros tipos de trampas menos conocidos, como los que se ilustran en la publicación de Sánchez-Martínez et al. (2017); sin embargo, queda a elección del usuario el utilizar otro tipo de trampa, recomendando en tal caso utilizar de manera consistente el tipo elegido.



Figura 1. Ejemplos de dispositivos de liberación de feromonas y kairomonas de insectos descortezadores: A) cápsula burbuja, B) plástico “flexlure”, C) frasco de plástico semipermeable, D) bolsita de plástico transparente, E) bolsa de plástico marrón que en su interior contiene un tubo centrífugo de plástico con el compuesto (Sánchez-Martínez et al. 2017).



Figura 2. Trampa de embudos Lindgren. (Sánchez-Martínez et al. 2017).

En el caso de la verbenona, que es un semioquímico antiagregante, los dispositivos de liberación existentes son la “cápsula burbuja”, “micro-hojuelas” y “bio-hojuelas” (Figura 3). Las cápsulas burbuja se colocan sobre el fuste de los árboles, sean o no hospederos, así como en tocones, árboles muertos en pie o bien en fustes caídos y muertos. En contraste, las hojuelas se dispersan ya sea de forma aérea o manual y caen hasta el suelo de donde se libera gradualmente el componente semioquímico (Sánchez-Martínez et al. 2017).



Figura 3. Micro-hojuelas (color blanco) y bio-hojuelas (color azul).

Semioquímicos para el monitoreo y el trampeo masivo de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus*

Las recomendaciones aquí dadas se basan en los resultados de varios estudios de campo que han sido realizados, por el autor principal y colaboradores, en varias partes de México durante los últimos 17 años. Se incorpora además el conocimiento de resultados de otros estudios realizados en el norte de Arizona (Sánchez-Martínez y Wagner 2002, Gaylord et al. 2006, Hofstetter et al. 2007), en Chiapas (Moreno et al. 2008) y de un estudio reciente que comprendió el establecimiento de cuatro experimentos de campo llevados a cabo en condiciones de bosque natural en los estados de Chihuahua, Durango, Estado de México, y Oaxaca (Informe final del proyecto CONAFOR-CONACYT 291131) (Figura 4).

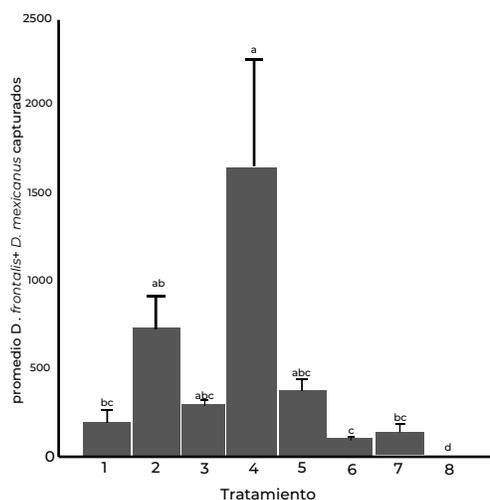


Figura 4. Efecto de compuestos semioquímicos atrayentes sobre *Dendroctonus frontalis* y *D. mexicanus* en rodales de *Pinus pringlei* en el estado de Oaxaca. 1= Frontalina + *exo*-brevicomina + mirceno, 2 = Frontalina + *exo*-brevicomina + alfa-pineno, 3 = Frontalina + alfa-pineno, 4 = Frontalina + *endo*-brevicomina + mezcla de monoterpenos, 5 = Frontalina + mezcla de monoterpenos en uhr, (ultra alta tasa de liberación), 6 = Frontalina + mirceno, 7 = Frontalina + 3-careno, 8 = testigo sin atrayente. Líneas verticales indican 1 Error Estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey-Kramer $\alpha = 0.05$).

Antes de utilizar semioquímicos en el bosque, es necesario definir con claridad el propósito de su uso. En términos generales podemos definir dos propósitos para el caso de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus*: 1) el monitoreo y 2) el trampeo masivo. El monitoreo consiste en medir uno o varios atributos de los descortezadores tales como a) los periodos de vuelo que presentan las especies a lo largo del año, b) la abundancia relativa de la especie o especies a través del tiempo o el espacio (fluctuación poblacional), c) la proporción de las especies (*Dendroctonus frontalis*:*Dendroctonus mexicanus*), o d) la proporción de estas especies con respecto a sus depredadores naturales (Cleridae y Trogositidae).

El primer tipo de Monitoreo (a): se establece con la finalidad de determinar los periodos de vuelo de los insectos que se presentan a lo largo de un año, los cuales son importantes porque indican las temporadas de ataque de los insectos. Este tipo de monitoreo requiere del establecimiento de trampas cebadas con semioquímicos a las cuales se da seguimiento a lo largo de por lo menos un año. De manera consistente, las recolectas de insectos se realizan con una periodicidad quincenal y el reemplazo de los atrayentes se hace cada dos meses. Los datos del monitoreo deberán registrarse en un formato establecido para dicho propósito (Anexo 1). De existir recursos, es deseable que el periodo de observación sea de dos años, para corroborar la consistencia de los picos de vuelo. Se recomienda establecer sitios de monitoreo en localidades de interés en las cuales se instalen cuatro trampas, cebadas con atrayentes semioquímicos, con una separación entre ellas de 200 m. En la medida que se incrementen los sitios de monitoreo se tendrá una mayor cobertura estatal o regional. Recomendamos que los sitios de monitoreo estén separados por lo menos 20 km uno de otro. Este tipo de trabajo requiere de considerable esfuerzo y generalmente es llevado a cabo por personal investigador en coordinación con las instituciones o productores forestales usuarios.

