

RESPUESTA DE *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) A DOS ISÓMEROS ÓPTICOS DE VERBENONA

RESPONSE OF *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) TO TWO OPTICAL ISOMERS OF VERBENONE

Vicente Díaz-Núñez¹, Guillermo Sánchez-Martínez² y Nancy E. Gillette³

¹Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida Universidad 940, Colonia Primo Verdad, 20100, Aguascalientes, Aguascalientes. (vdiaz_ing@yahoo.com.mx). ²INIFAP-CIRNOC Campo Experimental Pabellón, Km. 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas, 20660, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. (sanchezm.guillermo@inifap.gob.mx). ³Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, Albany, CA 94710. (ngillette@fs.fed.us)

RESUMEN

Dada la necesidad de disminuir el uso de insecticidas en ambientes naturales, en este estudio se investigó la efectividad de dos isómeros ópticos de la verbenona (4, 6, 6-trimethylbicyclo [3.1.1] hepto-3-en-e-1) como interruptores del ataque de *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Para ello se establecieron dos experimentos en la Sierra Fría de Aguascalientes, México. El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos: 1) frontalina+alfa pineno (testigo), 2) frontalina+alfa pineno+(+) verbenona y 3) frontalina+alfa pineno+(-) verbenona, con seis repeticiones por tratamiento. Las feromonas se colocaron sobre trampas de embudo Lindgren de 12 unidades. Las unidades experimentales fueron trampas individuales, que se instalaron formando una red de 70×70 m (18 trampas). La variable de respuesta fue el número total de insectos descortezadores (*D. mexicanus*) capturados por tratamiento. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). En ambos experimentos hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). La frontalina+alfa-pineno atrajo a *D. mexicanus* en forma significativa, pero ambos isómeros de la verbenona tuvieron el mismo efecto antiagregante para esta especie.

Palabras clave: *Dendroctonus mexicanus*, descortezadores, feromonas, semioquímicos.

INTRODUCCIÓN

Los insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) son las principales plagas de los bosques de coníferas. Anualmente miles de árboles mueren por ataques de estos insectos (Miller y Borden, 2000; Gillette *et al.*, 2001; Holsten *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2003). Para controlar las infestaciones, tradicionalmente se han utilizado técnicas silvícolas

ABSTRACT

Given the need of diminishing the use of pesticides in natural environments, in this research it was investigated the effectivity of two optical isomers of verbenone (4, 6, 6-trimethylbicyclo [3.1.1] hepto-3-en-e-1) as controls of the attack of *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Two experiments were established in the Sierra Fría, in Aguascalientes, México. The experimental design was completely randomized with three treatments: 1) frontalin+alpha-pinene (control), 2) frontalin+alpha-pinene+(+) verbenone and 3) frontalin+alpha-pinene+(-) verbenone, with six replications per treatment. The pheromones were placed on Lindgren funnel traps of 12 units. The experimental units were individual traps which were installed forming a grid of 70×70 m (18 traps). The response variable was the total number of bark beetles (*D. mexicanus*) captured per treatment. Data were analyzed through an analysis of variance followed by Tukey's test ($p \leq 0.05$). In both experiments there were significant differences among treatments ($p \leq 0.05$). Frontalin+alpha-pinene attracted *D. mexicanus* in a significant way, but both isomers of verbenone had the same anti-aggregation effect for this species.

Key words: *Dendroctonus mexicanus*, bark beetles, pheromones, semiochemicals.

INTRODUCTION

Bark beetles of the genera *Dendroctonus* and *Ips* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) are the principal pests of coniferous forests. Thousands of trees die each year from attacks of these insects (Miller and Borden, 2000; Gillette *et al.*, 2001; Holsten *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2003). To control infestations, silvicultural techniques have traditionally been used, which include the felling of infested and non-infested trees. In México, the Official Norm NOM-019-RECNAT-1999 establishes the methods of control for these insects: sanitation cuts and application of insecticides approved for use

Recibido: Mayo, 2005. Aprobado: Enero, 2006.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 40: 349-354, 2006.

que incluyen el derribo de árboles infestados y no infestados. En México, la Norma Oficial NOM-019-RECNAT-1999 (DOF, 2000) establece los métodos de control para estos insectos: cortas de saneamiento y aplicación de insecticidas aprobados para su uso en el bosque. Aunque algunos de estos insecticidas son efectivos, su uso podría prohibirse y se requieren soluciones alternativas (Strom *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 2004).

