

FUNDAMENTOS PARA EL USO SEMIOQUÍMICOS EN EL MANEJO INTEGRAL DE INSECTOS DESCORTEZADORES DE CONÍFERAS EN MÉXICO

Guillermo Sánchez Martínez, José Francisco Reséndiz Martínez y Saúl Santana Espinoza



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PECUARIA Y ALIMENTACIÓN



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Pabellón
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. Nov. de 2017
Folleto Técnico Núm. 74 ISBN: 978-607-37-0848-7

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

M.A. José Eduardo Calzada Rovirosa
Secretario

Lic. Jorge Armando Narvárez Narvárez
Subsecretario de Agricultura

M.C. Mely Romero Celis
Subsecretario de Desarrollo Rural

M.C. Ricardo Aguilar Castillo
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Rafael Ambriz Cervantes
Encargado del Despacho de los Asuntos de la Dirección General

Dr. Raúl Gerardo Obando Rodríguez
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. Jorge Fajardo Guel
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Mtro. Eduardo Francisco Berterame Barquín
Coordinador de Administración y Sistemas



CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE-CENTRO

Dr. Arturo Daniel Tijerina Chávez
Director Regional

Dr. Francisco Javier Pastor López
Director de Investigación

Ing. Ricardo Carrillo Monsiváis
Director de Administración

Dr. Alfonso Peña Ramos
Director de Coordinación y Vinculación en Aguascalientes



Fundamentos para el uso semioquímicos en el manejo integral de insectos descortezadores de coníferas en México

Guillermo Sánchez Martínez


Investigador del Campo Experimental Pabellón, CIR-Norte Centro, INIFAP.
Programa de Investigación en Sanidad Forestal y Agrícola

José Francisco Reséndiz Martínez

Investigador del Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Manejo
Forestal
Programa de Investigación en Sanidad Forestal y Agrícola

Saúl Santana Espinoza

Investigador del Campo Experimental Valle de Guadiana, CIR-Norte Centro, INIFAP,
Programa de Investigación en Sanidad Forestal y Agrícola



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 Ciudad de México
Teléfono (55) 3871-8700

Fundamentos para el uso semioquímicos en el manejo integral de
insectos descortezadores de coníferas en México
ISBN: 978-607-37-0848-7

Primera Edición 2017

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

Impreso y hecho en México

CONTENIDO

Introducción	1
Conceptos básicos	2
Distinción de especies de insectos descortezadores según su agresividad	4
La función de los semioquímicos en el proceso de ataque	6
Características químicas de las feromonas de insectos descortezadores	11
Composición de productos atrayentes y antiagregantes	14
Importancia de definir el objetivo de uso de los semioquímicos	17
Forma de uso de los semioquímicos	19
Importancia de la elección y conocimiento de los productos semioquímicos	23
Importancia de la correcta identificación de las especies capturadas	27
Epílogo	29
Agradecimientos	29
Literatura citada	30
Apéndice	35

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 ya que, en niveles de población epidémicos, son capaces de causar la muerte de millones de árboles (Wood 1982, Cibrián et al. 1995, Canadian Forest Service 2003 y 2005). La importancia de este grupo de insectos se ha acentuado en las primeras décadas del siglo XXI, 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). Ejemplo de ello son los brotes epidémicos de *Dendroctonus ponderosae* en Columbia Británica, Can. y en las Montañas Rocallosas de los EE. UU., que recientemente, en un lapso aproximado de 10 años, causó la muerte de millones de árboles en más de 20 millones de hectáreas (Cudmore et al. 2010, Bentz et al. 2010, Carswell 2014). Otro ejemplo lo constituye *Ips* spp. y *Dendroctonus mexicanus* en Durango y Chihuahua, México, que durante 2012 a 2014 afectaron cerca de 112 mil hectáreas (SEMARNAT, 2016 a). En Honduras, *Dendroctonus frontalis* causó la muerte de millones de árboles durante 2014 a 2016, afectando más de 450 mil hectáreas (CESPAD 2015).

En México, la Norma Oficial NOM-019-SEMARNAT-2006 (SEMARNAT, 2008), establece los lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores, que consisten principalmente en el derribo de los árboles infestados, el descortezado y el tratamiento de la corteza con fuego, insecticida o tierra. Los métodos dictados por dicha Norma aplican una vez que los árboles han sido infestados y están en proceso de muerte. Asimismo, las medidas señaladas se enfocan al combate directo de los insectos que se encuentran dentro del árbol. No obstante, en agosto de 2016 se publicó el Proyecto de Modificación a la NOM-019-SEMARNAT-2006, para quedar como NOM-019-SEMARNAT-2016, la cual 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, 2016 b).

Por otra parte, los métodos preventivos, tales como la regulación de la densidad, la estructura diamétrica y la composición de las especies arbóreas, representan actividades intrínsecas de manejo silvícola en áreas bajo manejo forestal sustentable por lo que, de la misma manera, el uso de semioquímicos en el bosque no está limitado al tiempo en que ocurre una infestación, sino también como medida preventiva.

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-Sámano 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, prevención o trampeo masivo, sin riesgo de provocar una infestación de derrame (spill over) o de seleccionar productos semioquímicos inadecuados; asegurando además la correcta identificación de las especies capturadas.

Los aspectos arriba mencionados motivaron la presente publicación. El uso de semioquímicos robustece manejo integral de insectos descortezadores, ya que incorpora productos no contaminantes que interfieren con la comunicación de los insectos, con lo cual se incide en la prevención y se complementa el control mecánico y químico tradicional. Dadas las tendencias hacia el uso de tecnologías limpias para el control de plagas forestales, se vislumbra que los semioquímicos serán de mayor aplicación para el manejo integral de plagas forestales en el mediano futuro.

CONCEPTOS BÁSICOS

En la naturaleza, existen sustancias químicas producidas por los seres vivos que se volatilizan fácilmente a temperatura ambiente y se dispersan en la atmósfera. Esas sustancias reciben el nombre de Compuestos Volátiles Orgánicos (CVOs) y su estructura química está formada principalmente por átomos de carbono (Thakeow 2008). Algunos CVOs funcionan como señales de comunicación entre organismos y sirven para orientar, desorientar, alertar o dispersar a especies animales. Por tener esa función, estos últimos compuestos reciben el nombre de *semioquímicos* (derivado de la raíz griega *semion* = marca o señal) (Price 1997) y son importantes para el manejo de plagas forestales y agrícolas, ya que pueden utilizarse como compuestos atrayentes, como interruptores del apareamiento, o como sustancias que impiden la agregación de los insectos.

De acuerdo con Reinhart (2004) los semioquímicos se pueden clasificar en dos subclases: las feromonas, que tienen función en la comunicación intraespecífica, y los aleloquímicos, que tienen función en la comunicación interespecífica. El término *feromona* se deriva del Griego *pherein* = llevar, y

horman = excitar, y es un semioquímico liberado por una especie, que tiene un efecto de comunicación en otros individuos de la misma especie (Mathews y Mathews 2010). Una feromona puede servir para: la atracción sexual, transmitir señales de alarma, agregar individuos de la especie hacia un lugar específico o para marcaje territorial, entre otras funciones.

El término aleloquímico procede del Griego *allelon* = uno de otro. Los aleloquímicos a su vez pueden clasificarse de acuerdo al efecto que provoquen en la especie emisora y en la especie receptora de la señal. De esta forma, una *kairomona* (del Griego *kairos* = oportunista) es un 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 que resulta de beneficio para la especie receptora (Whitman 1988, Price 1997); una *alomona* es un compuesto volátil liberado por una especie que también tiene un efecto en la comunicación de otra especie, pero que en este caso resulta de beneficio para la especie emisora (Whitman 1988, Mathews y Mathews 2010) y una *sinomona*, es un compuesto liberado por una especie que provoca una respuesta en otra especie, pero que resulta favorable para el emisor y el receptor (Whithman 1988, Price 1997).

Debe aclararse que un compuesto semioquímico puede ejercer señales de comunicación multifuncionales, de tal manera que la feromona de una especie puede actuar como kairomona para otra especie, o bien un compuesto volátil liberado por un organismo puede funcionar como kairomona para una especie y como alomona o sinomona para otra. Por ejemplo, los monoterpenos (volátiles de la resina) liberados por las coníferas, pueden servir para disuadir el ataque de cierto tipo de herbívoros, actuando como alomonas, pero a los insectos descortezadores ciertos monoterpenos como el α -pineno (2,6,6-Trimetilbicyclo[3.1.1]hept-2-eno), el 3-careno (3,7,7-Trimetilbicyclo[4.1.0]hept-3-eno), el mirceno (7-Metil-3-metileno-1,6-octadieno), terpinoleno [Ciclohexeno, 1-metil-4-(1-metiletolideno)-] y limoneno [Ciclohexeno,1-metil-4-(1-metiletetil)-,(S)-] entre otros (Byers 1989), les resultan atractivos, en cuyo caso estos volátiles funcionan como kairomonas. Al mismo tiempo, los monoterpenos que atraen a los insectos descortezadores pueden atraer también a sus depredadores y en esa circunstancia actúan como sinomonas entre el hospedero y los depredadores (Whitman 1988).