En el segundo tipo de Monitoreo (b), lo que se persigue es tener una estimación de la abundancia relativa de los descortezadores en un predio, o en una o varias localidades, a través del tiempo, para estar en posibilidad de anticipar y prevenir un brote. Aquí es importante conocer si existe alguna gráfica de antecedente que ilustre las temporadas de vuelo de los insectos en la zona, o cerca de la zona de estudio, para enfocar el monitoreo a uno de los picos de vuelo que ocurren a lo largo del año. En términos generales recomendamos que este monitoreo de *Dendroctonus frontalis* y/o *Dendroctonus mexicanus* se realice de abril a junio, o de septiembre a noviembre; sin embargo, los encargados del manejo forestal de los predios a monitorear pueden consultar al Enlace de Sanidad de la CONAFOR de su estado o a los especialistas de las instituciones académicas y de investigación del sector forestal, sobre la mejor época para realizarlo.

Puesto que el tamaño de los predios es variable, y aquellos que tienen programa de manejo forestal están rodalizados, se recomienda elegir de tres a cuatro rodales por predio, y en cada rodal establecer dos trampas de embudos cebadas con atrayentes semioquímicos, separadas entre sí como mínimo 100 m, pero preferente 200 m. De esa manera se tendrán entre seis y ocho trampas por predio, las cuales permiten estimar la abundancia de los insectos descortezadores. La recolecta de insectos se deberá hacer de manera puntual cada dos semanas durante el periodo de vuelo elegido. Los datos del monitoreo se deben de registrar en un formato establecido para dicho propósito (Anexo 1). Para que tenga sentido, este tipo de monitoreo debe repetirse cada año, en el mismo periodo que el monitoreo inicial; de manera que a través de los años pueda observarse la tendencia de crecimiento o decrecimiento de la población de insectos.

En el tercer tipo de Monitoreo (c), El propósito es medir qué proporción de los insectos capturados corresponde a cada especie. Este dato es importante porque se conoce que *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* coexisten en diversas áreas geográficas del país. Esta tarea requiere que el personal encargado de la identificación conozca la técnica para extracción y montaje de las estructuras genitales de los insectos. En los casos en que la cantidad de insectos sea igual a 1, no hay proporción y solo habrá una especie. En muestras menores o iguales a cinco insectos se seleccionarán dos. En muestras de 10 a 200 especímenes, se recomienda extraer una submuestra del 20% (buscando que sean machos) y en muestras con más de 200 se recomienda extraer una submuestra de 50 especímenes (buscando que sean machos) a los cuales se les hará la extracción de genitalia para la identificación. Los datos de este tipo de monitoreo serán registrados en un formato como lo muestra el Anexo 2.

El cuarto tipo de Monitoreo (d) consiste en registrar el número de insectos descortezadores e insectos depredadores que correspondan las familias Cleridae y Trogositidae, principales depredadores de *Dendroctonus* spp. e *Ips* spp. Para ello, deberá llenarse las columnas correspondientes a estos insectos en el formato de registro de datos (Anexo 1). La proporción de insectos descortezadores y depredadores proveerá información sobre la abundancia de los enemigos naturales que hacen el control natural.

En cualquiera de los casos anteriores, para que se cumpla con el propósito del monitoreo, después de la recolección de los insectos, deberá hacerse la identificación a nivel de especie, contarse y representarse en forma gráfica o tabulada (Sánchez-Martínez et al. 2017). También deberá mantenerse una periodicidad precisa en los tiempos de recolecta y de reemplazo de los productos semioquímicos, para mantener el efecto atrayente durante el tiempo de monitoreo.

El trampeo masivo consiste en atraer y capturar el máximo número posible de insectos en un lugar estratégico, para tratar de detener el avance de un brote, cuando se trata de infestaciones pequeñas o aisladas (Vité y Francke 1976, Borden 1995, Amman y Lindgren 1995). Las trampas en las cuales se colocarán los semioquímicos, deberán instalarse en un lugar donde no haya árboles hospederos para evitar una infestación accidental (Amman y Lindgren 1995). El trampeo masivo también puede implementarse en lugares de acopio donde se tiene temporalmente trozas infestadas durante tiempos de saneamiento, para capturar a los insectos que emerjan de ellas. A diferencia del monitoreo, en el trampeo masivo es innecesario identificar y contabilizar la totalidad de los insectos capturados, y basta con corroborar mediante la observación de una pequeña muestra que se están capturando a las especies de interés. En este caso, tampoco se requiere de la representación gráfica o tabular del número de insectos capturados. Es importante tener esto en cuenta porque la identificación y conteo de especies demanda de tiempo y recursos, los cuales se incrementan en la medida de la abundancia de los insectos.

En todo caso, para registrar las capturas obtenidas en el trampeo masivo, recomendamos llevar un registro del tamaño del vaso recolector y del volumen que ocupa la captura, dividir el total en 10 décimos y registrar el valor más próximo (e.g. < 1 décimo, 1 décimo, 2 décimos, 3 décimos...10 décimos) (Anexo 3).