En Norteamérica y Europa se han desarrollado métodos alternativos de control y manejo de insectos descortezadores usando semioquímicos (Strom *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 2004; Nord *et al.*, 1990; Islas, 1974). Para atraer especies del género *Dendroctonus* usualmente se combinan una o varias feromonas de atracción con uno o varios compuestos volátiles del hospedero. La frontalina, en combinación con el alfa-pineno, atrae a *D. frontalis* y se usa para el monitoreo de esta especie en los EE.UU (Billings, 2003; Turchin y Odendaal, 1996). La exo-brevicomina combinada con cis- y trans-verbenol (feromonas), y mirceno o 3-careno son un cebo atrayente para *D. ponderosa* (Miller y Borden, 2000). La frontalina y exo-brevicomina (feromonas), combinada con mirceno, atraen a *D. brevicomis* (Strom *et al.*, 2001; Sánchez-Martínez y Wagner, 2002). *D. valens* es atraída sólo por los compuestos de los hospederos, y para esta especie existe un atrayente comercial, que es una mezcla de (+)-alfa-pineno, (-)-beta-pineno y (+)-3-careno (PheroTech. Corp., Delta, B. C., Canadá).

Se han determinado también algunas feromonas y compuestos volátiles de árboles para interrumpir el ataque de los descortezadores. La verbenona (4, 6, 6-trimethylbicyclo [3.1.1] hepto -3-en-e-1), cuya función natural es desviar a otros descortezadores cuando el hospedero ya ha sido colonizado (Hunt *et al.*, 1989), es uno de los productos más promisorios (Payne y Billings 1989; Salom *et al.*, 1992; Gillette *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 1999).

Se ha demostrado la efectividad de la verbenona como antiagregante para *D. ponderosae*, *D. brevicomis*, *D. frontalis*, *D. valens*, *D. adjunctus*, *Ips pini* e *Ips latidens* (Sun *et al.*, 2003; Gillette *et al.*, 2001; Lindgren y Miller, 2002; Strom *et al.*, 2001). Para esta feromona existen dos isómeros: (+) verbenona y (-) verbenona, y la segunda es la más usada en Norteamérica; sin embargo, se desconoce cuál isómero podría funcionar para *D. mexicanus* y otras especies.

El uso de los semioquímicos es una alternativa para el manejo de insectos descortezadores en ciertas condiciones. Hayes *et al.* (1996) sugieren que mediante semioquímicos repelentes se puede proteger árboles individuales o controlar brotes pequeños. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los isómeros

in the forest (DOF, 2000). Although some of these insecticides are effective, their use could be prohibited and alternative solutions are needed (Strom *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 2004).

In North America and Europe, alternative methods have been developed for the control and management of bark beetles using semiochemicals (Strom *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 2004; Nord *et al.*, 1990; Islas, 1974). To attract species of the genus *Dendroctonus*, one or various attraction pheromones are usually combined with one or various volatile compounds of the host. Frontalin, combined with alpha-pinene, attracts *D. frontalis* and is used to monitor this species in the USA (Billings, 2003; Turchin and Odendaal, 1996). Exo-brevicomin combined with cis- and trans-verbenol (pheromones), and myrcene or 3-carene are an attractant bait for *D. ponderosa* (Miller and Borden, 2000). Frontalin and exo-brevicomin (pheromones), combined with myrcene, attract *D. brevicomis* (Strom *et al.*, 2001; Sánchez-Martínez and Wagner, 2002). *D. valens* is attracted only by the compounds of the hosts, and for this species there is a commercial lure, which is a mixture of (+)-alpha-pinene, (-)-beta-pinene and (+)-3-carene (PheroTech. Corp., Delta, B. C., Canada).

Some pheromones and host volatiles have been determined as well for interrupting the attack of bark beetles. Verbenone (4, 6, 6-trimethylbicyclo [3.1.1] hept -3-en-e-1), whose natural function is to deviate other bark beetles when the host has already been colonized (Hunt *et al.*, 1989), is one of the most promising products (Payne and Billings, 1989; Salom *et al.*, 1992; Gillette *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 1999).