Otro ejemplo lo constituye la *exo-brevicomina* (*exo-7-Etil-5-metil-6,8-dioxabicyclo[3.2.1]octano*), compuesto liberado por las hembras de *Dendroctonus brevicomis* que atrae a individuos de esta especie; por consiguiente, este compuesto es una feromona de *Dendroctonus brevicomis* (Wood 1982, Byers 1989). Sin embargo, la *exo-brevicomina*, también atrae a *Temnoscheila chlorodia*, depredador de ese descortezador (Wood 1982), en cuyo caso, la *exo-brevicomina* funciona como kairomona para

Temnoscheila chlorodia. Similarmente, la frontalina (1,5-dimetil-6,8-dioxabicyclo[3.2.1]octano), feromona de agregación de *Dendroctonus frontalis*, atrae también a su depredador *Thanasimus dubius*, actuando en esta interacción presa-depredador como kairomona (Withman 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) y 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.

DISTINCIÓN DE ESPECIES DE INSECTOS DESCORTEZADORES SEGÚN SU AGRESIVIDAD

En términos generales existen dos categorías de agresividad de las especies de insectos descortezadores: las “especies agresivas”, también conocidas como “primarias” y las “especies no agresivas” ó “secundarias”. Las especies agresivas requieren obligadamente matar a sus hospederos para poder alimentarse y reproducirse, de otra manera son incapaces de sobrevivir, por lo que su estrategia principal de colonización del árbol es el “ataque en masa” (Byers 1989, Price 1997, Six y Bracewell 2015), en el cual cientos o miles de insectos atacan al hospedero en un tiempo relativamente corto, lo cual les permite vencer sus defensas. Ejemplos de especies agresivas que existen en México son *Dendroctonus ponderosae*, *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus mexicanus*, *Dendroctonus brevicomis*, *Dendroctonus adjunctus*, *Dendroctonus pseudotsugae* y *Dendroctonus rhizophagus* (Sánchez-Martínez et al. 1997), aunque esta última especie utiliza una estrategia de ataque no masivo seleccionando árboles pequeños en etapa de renuevo (Sánchez-Martínez y Wagner 2009).

Las especies no agresivas, no atacan en masa y pueden reproducirse sin llegar a matar a su hospedero, o bien infestan árboles debilitados o en proceso de muerte por otros factores (Byers 1889, Six y Bracewell 2015). Por ejemplo, *Dendroctonus valens*, *Dendroctonus approximatus* y *Dendroctonus parallelcollis*, pueden reproducirse dentro de árboles adultos sin necesidad de matarlos (Lindgren y Raffa 2013, Six y Bracewell 2015). Por otro lado, la mayoría de las especies de *Ips*, infestan trozas y ramas de

árboles recién cortados, árboles debilitados por sequías, o las partes superiores de árboles infestados por especies agresivas de *Dendroctonus*; no obstante, cuando la población de insectos es alta y los árboles en pie están debilitados ya sea por sequía, incendios, o por una alta densidad del arbolado que provoca alta competencia, algunas especies de *Ips* atacan aparentemente en masa, pero en tales condiciones los árboles ofrecen poca o nula resistencia, por lo tanto son especies oportunistas (Owen 2004), que carecen de la capacidad de colonizar árboles vigorosos.

Puesto que no todas las especies catalogadas como agresivas tienen la misma capacidad de provocar la muerte del arbolado en términos de tamaño de los brotes, es importante para el personal técnico de sanidad forestal conocer que más bien existe un gradiente de agresividad, y es necesario identificar qué tan agresiva es la especie que se presenta en un momento dado, para valorar el problema en su justa dimensión. De no ser así, puede ocurrir que se sobredimensione un problema, o que se subestime. La Figura 1 representa de manera relativa un gradiente de agresividad de las especies, tomando en consideración el tamaño de los brotes que son capaces de causar.

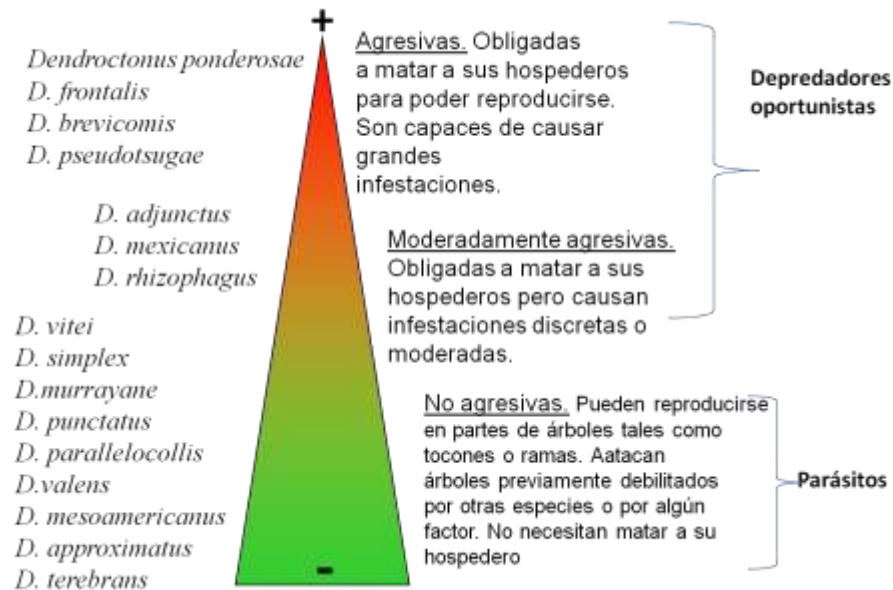


Figura 1. Gradiente relativo de agresividad de las especies del género *Dendroctonus* de acuerdo a la capacidad de provocar brotes epidémicos (G. Sánchez Martínez).

Lindgren y Raffa (2013) denominan a las especies agresivas como “depredadores facultativos”, ya que en condiciones endémicas sobreviven en árboles debilitados por algún factor, tales como aquellos dañados por un rayo de tormenta eléctrica, árboles derribados por el viento o aquellos que padecen enfermedades radiculares. En niveles de población endémicos, las especies agresivas actúan como carroñeras, pero en altos niveles de población atacan en masa y matan árboles totalmente sanos.

Por su parte, ciertas especies no agresivas, tales como *Dendroctonus valens* o *Dendroctonus parallelocollis*, se comportan como parásitos, ya que pueden vivir dentro de su hospedero y reproducirse sin matarlo. Otras especies no agresivas son clasificadas como “saprófagos de sucesión temprana” (por ejemplo varias especies de *Ips* spp.) o “saprófagos de sucesión tardía”, de acuerdo al tiempo en que colonizan a los árboles; siendo los primeros aquellos que infestan árboles moribundos o recientemente muertos y los segundos aquellos que no toleran los compuestos de la resina, por lo que infestan árboles en estado de descomposición (Lindgren y Raffa 2013, Six y Bricewell 2015).

LA FUNCIÓN DE LOS SEMIOQUÍMICOS EN EL PROCESO DE ATAQUE

Al alcanzar la maduración del estado adulto, dentro de la corteza de un árbol muerto, los insectos descortezadores emergen, vuelan y se dispersan dentro del bosque. A partir de entonces inician la búsqueda de nuevos hospederos vivos, lo cual hacen a través de vuelos aleatorios, mediante señales visuales y mediante la detección los olores liberados por los árboles, esto último conocido como “atracción primaria” (Vité y Francke 1976, Wood 1982), la cual presentan especies tales como *Dendroctonus valens*, *Dendroctonus ponderosae*, *Ips latidens*, *Ips pini* (Seybold et al. 2006) y *Dendroctonus rhizophagus* (Cano-Ramírez et al. 2012). 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 (Figura 2).

Dentro de las galerías, las especies agresivas liberan feromonas de agregación, exponiéndolas al ambiente a través de la defecación (Vité y Francke 1976), aunque varias especies, entre ellas *Dendroctonus ponderosae*, sintetizan “feromonas de contacto” 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; perforan la corteza hasta alcanzar el floema y

producen más feromonas de agregación. De dicha manera ocurre el ataque en masa (Figura 3).



Figura 2. Inicio de galería de *Dendroctonus mexicanus* en la parte interna de la corteza.



Figura 3. Grupos de resina sobre la corteza de un pino que ilustran el ataque en masa de un escarabajo descortezador.

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).

Durante proceso de ataque en masa, los árboles hospederos también segregan compuestos volátiles contenidos en la resina, los cuales son monoterpenos que funcionan como co-atrayentes para los descortezadores (kairomonas), ya que mejoran el poder de atracción de las feromonas de agregación (Seybold et al. 2006). Una vez que la colonización es exitosa, algunas especies de descortezadores 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).

Esto último ha sido demostrado para algunas especies tales como *Dendroctonus pseudotsugae*, que libera 3.2-MCH (3-metilciclohex-2-en-1-ona), y *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus brevicomis* que liberan verbenona (Biciclo [3.1.1]hepta-3-en-2-ona, 4,6,6-trimetil-, (1S)-) (Vité y Francke 1976, Lanier et al. 1988), (Cuadro 1). Para otras especies, aún falta por identificar qué compuestos y qué otros mecanismos intervienen en la suspensión del ataque.