Una vez aclarados los propósitos de uso, a continuación se presenta un protocolo para estas dos especies.

Protocolo para el monitoreo y trampeo masivo de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus*

1. Definir el propósito de uso de los semioquímicos: a) trampeo masivo o b) monitoreo.

2. Definir los compuestos que componen el atrayente para estas especies de acuerdo con el propósito de uso:

2a) Si el propósito es el trampeo masivo, seleccionar como tratamiento el atrayente compuesto por frontalina + *endo*-brevicomina + mezcla de monoterpenos en UHR (Figura 5). Esto independientemente de la región o estado del país, ya que ha mostrado el mismo efecto atrayente en el norte, centro y suroeste de México. No utilizar este tratamiento para el monitoreo, pues se corre el riesgo de provocar una infestación, además de que demanda más de 10 veces el tiempo y recursos para la identificación y conteo de los insectos.



Figura 5. Dispositivos que contienen los tres compuestos semioquímicos adecuados para el trampeo masivo de *Dendroctonus mexicanus* y *Dendroctonus frontalis* en los bosques de México.

2b) Si el propósito es el monitoreo deberá definirse la región del país donde se implementará esta actividad:

a) Norte. En el estado de Chihuahua se recomienda utilizar el atrayente compuesto por frontalina + *exo*-brevicomina + alfa-pineno, o bien el compuesto por frontalina + mezcla de monoterpenos en UHR. En el estado de Durango se recomienda utilizar frontalina + mezcla de monoterpenos e UHR (Figura 6).



Figura 6. Dispositivos que contienen compuestos semioquímicos adecuados para el monitoreo de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* en el norte de México. Izquierda: mezcla de monoterpenos y frontalina. Derecha: frontalina + *exo*-brevicomina + alfa-pineno.

b) Centro. En Aguascalientes y Estado de México, se recomienda utilizar el atrayente compuesto por frontalina + alfa-pineno, o bien el compuesto por frontalina + mezcla de monoterpenos en UHR (Figura 7).



Figura 7. Dispositivos que contienen compuestos semioquímicos adecuados para el monitoreo de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* en el centro de México.

c) Suroeste: En el estado de Oaxaca debe utilizarse el atrayente conformado por frontalina + *exo*-brevicomina + alfa-pineno (Figura 8).



Figura 8. Dispositivos que contienen compuestos semioquímicos adecuados para el monitoreo de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* en el suroeste de México.

d) Para otros estados se sugiere tomar como referencia, la recomendación que se hace para la entidad más próxima. Por ejemplo, para Guerrero tomar como referencia las recomendaciones dadas para Oaxaca.

Nota: Independientemente del tipo de atrayente elegido para el monitoreo, se debe mantener hasta su conclusión. Es decir, no deberá cambiar el tipo de atrayente durante el transcurso del tiempo definido para el monitoreo.

3. Instalación de las trampas

a) En el trampeo masivo, deberá buscarse un lugar que carezca o haya un mínimo de árboles hospederos de *Dendroctonus frontalis* o *Dendroctonus mexicanus*. Por ejemplo podrá elegirse un subrodal donde predominen encinos u otras hojosas y no haya pinos en un perímetro de 50 m. El sitio puede estar entre 100 a 200 m distante del pequeño brote de descortezadores que se intenta suprimir, lo cual evitará la infestación accidental de hospederos sanos. En sitios de acopio de trocería infestada, se buscará un lugar dentro del sitio de acopio, cuidando que en este no haya árboles hospederos cercanos. Las trampas deberán ser colgadas de árboles no hospederos o estructuras de madera (o metálicas) que faciliten su instalación. La altura de la trampa deberá ser de manera que el vaso recolector quede a 1.60 m sobre el nivel del suelo, lo cual facilitará la recolección de insectos.

Un sitio para el trampeo masivo puede contener de dos a tres trampas, separadas 10 m una de otra. Se recomienda recolectar y medir el contenido de manera semanal durante la presencia del brote. No es por demás recalcar que, de decidir implementar el trampeo masivo, éste deberá hacerse en complemento a las actividades de saneamiento mediante los métodos de combate que señala la NOM-019-SEMARNAT. El trampeo masivo por sí mismo no puede garantizar la supresión de un brote de descortezadores.

b) En el caso de trampas instaladas con fines de monitoreo, éstas deberán estar ubicadas en rodales de pino, pino-encino, o encino-pino, y deberán colgarse de árboles no hospederos, que pueden ser encinos (*Quercus* spp.), madroños (*Arbutus* spp.) o juníperos (táscates) (*Juniperus* spp.) (Figura 9). Para sostener la trampa, se utilizará una cuerda o alambre lo suficientemente resistente para soportar el peso. La altura de la trampa deberá ser de manera que el vaso recolector quede a 1.60 m sobre el nivel del suelo, lo cual facilita la recolección de insectos y el reemplazo de los dispositivos de liberación cuando expira su efecto atrayente.



Figura 9. Trampa de embudos Lindgren instalada para el monitoreo de *Dendroctonus mexicanus* y *Dendroctonus frontalis*. La trampa se cuelga con una cuerda, de un árbol no hospederero.

4. Instalación de los atrayentes semioquímicos

a) Para el caso del trampeo masivo, la *endo*-brevicomina, que está impregnada en una pequeña tira de plástico flexible (“flexlure”) deberá ser colocada en la parte superior de la trampa, amarrada a uno de los postes del primer embudo (Figura 10). Alternativamente se puede sujetar de una rama pequeña a una distancia de 70 cm a 1 m de la trampa.