The effectiveness of verbenone has been demonstrated as an anti-aggregation agent for *D. ponderosae*, *D. brevicomis*, *D. frontalis*, *D. valens*, *D. adjunctus*, *Ips pini* and *Ips latidens* (Sun *et al.*, 2003; Gillette *et al.*, 2001; Lindgren and Miller, 2002; Strom *et al.*, 2001). There are two isomers for this pheromone: (+) verbenone and (-) verbenone, and the latter is the most frequently used in North America; however, it is not known which isomer could function for *D. mexicanus* and other species.

To use semiochemicals is an alternative for the management of bark beetles under certain conditions. Hayes *et al.* (1996) suggest that through the use of repellent semiochemicals, individual trees can be protected or small outbreaks can be controlled. The objective of the present study was to evaluate the effect of the isomers (+) and (-) verbenone on *D. mexicanus* under the forest conditions of the Sierra Fría, Aguascalientes, according to the hypothesis that at least one of the two isomers has an anti-aggregation effect on this species.

(+) y (–) de verbenona sobre *D. mexicanus* en las condiciones de bosque propias de la Sierra Fría de Aguascalientes, de acuerdo con la hipótesis de que al menos uno de los dos isómeros ejerce un efecto antiagregante hacia esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El área de estudio es un Área Natural Protegida estatal (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 1994) cuya vegetación, en los sitios con exposición norte y alta pendiente, está compuesta de poblaciones de pino (*Pinus* spp.) y asociaciones de pino-encino y encino-pino. La población de pino como comunidad pura se localiza en las barrancas, mientras que las poblaciones de encino (*Quercus* spp.) están en las zonas con poca pendiente o exposición zenital (Siqueiros, 1989). Entre 2001 y 2002 se registraron poco más de 50 brotes de *D. mexicanus* en la Sierra Fría, propiciando el corte de más de 10 000 árboles (Asociación Sierra Fría, 2002). Durante 2003 y 2004, las poblaciones de *D. mexicanus* estuvieron en niveles endémicos, registrándose ataques muy aislados e incipientes.

Establecimiento de los experimentos

Se condujeron dos experimentos de campo. El primero, del 12 de agosto al 17 de septiembre de 2003 en el predio La Pinzión (22° 12' 23" N y 102° 35' 23" O) a una altitud de 2464 m. Las principales especies arbóreas en este sitio son *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., *Juniperus deppeana* Steud., *Quercus potosina* Trel., *Quercus laeta* Liemb., *Quercus eduardii* Trel., *Quercus rugosa* Nee. y *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y seis repeticiones (Cuadro 1). Cada unidad experimental estuvo representada por una trampa multi-embudo Lindgren®, de 12 unidades (PheroTech. Delta B. C., Canadá). Los productos experimentales se colocaron en la parte media de las trampas distribuidas a lo largo del rodal, en dos hileras perpendiculares a la pendiente, con una separación de 70 m entre ellas. Los tratamientos se distribuyeron de manera aleatoria para evitar el efecto causado por las condiciones de sitio, como densidad de la vegetación y composición de especies arbóreas.

Las trampas se colgaron de ramas de árboles no hospederos de *Dendroctonus*, para evitar una posible infestación por los descortezadores. El contenedor de cada trampa quedó a una altura media de 1.60 m sobre el suelo. Dentro de cada contenedor se agregó una banda plástica de insecticida diclorvos (Vaportape II Strip®) (DDVP, ERCON Environmental), evitando que los depredadores naturales atraídos a las trampas (coleópteros de las familias Trogositidae y Cleridae) consumieran a los descortezadores.

El segundo experimento se desarrolló del 15 de diciembre de 2004 al 15 de febrero de 2005 en el predio La Araña (22° 12' 59" N y 102° 38' 09" O) a una altitud de 2660 m. La comunidad arbórea está compuesta por *P. teocote* Schl. & Cham. y *Quercus* spp., principalmente. En menor proporción se encuentra *P.*

MATERIALS AND METHODS

Zone of study

The area of study is a state Protected Natural Area (Government of the State of Aguascalientes, 1994), whose vegetation, in sites with northern aspect and high slope, is comprised of pine populations (*Pinus* spp.) and associations of pine-oak and oak-pine trees. The pine population as a pure community is located in the ravines, whereas the oak populations (*Quercus* spp.) are in the zones with little slope or zenithal exposure (Siqueiros, 1989). Between 2001 and 2002, over 50 outbreaks of *D. mexicanus* were registered in the Sierra Fría, causing the cutting of more than 10 000 trees (Asociación Sierra Fría, 2002). During 2003 and 2004, the populations of *D. mexicanus* were at endemic levels, registering very isolated and incipient attacks.