Recapitulando, en las especies agresivas, la interacción ecológica conífera-descortezador es de tipo depredación, en la cual el árbol es la presa y el descortezador el depredador. Dada la gran diferencia de tamaño entre la presa y el depredador, la única forma de lograr su muerte es mediante el ataque en masa, el cual logran mediante la emisión de feromonas de agregación. Es en este proceso de colonización donde la comunicación química adquiere gran relevancia, pues a través de ella los insectos coordinan el ataque que conduce a la muerte del árbol y lo detienen cuando el árbol ya ha sido colonizado (Byers 1989, Matthews y Matthews 2010). El proceso de ataque conlleva la emisión y recepción de múltiples señales químicas que los insectos reciben y discriminan a través de receptores químicos ubicados principalmente en las antenas (Figura 4).

La sensibilidad de los quimio-receptores es tal que pueden distinguir, de entre los múltiples volátiles orgánicos que hay en el ambiente forestal, aquellos que les facilitan la identificación y colonización de sus hospederos. Así entonces, mediante la emisión de feromonas de agregación y antiagregación (y la estridulación en algunas especies como *Dendroctonus pseudotsugae*) (Matthews y Matthews, 2010), los insectos descortezadores alcanzan un “grupo óptimo de ataque” que permite vencer la resistencia del árbol, pero que limita la competencia intraespecífica entre los individuos atacantes. Esta estrategia evolutiva de grupo óptimo de ataque es común en los grandes organismos depredadores como las hienas, leones o lobos, cuyo grupo de ataque está en función del tamaño y resistencia de la presa (Berryman et al. 1985).

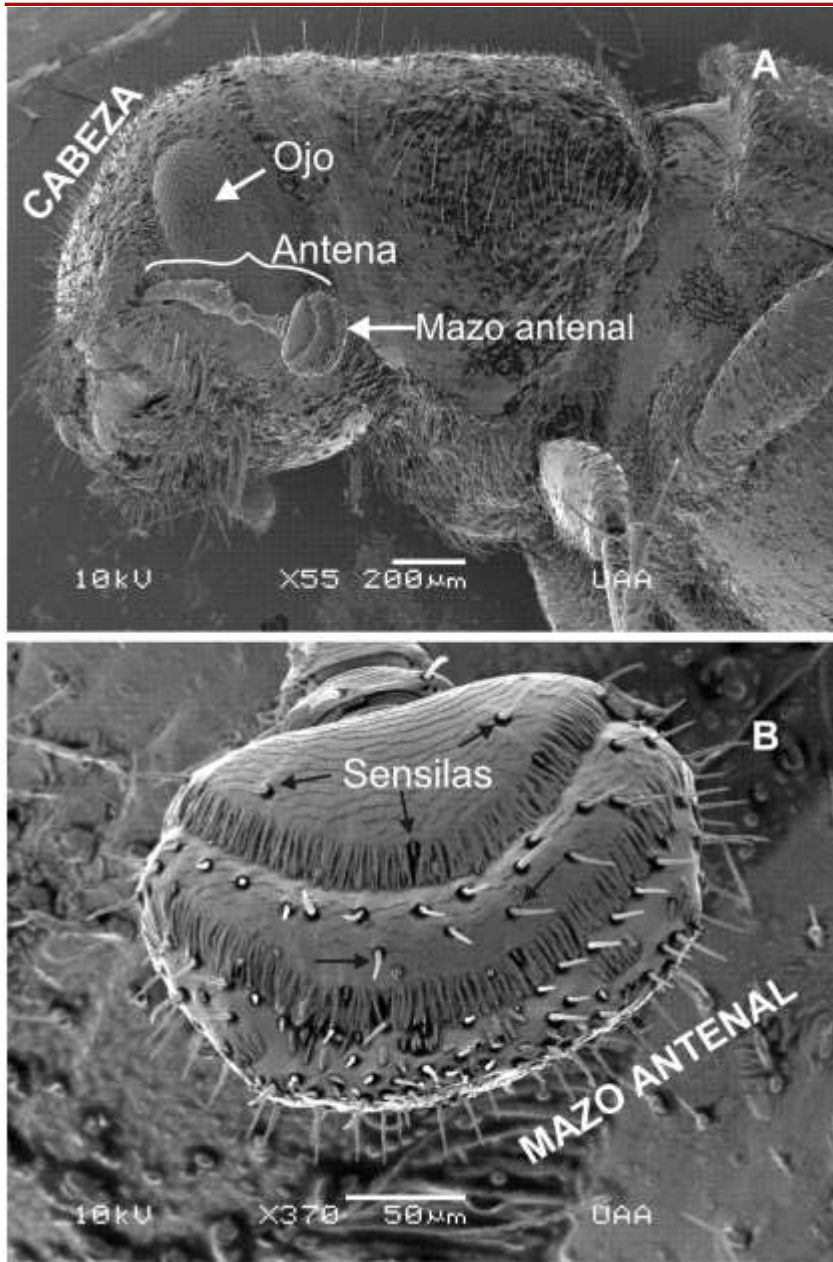


Figura 4. A) Ubicación de la antena en la cabeza *Dendroctonus mexicanus*; B) Sensilas ubicadas en el mazo antenal a través de las cuales el insecto detecta los semioquímicos en el ambiente.

Es importante distinguir la función que tienen las feromonas de agregación de los insectos descortezadores, con respecto a las feromonas sexuales que liberan otros grupos de insectos, por ejemplo los lepidópteros. En este último caso, la feromona sexual tiene la finalidad de encontrar una pareja para reproducirse, mientras que las feromonas de agregación de los insectos descortezadores tienen la finalidad de dar a conocer la ubicación de un hospedero que está siendo atacado (Vité y Francke 1976). El encuentro de machos y hembras con fines de cortejo y apareamiento ocurre una vez que los insectos se encuentran dentro de las galerías y se da mediante la emisión de feromonas y/o signos acústicos (estridulación) que producen con estructuras de los élitros y abdomen (Matthews y Matthews, 2010; Six y Bracewell 2015).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS FEROMONAS DE INSECTOS DESCORTEZADORES

Las feromonas de insectos descortezadores son compuestos volátiles orgánicos cuyo esqueleto químico no excede 10 átomos de carbono (Vité y Francke 1976). Los más comunes son los compuestos que tienen cinco átomos de carbono, llamados hemiterpenoides, y los monoterpenoides, que se caracterizan por poseer 10 átomos de carbono. Los compuestos volátiles que en el campo han demostrado influir en el proceso de agregación e interrupción del ataque de insectos descortezadores corresponden a los grupos funcionales de los acetales (bicíclicos), alcoholes y sus correspondientes cetonas (Vité y Francke 1976, Seybold and Vanderwel 2003).

Según su origen, hay dos tipos de feromonas: las primeras son aquellas que el insecto sintetiza por sí mismo dentro del intestino, sin necesidad de consumir algún alimento que contenga un compuesto precursor, llamándose en este caso síntesis *de novo* (Seybold y Vanderwel 2003, Seybold y Tittiger 2003). Tal es el caso de la frontalina, feromona producida *de novo* por *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus brevicomis* (Vité y Francke 1976). El otro tipo de feromonas son aquellas que el insecto produce a partir de la oxidación de compuestos de la resina del hospedero (monoterpenos), con los cuales tiene contacto durante el proceso de ataque y alimentación. Por ejemplo, de la oxidación del α -pineno, principal componente de la resina de los pinos, *Dendroctonus brevicomis* produce la feromona de agregación *trans*-verbenol y la feromona de antiagregación verbenona, mientras que a partir de la oxidación del mirceno *Ips* spp. produce ipsdienol e ipsenol, feromonas de agregación de *Ips* spp. (Vité y Francke 1976, Seybold y Tittiger 2003, Seybold y Vanderwal 2003).

La producción de feromonas por los insectos descortezadores constituye un proceso fisiológico complejo y varía según la especie, el sexo, el estado de apareamiento y el avance del ataque. En el Cuadro 1, se ilustran algunos ejemplos de la diversidad de compuestos liberados por algunas especies primarias así como su función en el proceso de ataque.

Cuadro 1. Ejemplos de compuestos feromonales producidos por diferentes especies de insectos descortezadores de coníferas 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 et al. (1974). Vité y Francke (1976).
<i>Dendroctonus frontalis</i>	♂	(+)-endo-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>	♀	endo-brevicomina	Agregación de machos principalmente.	Vité et al. (1974),
<i>Dendroctonus adjunctus</i>	♂	Brevicomina	Atrae hembras	Vité y Francke (1976).
<i>Dendroctonus adjunctus</i>	♀	Frontalina (1,5-dimetil-6,8-dioxabicyclo (3.2.1)octano)	Atrae machos	Vité y Francke (1976).
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	♀	Frontalina (1,5-dimetil-6,8-dioxabicyclo (3.2.1)octano)	Agregante	Wood (1982).