La frontalina y la bolsa que contiene la mezcla de monoterpenos, deberán colocarse en la parte media de la trampa con las tiras sujetadoras que se proporcionan con la entrega de los productos, o bien con algún hilo o clip que sea lo suficientemente fuerte para sostenerlos (Figura 11).

Figura 10. Parte superior de trampa de embudo Lindgren muestra el dispositivo de liberación de *endo*-brevicomina (en color naranja).



b) En el caso del monitoreo, los compuestos semioquímicos deberán colocarse en la parte media de la trampa, sujetadas de los postes de los embudos en la parte media. Al término de 45 días, los dispositivos con semioquímicos usados serán retirados y reemplazados por unos nuevos, para mantener el efecto de atracción.

La trampa deberá revisarse en su interior para detectar cualquier bloqueo por hojarasca o telarañas que pudiera estar impidiendo la caída de los insectos al vaso recolector. De ser el caso, la trampa deberá limpiarse para mantenerse en buenas condiciones.

5. Instalación del vaso recolector

El vaso recolector deberá ensamblarse en la parte inferior de la trampa, en el último embudo. Para ello, habrá que tener cuidado que las cuatro pestañas embonen bien. En caso de utilizar contenedores de repuesto, ocasionalmente el tamaño de las pestañas no coincide con el tamaño de las muescas del embudo de ensamble, para lo cual se recomienda eliminar del contenedor (a través de un corte) 1 cm de cada pestaña.

Figura 11. Trampa Lindgren muestra el dispositivo de liberación de *endo*-brevicomina en la parte superior y bolsa de monoterpenos en la parte media.

Deberá tomarse en cuenta que existen dos tipos de vasos recolectores, uno para trampeo en seco que contiene un cedazo en la parte baja del vaso; y otro que está diseñado para trampeo en húmedo el cual no contiene dicho cedazo y en vez de ello tiene un círculo de drenaje en la parte superior izquierda. En el primer caso al vaso recolector se le coloca una pequeña tira de 2.0 cm de collar antipulgas para que los insectos no escapen, o para evitar que los insectos depredadores consuman a los insectos descortezadores (Figura 12). Esto es particularmente importante cuando el propósito es el monitoreo de las especies porque se pretenderá en la manera de lo posible, mantener a los insectos completos para facilitar la identificación y conteo. En el segundo caso, a los vasos sin cedazo se les agrega una pequeña cantidad de anti-congelante. Por experiencia, los autores de este documento recomiendan utilizar vasos con cedazo y muestreo en seco. En caso de que los vasos no traigan cedazo, con la ayuda de un taladro y una broca saca bocado se puede perforar la parte inferior del vaso; posteriormente, se le puede colocar una malla plástica fijada con silicón, para permitir el drenaje de agua de lluvia.



Figura 12. Vaso recolector de trampa de embudo Lindgren muestra a los insectos descortezadores capturados. En blanco, una tira de collar antipulgas para evitar que los insectos escapen.

6. Recolección de los insectos

a) En el caso del trampeo masivo, una vez medido el contenido en décimos, los insectos recolectados pueden conservarse o desecharse, asegurándose que estén muertos. De encontrarse vivos se recomienda vaciarlos en un frasco con alcohol al 70%. La periodicidad de la recolecta cuando se hace trampeo masivo no es relevante en comparación con el monitoreo; por lo tanto; los vasos pueden revisarse cada una o dos semanas, desechar o guardar el contenido, lavar el vaso en caso de que se hayan encontrado insectos putrefactos, y volverlo a reinstalar.

b) En el caso de monitoreo, se recomienda tener una periodicidad de dos semanas entre fechas de recolecta y mantener dicha periodicidad a lo largo del tiempo de monitoreo. En cada fecha de recolecta, los insectos se vaciarán en un frasco que contenga alcohol al 70%. Alternativamente, los insectos se pueden vaciar en una bolsa ziploc impregnada con alcohol al 70% (Figura 13). Dentro del frasco, o de la bolsa, se colocará una etiqueta de papel bond no reciclable, que contendrá los datos de la recolecta. La etiqueta deberá escribirse con lápiz HB o 2H, para que no se borre la información. Debe evitarse el uso de cualquier tipo de tinta, pues ésta se borra al contacto con el agua o alcohol, aun la tinta indeleble.



Figura 13. Insectos en bolsa ziploc impregnada con alcohol al 70%.

Los datos básicos que debe contener la etiqueta son: fecha de recolecta, localidad, municipio, estado, número de trampa, tratamiento (compuestos atrayentes) y nombre del recolector. Una vez anotada la información, la etiqueta se colocará dentro del frasco y la tapa se cerrará herméticamente para evitar el derrame del alcohol (Figura 14).



Figura 14. Frasco con insectos capturados para el monitoreo de insectos descortezadores.