Establishment of the experiments

Two field experiments were carried out. The first took place from August 12 to September 17 of 2003 in the La Pinzión site (22° 12' 23" N and 102° 35' 23" W) at an altitude of 2464 m. The principal arboreal species in this site are *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., *Juniperus deppeana* Steud., *Quercus potosina* Trel., *Quercus laeta* Liemb., *Quercus eduardii* Trel., *Quercus rugosa* Nee. and *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. A completely randomized design was used with three treatments and six replicates (Table 1). Each experimental unit was represented by a Lindgren® multi-funnel trap, of 12 units (PheroTech. Delta B.C., Canada). The experimental products were placed in the middle part of the traps distributed along the stand, in two rows perpendicular to the slope, with a separation of 70 m between traps. The treatments were randomly distributed in order to avoid the effect caused by the conditions of the site, such as vegetation density and composition of tree species.

The traps were hung from the branches of non-host trees of *Dendroctonus*, to avoid a possible infestation of bark beetles. The container of each trap was placed at a mean height of 1.60 m above the ground. A plastic band of diclorvos insecticide (Vaportape II Strip®) (DDVP, ERCON Environmental) was placed in each container, to

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el experimento de isómeros de verbenona.

Table 1. Treatments evaluated in the experiment of verbenone isomers.

Tratamiento	Función
Frontalina [†] + alfa-pineno [‡]	Atrayentes
Frontalina + alfa-pineno + (+) Verbenona [§]	Atrayente + antiagregante
Frontalina + alfa-pineno + (–) Verbenona [¶]	Atrayente + antiagregante

[†] La dosis de Frontalina fue 1-10 mg d⁻¹.

[‡] Alfa-pineno tuvo una dosis > 100 mg d⁻¹.

[§] La (+) verbenona tuvo una dosis de 1-10 mg d⁻¹.

[¶] La (–) verbenona tuvo una dosis de 1-10 mg d⁻¹.

Tasa de liberación determinada por PheroTech.

duranguensis f. *quinquefoliata* Mtz. y *P. leiophylla*. Se aplicó el mismo diseño experimental, tratamientos, repeticiones y esquema de colocación de trampas que en el primer experimento, con la variante de que los contenedores de las trampas no tenían la banda plástica de insecticida.

Recolección de insectos

Las trampas se revisaron semanal o quincenalmente. Los insectos capturados en las trampas se recolectaron y colocaron en bolsas Zip-Lock, y se almacenaron en frascos con alcohol a 70%. Las especies de descortezadores se contaron en laboratorio y se identificaron usando las claves taxonómicas de Wood (1982) y la descripción de Cibrián *et al.* (1995). Los especímenes se depositaron en la colección entomológica del Campo Experimental Pabellón, INIFAP, en Pabellón de Arteaga, Ags.

Análisis estadístico

Se evaluó el efecto anti-agregante de los isómeros de verbenona utilizando como variable de respuesta el número de insectos descortezadores (*D. mexicanus*) capturados en las trampas. Se hizo un análisis de varianza (Steel y Torrie, 1980) separado para cada experimento, usando el programa Statística® V. 6. Para el análisis los datos fueron transformados a log ($y+1$), aunque en los resultados se reportan las medias obtenidas de los valores originales. Luego se realizó la prueba de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer experimento se capturaron 118 especímenes de *D. mexicanus*, cuatro *D. valens*, dos *Ips mexicanus*, 30 *Enoclerus* spp. y uno de *Temnochilla* sp. Los tratamientos que usaron frontalina con verbenona capturaron un número significativamente menor ($p \leq 0.002$) de descortezadores (*D. mexicanus*) que el tratamiento de frontalina+alfa-pineno (Cuadro 2).

Resultados similares se obtuvieron en el segundo experimento, donde se capturó un número significativamente mayor ($p \leq 0.003$) de descortezadores (*D. mexicanus*) con la frontalina+alfa-pineno que en los dos tratamientos restantes (Cuadro 2). En este experimento

prevent the natural predators attracted to the traps (coleoptera of the families Trogositidae and Cleridae) from consuming the beetles.