Especie	Sexo emisor	Compuesto feromonal	Función	Referencias
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	♀♂	3.2-MCH (3-metilciclohex-2-en-1-ona)	Antiagregación	Vité y Francke (1976). Wood (1982). Madden et al. (1988). Matthews y Mathews (2010).
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	♀♂	Verbenona	Antiagregación	Wood (1982). Madden et al. (1988).
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	♀	Seudenol (3-metil-2-ciclohexeno-1-ol)	Agregación. Atrae a ambos sexos	Vité et al. (1972). Vité y Francke (1976). Lindgren et al. (2012).
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	♀	MCOL (1-metilciclohex-2-en-1-ol)	Agregación. Atrae a ambos sexos	Libbey et al. (1983). Lindgren et al. (1992). Lindgren et al. (2012).
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	♂♀	Frontalina (1,5-dimetil-6,8-dioxabicyclo [3.2.1]octano)	Agregación. Atrae a ambos sexos	Lindgren et al. (1992). Lindgren et al. (2012).
<i>Dendroctonus brevicomis</i> de California	♀	(+)-exo-brevicomina	Agregante de machos principalmente	Lanier et al. (1988). Byers (1989).
<i>Dendroctonus brevicomis</i>	♂♀	<i>trans</i> -verbenol	Antiagregación principalmente de hembras	Byers (1989).
<i>Dendroctonus brevicomis</i> de California y sur de las Montañas Rocallosas	♂	Frontalina (1,5-dimetil-6,8-dioxabicyclo [3.2.1]octano)	Agregante. Atrae hembras	Vité y Francke (1976). Lanier et al. (1988).
<i>Dendroctonus brevicomis</i> de California y sur de las Montañas	♂	Verbenona (Bicyclo [3.1.1]hepta-3-en-2-ona, 4,6,6-trimetil-,	Antiagregación	Lanier et al. (1988).

Especie	Sexo emisor	Compuesto feromonal	Función	Referencias
Rocallosas		(1S)-		
<i>Dendroctonus brevicomis</i> del sur de las Montañas Rocallosas	♀	(+)-endo-brevicomina	Agregación	Lanier et al. (1988).
<i>Ips paraconfusus</i>	♂♀	(+)-trans-verbenol y (+)-mirtenol	Agregación	Vité y Francke 1976
<i>Ips paraconfusus</i>	♂♀	(S)-cis-verbenol y (-)mirtenol	Agregación	Vité y Francke (1976).
<i>Ips</i> spp.	♂	cis-verbenol	Agregación	Byers (1989).
<i>Ips</i> spp.		(S)-(+)-ipsdienol y (S)-(-)ipsenol	Agregación	Byers (1989).

COMPOSICIÓN DE PRODUCTOS ATRAYENTES Y ANTIAGREGANTES

El propósito de este apartado es que los usuarios de los productos comerciales de atrayentes o antiagregantes, conozcan que éstos no siempre contienen un solo compuesto y que deben estar al tanto de la información técnica de los productos adquiridos, para asegurarse que son los indicados de acuerdo al propósito que se planteen.

En el monitoreo de insectos descortezadores de coníferas, mediante el uso de semioquímicos y trampas, es común utilizar el término “feromona” para referirse al compuesto o compuestos que son colocados como atrayente en las trampas. En realidad, los atrayentes disponibles en formulaciones comerciales, imitan a los compuestos semioquímicos que son liberados, de manera natural, tanto por los insectos como por los hospederos y que se sabe atraen a los insectos objetivo. De esta manera, los atrayentes están conformados por una o varias feromonas, más una o varias kairomonas.

En el caso de *Dendroctonus brevicomis*, las hembras liberan exo-brevicomina y los machos frontalina. Por separado, estas dos feromonas atraen a pocos especímenes de esta especie, pero mezcladas incrementan el efecto de atracción. Si además de esas dos feromonas se agrega mircenol, que es un compuesto contenido en la resina del hospedero, el poder de agregación se incrementa aún más (Byers 1989). Por lo tanto el atrayente que se formuló para *Dendroctonus brevicomis* en Norteamérica está

compuesto de exo-brevicomina (feromona producida por la hembra)+frontalina (feromona producida por el macho)+mirceno (monoterpeno de la resina del hospedero) y es el que se ha utilizado en diversos estudios de campo (e.g. Sánchez-Martínez y Wagner 2002, Gaylord et al. 2006, Gillette y Munsen 2009).

En el caso de *Dendroctonus pseudotsugae*, en el Cuadro 1 se observa que esta especie libera varias feromonas de agregación. Por su parte, el hospedero *Pseudotsuga menziessi* libera α -pineno, etanol, canfeno y trans-3-penteno-1-ol (Wood 1982, Madden et al. 1988). De ahí que el atrayente formulado para atraer a este descortezador está regularmente compuesto por frontalina (feromona producida por hembras y machos)+seudenol (feromona producida por las hembras)+etanol+monoterpenos (kairomonas producidas por el hospedero), o bien por frontalina+MCOL (feromona producida por las hembras)+etanol+monoterpenos (e.g. Synergy Semiochemical, Burnaby, BC., Canada, ChemTica Int., San José, Costa Rica). A la vez se observa en el mismo cuadro que tanto machos como hembras de *Dendroctonus pseudotsugae* producen 3.2-MCH, una feromona antiagregante, de manera que existe un producto comercial basado en este compuesto que se formuló para evitar el ataque de este descortezador.

Como un tercer ejemplo, de acuerdo con el Cuadro 1, las hembras de *Dendroctonus frontalis* liberan frontalina, la cual atrae a machos y hembras de esta especie. Además se conoce que el α -pineno (monoterpeno liberado por el hospedero) incrementa el efecto de atracción de la frontalina; por lo tanto, el atrayente diseñado para atraer a esta especie se compone de frontalina+ α -pineno, o bien frontalina + aguarrás, el cual contiene una mezcla de monoterpenos de pino que puede variar en función de su origen. Además, en el Cuadro 1 se observa que los machos de *Dendroctonus frontalis* liberan (+)-endo-brevicomina después del apareamiento y se ha descubierto que esta feromona hace un efecto de sinergia al ser combinado con la frontalina (Sullivan et al. 2007, Moreno et al. 2008). Por lo tanto, además del atrayente comercial tradicional para *Dendroctonus frontalis* (frontalina+ α -pineno, o frontalina+aguarrás), existe otro atrayente comercial conformado por frontalina+endo-brevicomina+mezcla de monoterpenos.

En cualquiera de los ejemplos mencionados, debe tomarse en cuenta que el número de insectos capturados varía en función de los compuestos que tiene el atrayente, de ahí que el usuario debe conocer la información precisa del producto adquirido y utilizarlo de manera consistente en sus actividades de monitoreo, o bien elegir el más adecuado de acuerdo con el objetivo que tenga. Si un usuario utiliza un atrayente para una especie objetivo y lo adquiere con un proveedor determinado, debe solicitar la

información técnica del atrayente. Si por alguna razón cambia de proveedor, pero no el propósito de uso del atrayente, debe asegurarse de que el producto que adquiriera tenga la misma formulación que el que está utilizando.

En México, Moreno et al. (2008) constataron que la combinación de frontalina racémica +*endo*-brevicomina racémica+aguarrás, incrementan significativamente el número de capturas de esta especie así como la proporción macho:hembra, en comparación con la frontalina racémica combinada solo con aguarrás que captura principalmente a los machos de *Dendroctonus frontalis* y en menor número (Moreno et al. 2008). Por su parte, Sánchez-Martínez y Reséndiz-Martínez (inédito), evaluaron dos atrayentes comerciales para *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* en la Sierra Gorda de Querétaro, uno que consta de frontalina+alfa-pineno (ChemTica Internacional, S. J. Costa Rica), y otro compuesto por frontalina+*endo*-brevicomina+mezcla de monoterpenos (Synergy Corp., Canadá), encontrando que el atrayente que contiene *endo*-brevicomina atrae hasta más de 40 veces la cantidad de insectos capturada por el atrayente compuesto solamente de frontalina + alfa-pineno (Figura 5), lo cual corrobora los hallazgos de Moreno et al. (2008), respecto al efecto de sinergia que produce la *endo*-brevicomina al usarse conjuntamente con la frontalina y monoterpenos.

Para *Dendroctonus adjunctus*, existe poca investigación básica sobre las feromonas de agregación que libera en el proceso de ataque (Negrón 1997); sin embargo, en México se ha utilizado frontalina+alfa-pineno (Villa Castillo, 1992); frontalina+*exo*-brevicomina (Torres Espinosa et al., 2004); y *exo*-brevicomina+frontalina+ alfa-pineno (Sánchez-Martínez et al., 2007). En Arizona, esta especie se ha capturado con frontalina+*exo*-brevicomina (Shea et al., 1993); con frontalina sola, o con frontalina+*exo*-brevicomina+ mirceno (el atrayente convencional de *Dendroctonus brevicomis*) (Gaylord et al., 2006).