7. Limpieza, identificación y conteo de insectos

Una vez hecha la recolección de insectos, éstos se transportarán al laboratorio o al espacio de trabajo. El contenido del frasco se vaciará en un cedazo de malla fina y se enjuagará con un chorro suave de agua potable. Esto eliminará temporalmente el alcohol y permitirá realizar la identificación y conteo sin estar expuesto permanentemente al olor del alcohol. Una vez enjuagada la muestra, se vaciará con cuidado a una caja Petri y se procederá a la clasificación general de los insectos en los siguientes grupos: complejo frontalis (*Dendroctonus mexicanus* y/o *Dendroctonus frontalis*), *Dendroctonus valens*, Cleridae y Trogositidae. Puede agregarse la clasificación de otros grupos de insectos que sean de interés particular si se considera conveniente. La identificación y conteo de los insectos deberá realizarse por personal técnico o profesional que haya sido capacitado en materia de taxonomía de insectos descortezadores e insectos asociados. La identificación inicial se basará en las características morfológicas externas de los insectos. La corroboración de las especies (*Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus*) deberá hacerse a través de la extracción, montaje y observación de genitalia de una submuestra de especímenes, para lo cual se recomienda utilizar la metodología de extracción descrita en la publicación de Sánchez-Martínez et al. (2017). Una vez hechos los montajes de genitalia, se recomienda contrastar estos con las ilustraciones de la guía para la identificación de especies del género *Dendroctonus*, de Armendariz-Toledano et al. (2017). De carecer de estas capacidades, se recomienda solicitar capacitación al INIFAP u otra institución reconocida en materia de taxonomía de insectos descortezadores.

El registro de las especies recolectadas se hará en un formato diseñado específicamente para el monitoreo, el cual contendrá la información básica del sitio de recolecta. En la parte superior contendrá los datos del sitio (Predio, paraje, municipio, estado, coordenadas geográficas, altitud). Enseguida, deberá contener como mínimo las siguientes columnas: fecha de recolecta, número de trampa, tratamiento (tipo de atrayente), Núm. De insectos del complejo frontalis, Núm. *Dendroctonus valens*, Núm. De cleridae y Núm. Trogositidae (Anexo 1). El formato contendrá el número de hileras ajustado al número de trampas que hayan sido establecidas para el monitoreo en un sitio dado.

A la conclusión de la identificación y conteo, los insectos serán devueltos al frasco recolector y se les agregará alcohol al 70% para su conservación para futuras revisiones. Se colocará devuelta también la etiqueta de datos, reescribiendo una nueva en caso necesario. El frasco se cerrará herméticamente para evitar la evaporación del alcohol. Los frascos de cada recolecta se ordenarán y se colocarán en una caja de cartón o de plástico, donde se preservarán para futuras revisiones acorde a las necesidades previstas.

8. Captura e interpretación de datos

Los datos registrados en el formato impreso se capturan en el programa de Excel que contendrá la misma información. Una vez capturada la información, se podrán crear tablas y gráficos dinámicos que permitan observar la información de una manera útil. Esta tarea deberá hacerse por personal técnico o profesional capacitado en el uso del programa de Excel y una razonable experiencia en el conocimiento sobre el monitoreo de insectos descortezadores.

9. Medidas de seguridad

Si bien los semioquímicos no son tóxicos para los humanos y la fauna silvestre en las cantidades que regularmente se manejan, pueden causar irritación en la piel (en caso de ser sensibles), o en los ojos (en caso de salpicadura accidental). Por ello, durante el proceso de instalación de los productos semioquímicos, se recomienda utilizar camisa de manga larga, pantalones largos de mezclilla o tipo cargo, guantes de nitrilo o de jardinería y lentes protectores. A la conclusión de la instalación, deberá lavarse las manos con agua y jabón.

En otro aspecto, durante el proceso de instalación los semioquímicos deberán mantenerse en condiciones frescas, para lo cual deberán transportarse en una hielera con gel refrigerado. Las reservas de productos semioquímicos deben mantenerse en refrigeración a temperatura de 1 a 3 grados centígrados.

Ventajas de utilizar semioquímicos para el monitoreo y trampeo masivo

Dentro de las ventajas que tiene el uso de semioquímicos para el monitoreo de insectos descortezadores, está el hecho de que se pueden medir los picos de vuelo y la abundancia relativa de los insectos, aun cuando no exista evidencia visual de un brote, lo cual no puede determinarse mediante el monitoreo terrestre.

Los periodos de emergencia y vuelo de los insectos, también se pueden medir colocando trampas de malla metálica sobre el fuste de árboles infestados; sin embargo, para ello se requiere de la existencia de estos, y los sitios de muestreo están limitados a sitios con presencia de árboles infestados. Otra ventaja es que, mediante la colocación de trampas y semioquímicos, puede obtenerse con relativa facilidad y medirse la proporción de especies de insectos descortezadores, así como los enemigos naturales; de otra manera, es complicado medir esta proporción de especies observando sobre el fuste o mediante la extracción de muestras de corteza.

Con respecto al trampeo masivo a través del uso de trampas de embudos cebadas con atrayentes semioquímicos, éste permite disminuir la presión de los insectos descortezadores sobre los árboles que están siendo infestados, interfiriendo en el proceso de ataque en masa, contribuyendo con ello a limitar el ataque. Conjuntamente con el saneamiento, de acuerdo con lo que indica la Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2017, la colocación de trampas con semioquímicos constituye una medida de manejo integrado de plagas forestales. No obstante, el trampeo masivo sólo tiene efecto en caso de infestaciones pequeñas o al inicio de la infestación.