The second experiment was developed from December 15 of 2004 to February 15 of 2005 in the La Araña site (22° 12' 59" N and 102° 38' 09" W) at an altitude of 2660 m. The tree community is mainly comprised of *P. tecote* Schl. & Cham. and *Quercus* spp. *Pinus duranguensis* f. *quinquefoliata* Mtz. and *P. leiophylla* are found in smaller proportions. The same experimental design, treatments, replicates and trap placement design were applied as in the first experiment, with the variant that the trap containers did not have the plastic band of insecticide.

Collection of insects

The traps were checked weekly or every other week. The insects captured in the traps were collected and placed in Zip-Lock bags, and stored in jars with alcohol at 70%. The species of bark beetles were counted in the laboratory and were identified using Wood (1982) taxonomic keys and the description of Cibrián *et al.* (1995). The specimens were deposited in the entomological collection of the Campo Experimental Pabellón, INIFAP, in Pabellón de Arteaga, Ags.

Statistical analysis

The anti-aggregative effect of the verbenone isomers was evaluated by using the number of bark beetles (*D. mexicanus*) captured in the traps as response variable. A separate analysis of variance (ANOVA) was made (Steel and Torrie, 1980) for each experiment, using the program Statística® V. 6. For the analysis, the data were transformed to log ($y+1$), although in the results the means obtained from the original values are reported. Later, the comparison of means test was made (Tukey, $p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

In the first experiment, 118 specimens of *D. mexicanus* were captured, four of *D. valens*, two of *Ips mexicanus*, 30 of *Enoclerus* spp. and one of *Temnochilla* sp. Treatments that used frontaline with verbenone captured a significantly lower number ($p \leq 0.002$) of bark beetles (*D. mexicanus*) than the treatment that contained frontaline+alpha-pinene (Table 2).

Cuadro 2. Valores promedio del número de *D. mexicanus* obtenidos en los experimentos en la Sierra Fría, Aguascalientes, México.
Table 2. Average values of the number of *D. mexicanus* obtained in the experiments in the Sierra Fría, Aguascalientes, México.

Experimento	Tratamiento	Medias de descortezadores capturados $\pm$ EE
1	Frontalina+a-pineno	11.66 $\pm$ 1.75 a
	Frontalina+a-pineno+(+) verbenona	2.66 $\pm$ 0.76 b
	Frontalina+a-pineno+(-) verbenona	5.33 $\pm$ 1.17 b
2	Frontalina+a-pineno	5.33 $\pm$ 0.88 a
	Frontalina+a-pineno+(+) verbenona	1.33 $\pm$ 0.42 b
	Frontalina+a-pineno+(-) verbenona	2.16 $\pm$ 0.83 b

a, b: Tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes, ($p \leq 0.05$). EE: error estándar.

se capturaron 53 *D. mexicanus*, seis *I. mexicanus* y no se capturó a *D. valens* ni depredadores de las familias Cleridae o Trogositidae.

El mayor número de *D. mexicanus* capturados con el tratamiento frontalina+alfa-pineno puede explicarse por que pertenece al mismo grupo biológico y taxonómico que *D. frontalis* (Wood, 1963; Kelley y Farrel, 1998) el cual es atraído por la frontalina (Kinzer *et al.*, 1969), sobre todo cuando se sinergiza con la adición de alfa-pineno (Renwick y Vité, 1970). La reducción en el número de descortezadores capturados en los tratamientos cuyos componentes fueron isómeros de la verbenona, demuestra el efecto anti-agregatorio de esta feromona sobre *D. mexicanus*. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Lindgren y Miller (2002), Gillette *et al.* (2001) y Sun *et al.* (2003) quienes demuestran que la verbenona es capaz de reducir en campo las capturas de varias especies de *Dendroctonus* e *Ips*.

Durante los experimentos, en 2003 y 2004, las poblaciones de *D. mexicanus* tuvieron niveles endémicos, registrándose ataques muy aislados e incipientes. En el primer experimento se observaron sólo tres árboles atacados dentro del rodal seleccionado, mientras que en el segundo no hubo infestaciones. Esta condición endémica de *D. mexicanus* fue generalizada para la Sierra Fría, Ags. Entonces, cualquiera de los isómeros de la verbenona podría utilizarse como tratamiento complementario para disminuir la agregación masiva de *D. mexicanus* en árboles susceptibles.