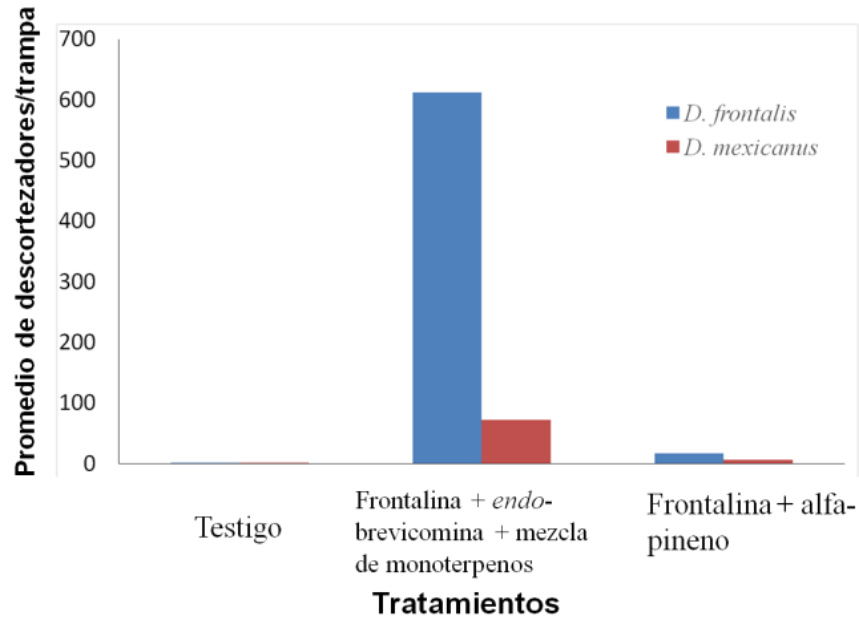


Figura 5. Respuesta de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* a dos atrayentes comerciales diseñados para la captura de *Dendroctonus frontalis*, evaluados experimentalmente en la Sierra Gorda de Querétaro en 2015.

La relevancia de la información de este apartado radica en que el usuario puede solicitar un producto limitado a ciertos compuestos, de acuerdo al objetivo de uso de los semioquímicos. Por ejemplo, si la especie objetivo es *Dendroctonus frontalis*, el usuario debe saber si el producto que requiere es el que contiene frontalina+ α -pineno o el que contiene frontalina+endobrevicomina+mezcla de monoterpenos. Usar indistintamente ambos productos influirá en los resultados.

IMPORTANCIA DE DEFINIR EL OBJETIVO DE USO DE LOS SEMIOQUÍMICOS

El uso de semioquímicos para insectos descortezadores puede tener varios objetivos, los cuales deben tenerse en claro para elegir los productos adecuados. Uno de ellos es el monitoreo, el cual consiste en la medición

constante de uno o varios atributos de los insectos, tales como: a) la presencia de una especie de interés, b) la abundancia de una o varias especies de interés a través del tiempo (que equivale a medir la fluctuación poblacional), c) la diversidad de especies de descortezadores en un lugar determinado (que equivale a caracterizar los “gremios ecológicos” (*guilds*) o la estructura de la comunidad de insectos descortezadores presentes en ciertos lugares y tiempos definidos (Sánchez-Martínez y Wagner 2002, Sánchez-Martínez et al. 2007), o d) la proporción de especies de descortezadores y sus depredadores con fines de predicción (Billings y Upton 2010).

Si el objetivo es el monitoreo de insectos descortezadores, debe definirse primero la especie o especies objetivo y el atributo o atributos que se van a medir, para seleccionar el atrayente más adecuado que será colocado en una trampa para insectos descortezadores. Si existe solamente una especie objetivo (por ejemplo *Dendroctonus frontalis*), se deberá seleccionar un atrayente específico para esa especie, pero si existen dos o más especies objetivo para un mismo lugar, se deberán seleccionar los productos que se conoce atraen a esas especies y cada uno de ellos debe colocarse de manera individual por trampa.

Debe puntualizarse que cuando el uso dessemioquímicos tiene por objetivo el monitoreo de las poblaciones, no es necesario capturar el máximo número de insectos en las trampas, sino capturar el número suficiente que refleje el atributo que se está midiendo. Usar un atrayente que capture innecesariamente un abundante número de insectos, puede causar una “infestación de derrame” (*spill over*), sobre todo si hay árboles hospederos muy próximos a la trampa que contiene el atrayente. Además, un alto número de especímenes implica mayor necesidad de recursos para hacer la identificación y conteo de insectos.

Otro objetivo del uso de semioquímicos puede ser el “trampeo masivo”, que consiste en capturar el máximo número de insectos de la especie afectante, para suprimir la población de insectos y detener el avance de un brote, especialmente en infestaciones pequeñas y aisladas (Borden 1995). En este caso, es deseable un atrayente que capture el número máximo de insectos posible, para lo cual debe escogerse un lugar estratégico para la colocación de las trampas que evite que los insectos ataquen a los árboles cercanos, y solo caigan en el contenedor de ellas (Amman y Lindgren 1995).

Vité y Francke (1976), recomiendan el trampeo masivo (*trap-out*) solamente cuando hay bajos niveles de población porque, según ellos, el problema del trampeo masivo es que concentra la población justamente en el rodal que se quiere proteger. Por su parte, Borden (1995) sugiere que el

trampeo masivo mediante el uso de semioquímicos puede ayudar detener el avance de un brote, especialmente en infestaciones pequeñas y aisladas. Una técnica más reciente conocida como “empujar y jalar” (push-pull), consistente en colocar feromonas de antiagregación en el lugar que se pretende proteger y trampas con atrayentes en sitios a donde se “jalan los insectos” parece funcionar bien para algunas especies (Gillette y Munson 2009).

FORMA DE USO DE LOS SEMIOQUÍMICOS

Los semioquímicos para insectos descortezadores son comercializados en una variedad de dispositivos de liberación (Figura 6). Para el caso del monitoreo o el trampeo masivo de insectos descortezadores, los compuestos semioquímicos son colocados en trampas especialmente diseñadas para capturar este tipo de insectos.



Figura 6. 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.

La más común de éstas es la trampa de embudos Lindgren (Lindgren 1983), la cual consiste de una serie de embudos negros ensamblados de forma vertical, que simulan la apariencia oscura y vertical del fuste de un árbol, y un vaso colector en la base donde quedan atrapados los insectos (Figura 7).



Figura 7. Trampa de embudos Lindgren con compuestos atrayentes para *Dendroctonus frontalis*, utilizada en un estudio en La Sierra Gorda de Querétaro.

Existen otros tipos de trampas menos conocidos tales como la trampa de panel en la cual dos paneles verticales de plástico son ensamblados en forma de cruz, que también simulan la forma del fuste de un árbol, adaptando un embudo y un vaso recolector en la parte inferior donde quedan atrapados los insectos, o bien la trampa Trinet, la cual consiste de un trípode de aluminio cubierto por una malla impregnada con alfa-cipermetrina (Figura 8).



Figura 8. Ejemplos de otros tipos de trampas diseñadas para atraer a los insectos descortezadores en combinación con compuestos semioquímicos: A) trampa de panel, B) trampa Trinet.

Cuando se trata de semioquímicos antiagregantes tales como la feromona MCH que interrumpe la agregación de *Dendroctonus pseudotsugae*, o la verbenona que en algunos casos ha detenido a otras especies como *Dendroctonus ponderosae*, la cápsula burbuja, que es el dispositivo de liberación, se coloca directamente 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 (Figura 9). Para estas dos feromonas antiagregantes también existen otros dispositivos de liberación llamados micro-hojuelas y bio-hojuelas biodegradables, las cuales se dispersan ya sea de forma aérea o manual y caen hasta el suelo de donde se libera gradualmente el componente semioquímico (Figuras 10 y 11).



Figura 9. Cápsula burbuja con feromona de antiagregación MCH, engrapada sobre el fuste de un árbol para liberar el compuesto y prevenir el ataque de *Dendroctonus pseudotsugae*.

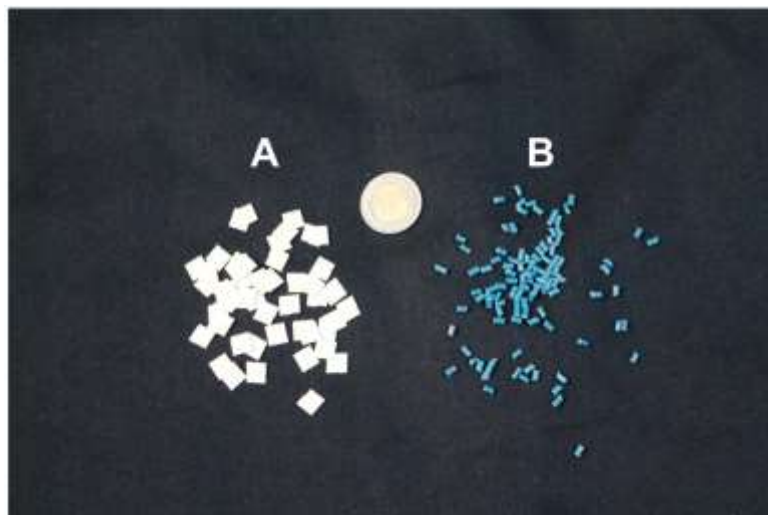


Figura 10. Micro-hojuelas de MCH (A) y bio-hojuelas de verbenona (B), feromonas de antiagregación de *Dendroctonus pseudotsugae* y *Dendroctonus* spp. respectivamente.



Figura 11. Aplicación de bio-hojuelas de verbenona con fertilizadora manual. Fotografía de un experimento establecido en el Ejido Los Bancos, municipio Pueblo Nuevo, Durango, para evaluar el efecto de la verbenona sobre *Dendroctonus frontalis*.