Como productor y propietario de predios forestales, el uso de trampas y semioquímicos le permite cumplir con lo que establece la NOM-019-SEMARNAT-2017, ya sea en caso de que hayan recibido notificaciones de saneamiento o bien, para aquellos que tienen programa de manejo y realizan acciones de monitoreo como actividad intrínseca del manejo forestal sustentable. Las actividades de monitoreo y de control oportuno de brotes de insectos descortezadores contribuyen a facilitar la obtención de recursos de programas gubernamentales y la certificación forestal, lo cual les da un plus al valor de sus productos y/o servicios.

Disponibilidad de semioquímicos en el mercado

Hasta ahora, los productos semioquímicos sintéticos para *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* solamente se producen en empresas ubicadas en Canadá y Costa Rica. En México, existen distribuidores autorizados que se encargan de la importación y venta de estos productos.

Sin que haya un conflicto de interés para los autores del presente y con el solo fin de proporcionar información que resulte útil, se menciona aquí el nombre de tres de las empresas que se conoce distribuyen este tipo de semioquímicos, las cuales son:

Organismos Benéficos para la Agricultura, Sistema Injecthor de México, y Ferommis. Los usuarios pueden consultar en internet las páginas de esas u otras empresas y hacer sus propias consultas y cotizaciones.

Con respecto al costo de las trampas y semioquímicos, el precio está en función del valor del peso mexicano frente al dólar y del lugar de adquisición. En el año 2019, el precio aproximado de una trampa de 12 embudos rondó entre \$500.00 a \$1000.00 (pesos), mientras que el precio de los compuestos de un atrayente (ya sea frontalina + alfa-pineno, o frontalina + *endo*-brevicomina + mezcla de monoterpenos) en promedio tuvo un costo cercano a \$500.00. Es recomendable que los usuarios soliciten sus propias cotizaciones a las empresas mencionadas o a otras que pudieran también ofrecer esos productos, asegurándose que sean distribuidores autorizados para garantizar la originalidad y calidad de los productos.

El precio de las trampas se puede amortiguar con el paso del tiempo, ya que con un buen cuidado y mantenimiento pueden durar varios años. Asimismo, en caso de presentar desgastes o rupturas, pueden conseguirse embudos, postes o vasos recolectores por separado. En la experiencia de los autores del presente, se han tenido trampas que han durado hasta 10 o más años. En cambio, debe tenerse en cuenta que la duración máxima de un atrayente semioquímico es de alrededor de tres meses, y es recomendable su reemplazo cada dos meses para mantener el nivel de atracción.

Recomendaciones generales

Los usuarios directos e indirectos de semioquímicos, deberán tener en claro que estos no constituyen por si mismos una alternativa para el control de insectos descortezadores, sino una actividad complementaria que se incorpora al manejo integrado de plagas forestales.

Los tratamientos silvícolas que regulan la composición, densidad y estructura de los rodales; el monitoreo visual terrestre para la detección oportuna de árboles infestados, las cortas de saneamiento, el monitoreo con semioquímicos y el trampeo masivo constituyen en conjunto medidas que contribuyen al mantenimiento de una buena salud del bosque.

Los semioquímicos con efecto de agregación ayudan a dar respuesta a interrogantes importantes, como definir los periodos de vuelo y ataque de las especies en áreas no estudiadas, dar seguimiento al aumento o descenso de la población en áreas infestadas, o ayudar a suprimir brotes de reciente aparición en complemento con las cortas de saneamiento.

No está demás enfatizar en que debe elegirse con cuidado el producto a utilizar tomando en cuenta el propósito de uso, ya sea el monitoreo o el trampeo masivo.

Agradecimientos

Esta publicación ha sido posible gracias al financiamiento otorgado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONACYT-CONAFOR) a través del proyecto CONAFOR-2017-02-291131 denominado “Validación de formulaciones de compuestos semiquímicos, para determinar aquellas que son apropiadas para el monitoreo y aquellas adecuadas para el trampeo masivo de *dendroctonus frontalis* y *dendroctonus mexicanus* en el Centro y Norte de México”.

A los ejidos San Juan Tepeuxila y San Juan Teponaxtla, Cuicatlán, Oaxaca, Ejido Los Bancos, San Pedro de la Máquina, y Otinapa, Pueblo Nuevo, Durango; San Mateo el Viejo, Temascalcingo, Estado de México; y Ejido el Chocachi, municipio de Guerrero Chihuahua, por el apoyo para la realización de los experimentos para evaluar comparativamente el efecto de los diferentes semioquímicos y determinar formulaciones específicas para el trampeo masivo de descortezadores.

A PROBOSQUE por el apoyo para realizar el experimento de campo en el Edo. de México.

A la Gerencia de Sanidad Forestal de la CONAFOR, a las gerencias estatales de Aguascalientes, Durango, Chihuahua, Edo. De México y Oaxaca por el apoyo en las facilidades para la realización del proyecto.

A la Coordinación General de Producción y Productividad y Coordinación General de Conservación y Restauración.

Al apoyo del M.C. Abel Plascencia González e Ing. Abel Santos Juárez Cortéz por el apoyo y trabajo realizado en la revisión de la presente guía.

Literatura consultada

Amman, G. D. and B. S. Lindgren. 1995. Semiochemicals for management of mountain pine beetle: Status of research and applications. In: Salom, S. M. K., R. Hobson (eds.). 1995. Application of semiochemicals for management of bark beetle infestations. Proceedings of an informal conference. Annual meeting of the Entomological Society of America. 1993. December- 12-16; Indianapolis, IN. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-318. Intermountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. pp. 14-22.