CONCLUSIONES

Los dos isómeros de la verbenona presentaron capturas significativamente menores que la frontalina+alfa-pineno, por lo que se podrían utilizar para el manejo de infestaciones de *D. mexicanus* en la Sierra Fría. La verbenona se usaría como un repulsor colocada estratégicamente para proteger árboles de alto valor o de pinos susceptibles de ser atacados por los descortezadores.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con recursos del proyecto CONA-FOR-CONACYT-2002-CO1-6118 otorgado al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. El Servicio Forestal de los EE.UU. apoyó el estudio con la provisión de los semioquímicos evaluados. Se agradece la participación de Ernesto González Gaona y Rafael Hernández A. por su apoyo en los trabajos de campo. A Sergio Soriano Vallés y a Catarino Perales Segovia por la revisión crítica del documento. A los Sres. Juan Manuel de Alba O. y Gustavo Lomelín García por facilitar el acceso a los predios donde se realizaron los trabajos.

Similar results were obtained in the second experiment, where a significantly higher ($p \leq 0.003$) number of bark beetles (*D. mexicanus*) was captured with the frontalina+alpha-pinene treatment than with the other two treatments (Table 2). In this experiment, 53 *D. mexicanus* were captured, six *I. mexicanus*, and no *D. valens* nor predators of the families Cleridae or Trogositidae were captured.

The greater number of *D. mexicanus* captured with the treatment frontalina+alpha-pinene can be explained because this species belongs to the same biological and taxonomical group as *D. frontalis* (Wood, 1963; Kelley and Farrel, 1998) which is attracted to the frontalina (Kinzer *et al.*, 1969), especially when it is synergized with the addition of alpha-pinene (Renwick and Vité, 1970). The reduction in the number of bark beetles captured with the verbenone isomers, shows the anti-aggregative effect of this pheromone on *D. mexicanus*. These results concur with those obtained by Lindgren and Miller (2002), Gillette *et al.* (2001) and Sun *et al.* (2003), who show that verbenone is capable of reducing the captures of various species of *Dendroctonus* and *Ips* in field conditions.

During the experiments, in 2003 and 2004, the populations of *D. mexicanus* were at endemic levels, registering very isolated and incipient attacks. In the first experiment only three attacked trees were observed within the selected stand, whereas in the second there were no infestations. This endemic condition of *D. mexicanus* was generalized for the Sierra Fría, Ags. Therefore, any of the isomers of verbenone could be used as complementary treatment to reduce the massive clustering of *D. mexicanus* in susceptible trees.

CONCLUSIONS

The two isomers of verbenone presented significantly lower captures than the frontalina+alpha-pinene, therefore they could be used for the management of infestations of *D. mexicanus* in the Sierra Fría. Verbenone would be used as a repellent placed strategically to protect the trees of high value or pines susceptible to attacks of bark beetles.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

Asociación Sierra Fría (A. S. F.). 2002. Situación contra la lucha del descortezador del pino (*Dendroctonus* spp.) en la Sierra Fría, Aguascalientes (Informe sometido a la embajada estadounidense en México). 18 p.