IMPORTANCIA DE LA ELECCIÓN Y CONOCIMIENTO DE LOS PRODUCTOS SEMIOQUÍMICOS

El uso de un atrayente diseñado para atraer a una especie, no garantiza que solamente atraerá a la especie objetivo, de ahí que es necesario corroborar la identidad de las especies que son capturadas y no suponer que todos los especímenes de descortezadores que caen en la trampa corresponden a la especie para la cual el atrayente fue diseñado. Sánchez-Martínez y Wagner (2002) al intentar capturar a *Dendroctonus brevicomis*, con el atrayente convencional para esa especie, compuesto por frontalina + exobrevicomina + mirceno, encontraron que este atrayente, en el Norte de Arizona, atrajo en mayor número a *Dendroctonus frontalis* que a la especie objetivo, en una proporción de 4:1, lo cual fue constatado por Gaylord et

al. (2006), quienes encontraron que dicho atrayente atrae más a *Dendroctonus frontalis*, inclusive que la frontalina misma, en ese ecosistema. De manera similar, Moser et al. (2005) encontraron que el atrayente convencional para *Dendroctonus brevicomis*, consistentemente atrajo a un mayor número de *Dendroctonus mexicanus* y *Dendroctonus frontalis* en Pinery Canyon, en el sur de Arizona, mientras que el atrayente convencional para *Dendroctonus frontalis* compuesto por frontalina + alfa-pineno atrajo en mayor número a *Dendroctonus mexicanus* que a *Dendroctonus frontalis*.

Este efecto atrayente de la feromona para *Dendroctonus brevicomis* sobre *Dendroctonus mexicanus*, también fue comprobado por Díaz Núñez (2005) y Sánchez-Martínez et al. (2007) en México, quienes encontraron que la *exo*-brevicomina + alfa-pineno también atrae a *Dendroctonus mexicanus* en La Sierra Fría., Aguascalientes, y en algunas temporadas en mayor cantidad que la frontalina + alfa-pineno, considerado el señuelo estándar para *Dendroctonus frontalis*.

Por otra parte, se ha demostrado que la adición de (+)-*endo*-brevicomina al atrayente conformado por frontalina+ α -pineno, o frontalina+mezcla de monoterpenos, incrementa significativamente la atracción de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* en comparación con las capturas obtenidas solo con frontalina+ α -pineno (Sullivan et al. 2007, Moreno et al. 2008, Pureswaran et al. 2016).

Hofstetter et al. (2008) han demostrado que es importante considerar el componente kairomonal de un atrayente, en función de la composición química de los hospederos en determinado lugar, de tal manera que mientras en el oeste de los Estados Unidos *Dendroctonus brevicomis* responde a frontalina + *exo*-brevicomina + mirceno, en el norte de Arizona esta especie y *Dendroctonus frontalis* son atraídas en mayor número cuando el mirceno se sustituye por α -pineno, ya que este monoterpeno es uno de los principales componentes de *Pinus ponderosa*, el hospedero de estos descortezadores en el norte de Arizona.

La variación de los productos semioquímicos en la capacidad de atracción de insectos descortezadores, debe considerarse al momento de definir el propósito del uso de atrayentes, ya que un producto que incrementa la captura de los insectos en varios órdenes de magnitud no necesariamente es el mejor para el monitoreo de una especie, pues también puede incrementar el número de horas de trabajo para la identificación y conteo de los insectos, además de que puede provocar una infestación accidental en los árboles aledaños a las trampas. No obstante, un producto que incrementa la atracción de la especie objetivo, podría utilizarse para el trampeo masivo (Amman y Lindgren 1995), en cuyo caso la identificación

y conteo de las especies pasa a un segundo término, ya que un atrayente de alto efecto debe usarse para atraer el máximo número posible de insectos para limitar en lo posible su ataque en el arbolado sano.

En el párrafo anterior se observa que tanto *Dendroctonus frontalis* como *Dendroctonus mexicanus* responden a uno o varios de los componentes del atrayente diseñado para *Dendroctonus brevicomis* y que *Dendroctonus mexicanus* también es atraído por el atrayente convencional de *Dendroctonus frontalis*.

Cuadro 2. Ejemplos de atrayente diseñados para una especie de insecto descortezador y las especies que en realidad atrae en el bosque.

Especie objetivo	Formulación	Especies que atrae	Referencias
<i>Dendroctonus brevicomis</i>	Frontalina + <i>exo-brevicomina</i> + <i>mirceeno</i>	<i>Dendroctonus frontalis</i> , <i>Dendroctonus mexicanus</i> , <i>Dendroctonus brevicomis</i>	Sánchez-Martínez y Wagner (2002), Moser et al. (2005), Gaylord et al. (2006), Sánchez-Martínez et al. (2007), Hofstetter et al. (2008)
<i>Dendroctonus frontalis</i>	Frontalina + <i>alfa-pineno</i>	<i>Dendroctonus mexicanus</i> , <i>Dendroctonus frontalis</i>	Moser et al. (2005), Díaz et al. (2005), Sánchez-Martínez et al. (2007), Sánchez-Martínez y Olivo-Martínez 2016 (inédito)
<i>Dendroctonus frontalis</i>	Frontalina + <i>endo-brevicomina</i> + mezcla de monoterpenos	<i>Dendroctonus frontalis</i> , <i>Dendroctonus mexicanus</i>	Datos personales
<i>Dendroctonus mexicanus</i>	Frontalina + mezcla de monoterpenos	<i>Dendroctonus mexicanus</i> , <i>Dendroctonus frontalis</i>	Sánchez-Martínez y Santana-Espinoza (2016) (inédito).
<i>Dendroctonus valens</i>	Alfa-pineno+beta-pineno-delta-3-careno	<i>Dendroctonus valens</i>	Gillette y Munson (2009).
<i>Dendroctonus valens</i>	Delta-3-Careno	<i>Dendroctonus valens</i>	Gillette y Munson (2009)

IMPORTANCIA DE LA CORRECTA IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES

Cuando se use cualquier atrayente para insectos descortezadores, se debe tener especial cuidado en la identificación correcta de los especímenes capturados, puesto que varias especies son muy parecidas externamente, sobre todo *Dendroctonus mexicanus*, *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus mesoamericanus* y *Dendroctonus vitei* (Lanier et al. 1988, Cognato 2011, Armendáriz-Toledano y Zúñiga 2016). Esto es aún más importante en áreas donde estas especies coexisten, como sucede en varias partes de la República Mexicana (Zúñiga et al. 1999, Cognato et al. 2011). Para ello, es recomendable tomar una submuestra de las recolectas y proceder a la extracción, montaje y observación de la genitalia del macho, pues aunque externamente las especies aquí mencionadas se parecen, la forma de la varilla seminal es determinante en cada especie (Figura 12).

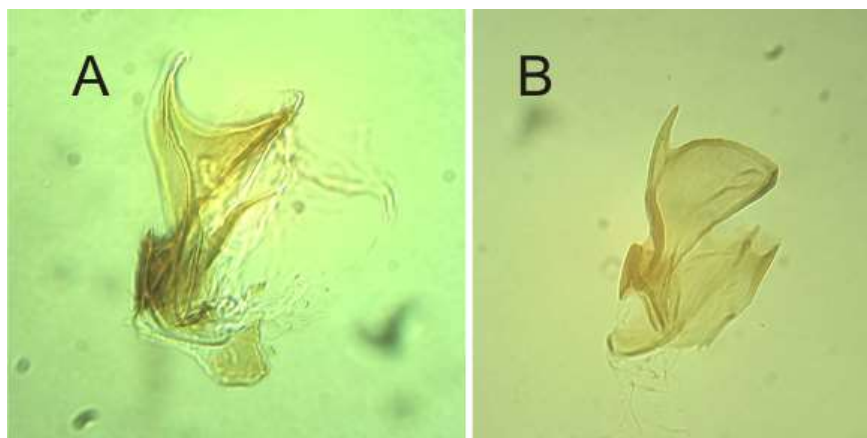


Figura 12. Varilla seminal de *Dendroctonus mexicanus* (A) y *Dendroctonus frontalis* (B).

La corroboración de las especies mediante la observación de la genitalia permite determinar la presencia de especies parecidas que coexisten en el mismo lugar y responden a los mismos compuestos semioquímicos.

La Figura 13 muestra un estudio de caso donde la especie objetivo era *Dendroctonus mexicanus*, colocando para ello trampas Lindgren cebadas con frontalina+mezcla de monoterpenos; sin embargo, como se puede observar, en una de las localidades se detectó una mayor abundancia de

Dendroctonus frontalis, la cual estuvo presente en cuatro de las localidades en coexistencia con la especie objetivo.