Armendáriz-Toledano, F. and G. Zúñiga. 2016. Illustrated key to species of genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) occurring in Mexico and Central America. Journal of Insect Science 17: 1-15.

Borden, J. H. 1995. Future of semiochemicals for the management of bark beetle populations. In: Shea, P., technical coordinator. 1994. Proceedings of the Symposium on management of western bark beetles with pheromones: Research and development. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-150. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. pp. 5-10.

Byers, J. A. 1989. Chemical ecology of bark beetles. *Experientia* 45: 271-283.

Canadian Forest Service. 2020.

<https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests-forestry/wildland-fires-insects-disturban/top-forest-insects-diseases-cana/mountain-pine-beetle/13381>

Cano-Ramírez, C., F. Armendáriz-Toledano, J. E. Macías-Sámamo, B. T. Sullivan and G. Zúñiga. 2012. Electrophysiological and behavioral responses of the bark beetle *Dendroctonus rhizophagus* to volatiles from host pines and conspecifics. *Journal of Chemical Ecology* 38: 512-524 DOI. 10.1007/s10886-012-0112-z.

Carswell, C. 2014. Bark beetles have devastated western forests, but that may not mean more severe fires. *Science* 346: 154-156.

CESPAD. 2015. El gorgojo descortezador, entre los efectos del cambio climático y la débil gobernanza forestal del Estado de Honduras. 14 p.

Cibrián Tovar, D., J. T. Méndez Montiel, R. Campos Bolaños, H. O. Yates III y J. Flores Lara. 1995. Insectos Forestales de México/Forests Insects of Mexico. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, Méx. 453 p.

Cognato, A. I. 2011. A review of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann systematic. In: Coulson, R.N.; Klepzig, K.D. 2011. Southern Pine Beetle II. Gen. Tech. Rep. SRS-140. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station. 7-12.

Díaz Núñez, V. 2005. Uso de semioquímicos para el manejo y monitoreo de escarabajos descortezadores (*Dendroctonus* spp.) del pino, en la Sierra Fría, Aguascalientes. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Aguascalientes. 99 p.

Gaylord, M. L., T. E. Kolb, K. F. Wallin and M. R. Wagner. 2006. Seasonality and lure preference of bark beetles (Curculionidae: Scolytinae) and associates in a northern Arizona ponderosa pine forest. *Environmental Entomology* 35: 37-47.

Gillette, N. E. and A. S. Munson. 2009. Semiochemical sabotage: Behavioral chemicals for protection of western conifers from bark beetles. In: J. L. Hayes and J. E. Lundquist (Compilers). 2009. The western bark beetle research group: A unique collaboration with forest health protection. Proceedings of a Symposium at the 2007 Society of American Foresters Conference. USDA, Forest Service. General Technical Report PNW-GTR-784. pp. 85-109.

Islas Salas, F. 1980. Observaciones sobre la biología y el combate de los escarabajos descortezadores de los pinos: *Dendroctonus adjunctus* Blf; *D. mexicanus* Hpl. y *D. frontalis* Zimm., en algunas regiones de la República Mexicana. SARH-INIF. Boletín Técnico No. 66. 38 p.

Hofstetter, R. W., Z. Chen, M. L. Gaylord, J. D. McMillin and M. R. Wagner. 2008. Synergistic effects of α -pinene and *exo*-brevicomin on pine bark beetles and associated insects in Arizona. *Journal of Applied Entomology* 132: 387-397. DOI: 10.1111/J.1439-0418.2007.01263.x.

Lanier G. N., J. P. Hendrichs and J. E. Flores. 1988. Biosystematics of the *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) complex. *Annals of the Entomological Society of America* 81: 403-418.

Lindgren, B. S. 1983. A multiple funnel trap for scolytid beetles (Coleoptera). *Canadian Entomologist* 115: 299-302.

Lindgren, B. S. and K. F. Raffa. 2013. Evolution of tree killing in bark beetles (Coleoptera: Curculionidae): trade-offs between the maddening crowds and a sticky situation. *Canadian Entomologist* 145: 471-495.

Madden, J. E., H. D. Pierce, Jr., J. H. Borden and A. Butterfield. 1988. Sites of production and occurrence of volatiles in Douglas-fir beetle, *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins. *Journal of Chemical Ecology* 14: 1305-1316.

Macías-Sámano, J. E., M. L. Rivera-Granados, R. Jones y G. Ibarra. 2014. Respuesta de insectos descortezadores de pino y de sus depredadores a semioquímicos en el sur de México. *Madera y Bosques* 20: 41-47.

Matthews, R. W. and J. R. Matthews. 2010. *Insect Behavior*. 2nd. ed. Springer pp. 217-259. DOI 10.1007/978-90-481-2389-6_6.

Moreno, B., J. Macías. B. T. Sullivan and S. R. Clarke. 2008. Field response of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytinae) to synthetic semiochemicals in Chiapas, Mexico. *Journal of Economic Entomology* 101: 1821-1825.

Moser, J. C., B. A. Fitzgibbon, and K. D. Klepzig. 2005. The 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: 235-243.

Moore. B. and G. Allard. 2008. Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal. FAO. Departamento Forestal. 42 p.