- Billings, R. F. 2003. Southern Pine Beetle South- Wide Trend Predictions for 2004. <http://texasforestservicetamu.edu/>. Febrero 28 de 2005.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yates III, y J.E. Flores L. 1995. Insectos Forestales de México/Forest Insects of Mexico. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 453 p.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2000. Normas Oficiales Mexicanas. <http://www.semarnat.gob.mx/dof/>. Consultado en diciembre, 2000.
- Gillette, N., D. R. Owen, and J. H. Stein. 2001. Interruption of semiochemical-mediated attraction of *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Scolytidae) and selected nontarget insects by verbenone. *Environ. Entomol.* 30: 837-841.
- Gobierno del Estado de Aguascalientes. 1994. Decreto Número 88. Declaración del Área Natural Protegida Sierra Fría, como Zona Sujeta a Conservación Ecológica. Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado. Tomo LVII (5): 1-4.
- Hayes, J. L., J. R. Meeker, J. L. Foltz, and B. L. Strom. 1996. Suppression of bark beetles and protection of pines in the urban environment: a case study. *Journal of Arboriculture* 22: 67-74.
- Holsten, E. H., H. Webb, P. J. Shea, and R. Werner. 2002. Release rate of Methylcyclohexenone and verbenone from bubble cap and bead releasers under field conditions suitable for the management of bark beetles in California, Oregon and Alaska. PNW-RP-544. Portland, OR. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 21 p.
- Hunt, D. W. A., J. H. Borden, B. S. Lindgren, and G. Gries. 1989. The role of autooxidation of alpha-pinene in the production of pheromones of *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Can. J. Forest Res.* 19: 1275-1282.
- Islas S., F. 1974. Observaciones sobre la biología y el combate de los escarabajos descortezadores de los pinos *Dendroctonus adjunctus* Blf. y *D. mexicanus* Hopk. en algunas regiones del Estado de México. Boletín Técnico Núm. 40. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 35 p.
- Kelley, S. T., and B. D. Farrell. 1998. Is specialization a dead end? The phylogeny of host use in *Dendroctonus* bark beetles (Scolytidae). *Evolution* 52: 1731-1743.
- Kinzer, G. W., A. F. Fentiman Jr., T. F. Page Jr., R. L. Foltz, J. P. Vité, and G. B. Pitman. 1969. Bark beetle attractants: identification, synthesis and field bioassay of a new compound isolated from *Dendroctonus*. *Nature* 221: 477-478.
- Lindgren, B. S., and D. R. Miller. 2002. Effect of verbenone on five species of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) in Lodgepole Pine Forests. *Environ. Entomol.* 31: 759-765.
- Miller, D. R., and J. H. Borden. 2000. Dose-dependent and species-specific responses of pine bark-beetles (Coleoptera: Scolytidae) to monoterpenes in association with pheromones. *Can. Entomol.* 132: 183-195.
- Nord, J. C., F. L. Hastings, and A. S. Jones. 1990. Field tests of pine oil as a repellent for the Southern Pine Beetle. USDA Forest Service. Southern Forest Experiment Station, Research note SE-355, p. 8.
- Payne, T. L., and R. F. Billings. 1989. Evaluation of (S)-verbenone applications for suppressing southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) infestations. *J. Econ. Entomol.* 82: 1702-1708.
- Renwick, J. A. A., and J. P. Vité. 1970. Systems of chemical communications in *Dendroctonus*. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 24: 283-292.
- Salom, S. M., R. F. Billings, W. W. Upton, M. J. Dalusky, D. M. Grossman, T. L. Payne, C. W. Berisford, and T. N. Shaver. 1992. Effect of verbenone enantiomers and racemic endo-brevicomin on response of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) attractant baited traps. *J. Can. Forestry* 22: 925-931.
- Sánchez-Martínez, G., and M. R. Wagner. 2002. Bark beetle community structure under four ponderosa pine forest stand conditions in northern Arizona. *Forest Ecol. Manag.* 170: 145-160.
- Siqueiros D., M. E. 1989. Coníferas de Aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 67 p.
- Steel, R. D., and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics, 2nd ed. McGraw-Hill, New York. 481 p.
- Strom, B. L., L. M. Roton, R. A. Goyer, and J. R. Meeker. 1999. Visual and semiochemical disruption of host finding in the southern pine beetle. *Ecol. Appl.* 9: 1028-1038.
- Strom, B. L., R. A. Goyer, and P. J. Shea. 2001. Visual and olfactory disruption of orientation by the western pine beetle to attractant-baited traps. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 100: 63-67.
- Strom, B. L., S. R. Clarke, and P. J. Shea. 2004. Efficacy of 4-Allylanisole-based products for protecting individual loblolly pines from *Dendroctonus frontalis* Zimmerman (Coleoptera: Scolytidae). *Can. J. Forest Res.* 34: 659-665.
- Sun, J., N. E. Gillette, Z. Miao, L. Kang, Z. Zhang, D. R. Owen, and J. D. Stein. 2003. Verbenone interrupts attraction to host volatiles and reduce attack on *Pinus tabulaeformis* (Pinaceae) by *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Scolytidae) in the People's Republic of China. *Can. Entomol.* 135: 721-732.
- Turchin, P., and F. J. Odendaal. 1996. Measuring the effective sampling area of a pheromone trap for monitoring population density of Southern Pine Beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environ. Entomol.* 25: 582-588.
- Wood, S. L. 1963. A revision of bark beetle genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae). *Great Basin Naturalist Memoirs* 23: 1-117.
- Wood, S. L. 1982. The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae). A taxonomic monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs* 6: 1-1359.