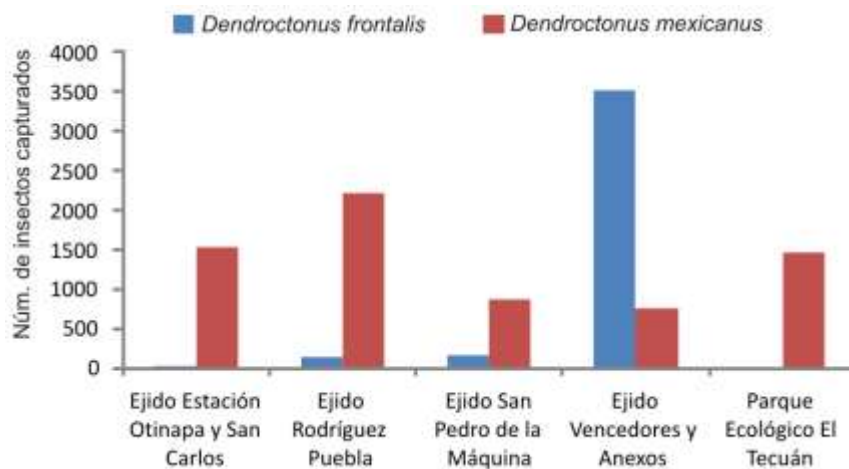


Figura 13. Suma insectos capturados en trampas de embudo Lindgren cebadas con frontalina+mezcla de monoterpenos, en cinco localidades dentro del estado de Durango (dos trampas por localidad) durante marzo de 2014 a marzo 2015, teniendo como especie objetivo a *Dendroctonus mexicanus*.

La metodología para la extracción y montaje de la genitalia de insectos descortezadores, aunque demanda de entrenamiento y práctica, es relativamente sencilla y requiere de materiales mínimos de laboratorio. Se recomienda al personal técnico encargado de la identificación del material, acudir a una institución de enseñanza o investigación para capacitarse en esta metodología. En la parte final de este documento se incluye un apéndice donde se describe este proceso.

EPÍLOGO

El propósito de haber escrito este documento es que el los usuarios de productos semioquímicos para insectos descortezadores conozcan la información básica necesaria para la elección y uso adecuado de los mismos. La cantidad de insectos atraídos está en función del producto seleccionado, por lo tanto usar indistintamente cualquiera de ellos influirá en los resultados. Por otra parte, la cantidad de recursos y esfuerzos para procesar las muestras capturadas dependerá también del producto elegido. Es imperativo identificar correctamente a las especies, sobre todo cuando se trata de especies parecidas externamente, por lo que en el apéndice de este documento se presenta una metodología sencilla para extraer y montar la genitalia. Una vez hecho el montaje, las especies pueden determinarse con base en la publicación de Armendáriz-Toledano y Zúñiga (2016).

AGRADECIMIENTOS

La presente publicación es uno de los productos generados en el proyecto “Generación de nuevas estrategias de monitoreo y control de los insectos descortezadores *Dendroctonus mexicanus*, *Dendroctonus frontalis* e *Ips lecontei*, mediante el uso de semioquímicos y entomopatógenos” (Núm. SIGI 16433532511) financiado por el INIFAP, cuya responsable técnica fue la Dra. Adriana Gijón Hernández a quien se agradece por la gestión de los recursos. La publicación contiene además información de experiencias con el uso de semioquímicos en otros proyectos a cargo del autor principal. Se extiende un agradecimiento a la Biól. Araceli Adabache Ortiz y al Dr. Onésimo Moreno Rico (Universidad Autónoma de Aguascalientes) por su apoyo con la toma de las fotografías de *Dendroctonus mexicanus* que componen la Figura 4, las cuales fueron tomadas a través de microscopio electrónico de barrido.

LITERATURA CITADA

- 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): 1-15.
- Bentz, B. J., J. Régnière, C. J. Fettig, E. M. Hansen, J. L. Hayes, J. A. Hicke, R. G. Kelsey, J. F. Negrón, and S. J. Seybold. 2010. Climate change and bark beetles on the western United States and Canada: Direct and indirect effects. Bioscience 60 (8): 602-613.
- Berryman, A. A., B. Dennins, K. F. Raffa, and N. C. Stenseth. 1985. Evolution of optimal group attack, with particular reference to bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). Ecology 66: 898-903.
- Billings, R. F. and W. W. Upton. 2010. A Methodology for assessing annual risk of Southern Pine Beetle outbreaks across the southern region using pheromone traps. General Technical Report PNW-GTR-802, USDA-Forest Service, Pacific Northwest Research Station. pp. 73-85.
- 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. 2003. Historical mountain pine beetle activity. http://www.pfc.cfs.nrcan.gc.ca/entomology/mpb/historical/index_e.html.
- Canadian Forest Service. 2005. About the mountain pine beetle activity. http://mpb.cfs.nrcan.gc.ca/about_e.html.

- Cano-Ramírez, C., F. Armendáriz-Toledano, J. E. Macías-Sámano, B. T. Sullivan and G. Zúñiga. 2012. Electrophysiological and behavioral responses of the bark beetle *Dendroctonus rhizophagus* to volatiles from host pines and conspecifics. *J. Chem. Ecol.* 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 (6206): 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.
- 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.
- Cudmore, T. J., N. Björklund, A. L. Carroll and B. S. Lindgren. 2010. Climate change and range expansion of an aggressive bark beetle: evidence of higher beetle reproduction in native host tree populations. *Journal of Applied Ecology* 47: 1036-1043.
- 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(1): 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. Sinergistic effects of α -pinene and exo-brevicomin on pine bark beetles and associated insects in Arizona. J. Appl. Entomol. 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 (3): 403-418.
- Libbey, L. M., A. C. Oehlschlager and L. C. Ryker. 1983. 1-methylcyclohex-2-en-1-ol as an aggregation pheromone of *Dendroctonus pseudotsugae*. Journal of Chemical Ecology 9 (12): 1533-1541.
- Lindgren, B. S., G. Gries, H. D. Pierce, Jr. and K. Mori. 1992. *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae): Production and response to enantiomers of 1-methylcyclohex-2-en-1-ol. Journal of Chemical Ecology 18 (7): 1201-1208.
- Lindgren, B. S. 1983. A multiple funnel trap for scolytid beetles (Coleoptera). Canadian Entomologist 115: 299-302.
- Lindgren, B. S., D. R. Miller and J.P. LaFontaine. 2012. MCOL, frontalin and ethanol: a potential operational trap lure for Douglas-fir beetle in British Columbia. Journal of the Entomological Society of British Columbia. 108: 72-74.
- 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 (4): 1305-1316.
- Macías-Sámamo, 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 (6): 1821-1825.
- Moore. B. and G. Allard. 2008. Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal. FAO. Departamento Forestal. 42 p.
- Negron, J. 1997. Estimating probabilities of infestation and extent of damage by the roundheaded pine beetle in ponderosa pine in the Sacramento Mountains, New Mexico. *Canadian Journal of Forestry Research* 27: 1936-1945.
- 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 (4): 235-243.
- Owen, D. R. 2004. *Ips* beetles in California pines. *Tree Notes* Num. 28. California Department of Forestry and Fire Protection. 4 p.
- Pineda Torres, M. del C., R. Campos Bolañosy 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. En: SARH-INIFAP-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. *J. Chem. Ecol.* DOI: 10.1007/s10886-016-9.
- Reinhart, J. 2004. Insect chemical communication. *ChemoSense*, 6(4):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. and M. R. Wagner. 2009. Host preference and attack pattern of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): a bark beetle specialist on pine regeneration. *Environmental Entomology* 38(4): 1197-1204.
- 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., R. Narváez-Flores y J. A. Olivo-Martínez. 2008. Ciclo biológico y patrón de dispersión estacional del descortezador de las alturas (*Dendroctonus adjunctus* Blandford) en la Sierra La Rspadura, Chihuahua. INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Pabellón. Folleto Técnico Núm. 37. 31 p.
- SEMARNAT. 2008. Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2006, que establece los lineamientos técnicos de los métodos de combate y control de insectos descortezadores. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 23 de julio de 2008, primera sección.
- SEMARNAT. 2016 a. Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales.
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_e x=D3_RFORESTA06_01&IBIC user=dgeia_mce&IBIC pass=dgeia_mce (Fecha de consulta: 25 de octubre de 2016).
- SEMARNAT 2016 b. Proyecto de modificación de la Nom-019-semarnat-2006, Que establece los lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores; para quedar como NOM-019-SEMARNAT-2016, que establece los lineamientos técnicos para la prevención, combate y control de insectos descortezadores.
<http://www.cofemersimir.gob.mx/portales/resumen/39010> (Fecha de consulta 26 de julio de 2016).
- 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.
- 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.

- 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. *Phytochem. Rev.* 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. *J. Chem. Ecol.* 33: 15-10-1527.
- Thakeow, P. 2008. Development of a biosensor system for wood degradation using volatile organic compounds. Ph. D. Dissertation. Faculty of Forest Science and Forest Ecology, Georg-August-University Göttingen, Germany. 192 p.
- Torres-Espinosa, L. M., J. A. Sánchez-Salas, A. Cano-Pineda y O. U. Martínez-Burciaga. 2004. Uso de Feromonas en el manejo integrado del descortezador de pinos *Dendroctonus adjunctus* Blandford. INIFAP, CIRNE, Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 13. 8 p.
- Villa-Castillo, J. 1992. Atrayentes químicos en escarabajos descortezadores *Dendroctonus mexicanus* y *D. adjunctus* (Col: Scolytidae). *Ciencia Forestal* 17 (71): 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.
- 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. *Z. ang. Ent.* 75: 422-435.
- Vité, J. P. and W. Francke. 1976. The aggregation pheromones of bark beetles: progress and problems. *Naturwissenschaften* 63: 550-555.