Pineda Torres, M. del C., R. Campos Bolaños y M. C. Miller. 1988. Muestreo de enemigos naturales de *Dendroctonus frontalis* Zimm. (Col: Scolytidae) utilizando trampas de feromonas en rodales de *Pinus oocarpa* en Uruapan, Michoacán. In: SARH-INI-FAP-DGPAF- Sociedad Mexicana de Entomología. Memoria del IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal y IV Reunión sobre Plagas y Enfermedades Forestales. Durango, Dgo. pp. 168-190.

Price, P. W. 1997. Insect Ecology. Third Edition. New York: John Wiley. 874 p.

Pureswaran, D. S., R.W. Hofstetter, B. T. Sullivan, A. M. Grady, and C. Brownie. 2016. Western pine beetle populations in Arizona and California differ in the composition of their aggregation pheromones. Journal of Chemical Ecology DOI: 10.1007/s10886-016-9.

Reinhart, J. 2004. Insect chemical communication. ChemoSense 6:1-6

Sánchez-Martínez, G. and M. R. Wagner. 2002. Bark beetle community structure under four ponderosa pine forest stand conditions in northern Arizona. Forest Ecology and Management 170: 145-160.

Sánchez-Martínez, G., L. M. Torres-Espinosa, I. Vázquez-Collazo, E. González-Gaona y R. Narváez-Flores. 2007. Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Libro Técnico Núm. 4. INIFAP-CIRNOC, Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, Méx. 107 p.

Sánchez-Martínez, G., J.F. Reséndiz-Martínez, S. Santana-Espinoza. 2017. Fundamentos para el uso de semioquímicos en el manejo integral de insectos descortezadores de coníferas en México. Folleto Técnico Núm. 74. INIFAP-CIRNOC, Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, Méx. 44 p.

SEMARNAT. 2018. Norma Oficial Mexicana NON-019-SEMARNAT-2017, que establece los lineamientos técnicos para la prevención, combate y control de insectos descortezadores. Diario Oficial. 22 de marzo de 2018.

Seybold, S. J. and C. Tittiger. 2003. Biochemistry and molecular biology of de novo isoprenoid pheromone production in the scolytidae. Annual Review of Entomology 48: 425-453

Seybold, S. J. and D. Vanderwel. 2003. Biosynthesis and endocrine regulation of pheromone production in the Coleoptera. In: Blomquist, Gary J., and Vogt, Richard G. (eds). Insect Pheromone Biochemistry and Molecular Biology. Jordan Hill, US: Academic Press. pp. 137-200

Seybold, S.J., D.P.W. Huber, J.C. Lee, A. D. Graves, and J. Bohlmann. 2006. Pine monoterpenes and pine bark beetles: a marriage of convenience for defense and chemical communication. *Phytochemistry Reviews* 5: 143-178.

Shea, P. J., J. Flores Lara y M. Page. 1993. Respuesta de *Dendroctonus adjunctus* en los Estados Unidos y México a feromonas y análisis de hidrocarburos cuniculares. VII Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. Fac. Ciencias Forestales, U.A.N.L. 21 p.

Six, D.L. and R. Bracewell. 2015. *Dendroctonus*. In: F.E. Vega and R. W. Hofstetter (eds.). *Bark beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*. Elsevier. pp. 305-350.

Sullivan, B. T., W. P. Schepherd, D. S. Pureswaran, T. Tashiro, and K. Mori. 2007. Evidence that (+)-endo-Brevicomín is a male-produced component of the southern pine beetle aggregation pheromone. *Journal of Chemical Ecology*. 33: 1510-1527.

Villa-Castillo, J. 1992. Atrayentes químicos en escarabajos descortezadores *Dendroctonus mexicanus* y *D. adjunctus* (Col: Scolytidae). *Ciencia Forestal* 17: 103-122.

Vité, J. P., G. B. Pitman, A. F. Fentiman, Jr. and G. W. Kinzer. 1972. 3-methyl-2-cyclohexen-1-ol isolated from *Dendroctonus*. *Naturwissenschaften* 59: 469 DOI: 10.1007/BF00592886.

Vité, J. P., S. F. Islas, J. A. A. Renwick, P. R. Hughes and R. A. Kliefoth. 1974. Biochemical and biological variation of southern pine beetle populations in North and Central America. *Journal of Applied Entomology* 75: 422-435.

Vité, J. P. and W. Francke. 1976. The aggregation pheromones of bark beetles: progress and problems. *The Science of Nature* 63: 550-555.

Whitman, D. W. 1988. Allelochemical interactions among plants, herbivores, and their predators. In: P. Barbosa and D. K. Letorneau (eds.). *Novel aspects of insect-plant interactions*. John Wiley & Sons. New York. pp. 11-64.

Wood, D. L. 1982. The role of pheromones, kairomones, and allomones in the host selection and colonization behavior of bark beetles. *Annual Review of Entomology* 27: 411-446.

Zúñiga, G., G. Mendoza Correa, R. Cisneros y Y. Salinas-Moreno. 1999. Zonas de superposición en las áreas de distribución geográfica de las especies mexicanas de *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae) y sus implicaciones ecológico-evolutivas. *Acta Zoológica Mexicana* 77: 1-22.

**GUÍA TÉCNICA PARA EL USO
DE SEMIOQUÍMICOS PARA
EL MONITOREO Y TRAMPEO MASIVO DE**
Dendroctonus mexicanus
y Dendroctonus frontalis
EN MÉXICO