- Whitman, D. W. 1988. Allelochemical interactions among plants, herbivores, and their predators. In: P. Barbosa and D. K. Letourneau (eds.). Novel aspects of insect-plant interactions. JohnWiley & 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. Ann. Rev. Entomol. 27: 411-446.
- Zúñiga, G., G. Mendoza Correa, R. Cisneros y Y. Salinas-Moreno. 1999. Zonas de sobreposición en las áreas de distribución geográfica de las especies mexicanas de *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae) y sus implicaciones ecológico-evolutivas. Acta Zool. Mex. 77: 1-22.

APÉNDICE

PROCESO PARA EXTRACCIÓN Y MONTAJE DE GENITALIA DE *DENDROCTONUS* SPP.

GUILLERMO SÁNCHEZ MARTÍNEZ

Se resume a continuación la metodología para la extracción y montaje de genitalia de *Dendroctonus* spp. (Coleoptera: Curculionidae). Esta metodología han sido practicada para la extracción y análisis de genitalia de *Dendroctonus mexicanus*, *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus pseudotsugae*, *Dendroctonus brevicomis*, *Dendroctonus adjunctus*, *Dendroctonus valens* y *Dendroctonus vitei* en el Campo Experimental Pabellón-INIFAP. El análisis de los genitalia sirve para la determinación de varias especies de insectos, cuando la morfología externa es insuficiente. Debe notarse que la metodología se refieren al proceso de extracción y montaje de los genitalia específicamente; por lo tanto, es necesario que los usuarios de la metodología conozcan o aprendan sobre la morfología interna de los insectos, para que estén en posibilidad de distinguir los órganos reproductores de machos y hembras. Si bien los medios de montaje que se reportan pueden variar, en lo personal encuentro más práctico el uso de glicerol y bálsamo de Canadá; sin embargo, cada usuario puede encontrar el mejor medio de acuerdo al tipo de insecto a analizar y a sus habilidades.

MATERIALES

- Baño María o parrilla de calentamiento
- Microscopio estereoscópico
- Microscopio compuesto
- Bálsamo de Canadá o glicerol para fijar o montar la muestra
- KOH al 10 %
- Alcohol al 70, 96 y 100 %
- Agua destilada
- Porta y cubre objetos
- Pinzas de disección
- Jeringas para insulina de 50 y 100 unidades
- Cajas Petri
- Tubos Eppendorf. Para macerar las muestras en baño María
- Frascos de plástico o cajas Petri pequeñas.
- Esmalte transparente para sellar las muestras
- Marcador indeleble para rotular las muestras o etiquetas

MÉTODOLOGÍA

1. Separar los machos de hembras tomando en cuenta que los machos de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* tienen un par de tubérculos en la parte superior de la cabeza. En otras especies de *Dendroctonus*, el sexo se puede determinar mediante la observación de la forma del séptimo terguito abdominal, o bien si los insectos están vivos los machos se distinguen de las hembras porque estos emiten sonidos cortos en señal de defensa (Rosemberger et al. 2016). Para mantener las muestras hidratadas en el momento de la separación se mantienen dentro de una caja Petri con agua destilada.
2. Con la ayuda de un microscopio estereoscópico y agujas para insulina, separar el abdomen de los insectos y colocarlos en un tubo Eppendorf o un vial que contenga KOH al 10% (nota: si los insectos son muy pequeños se puede colocar todo el cuerpo del insecto en el vial).
3. Macerar los abdómenes de los insectos en KOH al 10% a una temperatura de 80° C durante 15 minutos (Se puede también macerar la muestra a temperatura ambiental por 12 a 24 horas).
4. Al terminar el tiempo de maceración, enjuagar los insectos macerados con agua destilada para eliminar residuos de KOH.
5. Después del enjuague, deshidratar los abdómenes pasándolos por un minuto en alcohol al 96% y luego otro minuto en alcohol al 100%.
6. Al concluir la deshidratación, pasar las muestras de abdómenes a un tubo o un vial con alcohol al 70% para su preservación previo a la extracción de los genitalia.
7. Sacar brevemente el abdomen del alcohol al 70% y secarlo con papel secante (sanita, toallita etc.).
8. Tomar un portaobjetos y colocar una gota de glicerol en el centro. Alternativamente se puede colocar una gota de agua destilada en una caja Petri.
9. Tomar el abdomen con una aguja de disección (puede ser una aguja para insulina) y colocarlo en la gota de glicerol (o de agua).
10. Colocar el portaobjetos bajo un microscopio estereoscópico y con la ayuda de agujas de disección finas abrir el abdomen y extraer las partes de

los genitalia que se encuentran en la parte posterior del abdomen. Este proceso hacerlo dentro de la gota de glicerol (o de agua), para evitar que accidentalmente salten las pequeñas partes durante el proceso de manipulación.

11. Con la ayuda de agujas de disección finas, separar los residuos de grasa de las partes de los genitalia para que queden limpias.

12. Una vez que están separadas las partes, mudar los genitalia, de la gota de glicerina a un portaobjetos que contenga una gota de Bálsamo de Canadá o glicerol. Para el caso de machos de *Dendroctonus* lo más importante es montar la varilla seminal.

13. Una vez que se han quedado montadas las partes de los genitalia, cubrir la gota de Bálsamo de Canadá (o glicerol) con un cubreobjetos.

14. Secar la muestra en algún horno o plancha caliente.

15. Sellar el montaje con esmalte para uñas.

16. Observar los genitalia y utilizar referencias ilustradas para determinar la especie.

Comité Editorial del CEPAB

Dr. Alfonso Peña Ramos
Ing. José Luis Ramos González
Dr. José Saúl Padilla Ramírez
M.C. Luis Martín Macías Valdez
Dra. Mercedes Borja Bravo
Dra. Dolores Briones Reyes
Dr. Víctor Manuel Rodríguez Moreno

Edición

Ing. José Luis Ramos González

Diseño y fotografía

Dr. Guillermo Sánchez Martínez

Código INIFAP

MX-0-310606-52-02-10-09-74

Esta publicación se terminó de imprimir en mes de noviembre de 2017, en la
imprenta Carmona Impresores, S. A. de C. V.
Boulevard Paseo del Sol 115, Colonia Jardines del Sol,
C.P. 27014
Torreón, Coah., México.

Su tiraje consta de 500 ejemplares.

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria,
 Centros de Investigación Regional y
 Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

Campo Experimental Pabellón

Dr. Alfonso Peña Ramos Director de Coordinación y Vinculación

Personal investigador

Dra. Alma Delia Báez González Agrometeorología y Modelaje
M.I.T.C. Mario Primitivo Narváez Mendoza Agrometeorología y Modelaje
Ing. José Luis Ramos González Agrometeorología y Modelaje
Dr. Víctor Manuel Rodríguez Moreno Agrometeorología y Modelaje
Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
Dr. José Saúl Padilla Ramírez Frutales
Dr. Manuel Antonio Galindo Reyes Frutales
M.C. Luis Martín Macías Valdez Hortalizas
M.C. Luis Humberto Maciel Pérez Ingeniería de Riego
Dra. Dolores Briones Reyes Maíz
M. Sc. Arturo Cruz Vázquez Mecanización
Ing. Raúl Vidal García Hernández Mecanización
M.C. Francisco Garibaldi Márquez..... Mecanización
M.C. Ernesto Martínez Reyes Mecanización
M.C. Ernesto González Gaona Sanidad Forestal y Agrícola
Dr. Guillermo Sánchez Martínez Sanidad Forestal y Agrícola
M.C. Candelario Serrano Gómez Sanidad Forestal y Agrícola
M.C. Erick Baltazar Brenes Socioeconomía
Dra. Mercedes Borja Bravo Socioeconomía
Dr. Luis Reyes Muro Socioeconomía

www.inifap.gob.mx

En este folleto los autores desarrollan el tema sobre el uso de semioquímicos, desde un enfoque de manejo integral de insectos descortezadores de coníferas, los cuales representan el grupo de insectos de mayor importancia ecológica y económica en los bosques de clima templado de México, así como de otros países ubicados en el hemisferio norte. Los semioquímicos son compuestos volátiles orgánicos que funcionan como señales de comunicación para ciertos organismos entre los cuales se encuentran los insectos. Estos compuestos representan tecnología limpia que sirve para el trapeo y la prevención de los ataques de ciertas especies. La información que se proporciona en este documento ayuda al lector a comprender las bases científicas sobre las que se fundamenta el desarrollo de compuestos semioquímicos sintéticos, los cuales cada vez tienen más aplicación en los bosques de México. Basados en la revisión de la literatura científica y en la experiencia propia adquirida durante la conducción de experimentos durante varios años, los autores dan recomendaciones para la elección y uso adecuado de compuestos atrayentes y antiagregantes para especies de insectos descortezadores tales como *Dendroctonus frontalis*, *D. mexicanus*, *D. brevicornis*, *D. adjunctus* y *D. pseudotsugae*.