



Artículo / Article

Insecticidas sistémicos para el control de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 en El Nevado de Toluca

Systemic insecticides for *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 control in *Nevado de Toluca*

Emmanuel Gochez-López¹, Víctor Javier Arriola-Padilla², Alfredo Perea-Alcalá¹,
José Francisco Reséndiz-Martínez² y Alejandro D. Camacho¹

Resumen

Las especies del género *Dendroctonus* constituyen una de las principales plagas que afectan los árboles de ecosistemas templados. Actualmente, su control y manejo están regulados en la NOM-019-SEMARNAT-2006; sin embargo lo que en ella se establece, puede ser un importante factor de impacto en las áreas naturales protegidas. Este trabajo consiste en la búsqueda de opciones para manejar plagas de descortezadores que atacan coníferas en dichas zonas, y para ello se probaron 13 tratamientos con abamectina, acefate, imidacloprid y benzoato de emamectina, cada uno a tres concentraciones y agua como testigo. El insecticida se aplicó mediante el sistema de inyección a presión *Injecthor*® en individuos de *Pinus hartwegii* infestados por *Dendroctonus adjunctus* en el Parque Nacional Nevado de Toluca. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro réplicas. Un mes y cinco meses después de las inyecciones, se tomaron tres muestras, tanto de corteza como de floema con tamaño de 100 cm² árbol⁻¹ tratado y se registraron los datos del desarrollo de galerías y mortalidad de insectos. Los tratamientos que resultaron ser más efectivos para el control del *D. adjunctus* fueron acefate 12 %, benzoato de emamectina 2 % y abamectina 0.3 %, en ese orden. Con la presente investigación se ofrece una alternativa para el manejo del descortezador, principalmente en áreas de conservación.

Palabras Clave: Acefate, benzoato de emamectina, conservación, *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897, insecticidas, inyección de árboles.

Abstract

Members of the *Dendroctonus* genus are among the most spread pests affecting the trees of temperate ecosystems. Their control and management in Mexico are regulated by the NOM-019-SEMARNAT-2006 norm; however, this norm constitutes a risk factor in protected natural areas. In the search of pest management options for bark beetles which attack trees in the *Nevado de Toluca* Protected Area, 13 treatments using abamectin, acephate, imidacloprid and emamectin benzoate, each at three different concentrations, were tested, and a treatment with water was utilized as a control. *Pinus hartwegii* trees infested by *Dendroctonus adjunctus* were treated with the *Injecthor*® pressurized Injection System. A randomized complete block experimental design with 4 replicates was set up. One month and five months after the injections bark and phloem samples were taken (three 100 cm² tree⁻¹); gallery construction, and insect mortality data were registered. The results indicate that the most effective treatments for the control of *D. adjunctus* were acephate 12 %, emamectin benzoate 2 % and abamectin 0.3 % in that order.

Key Words: Acephate, emamectin benzoate, conservation, *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897, insecticides, tree injections.

Fecha de recepción/date of receipt: 30 de agosto de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 4 de septiembre de 2014.

¹ Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Correo-e: adcamachov@yahoo.com.mx

² Laboratorio de Entomología Forestal, Cenid-Comef, INIFAP.

Introducción

Los individuos del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytinae) constituyen una de las plagas más importantes de *Pinus* en México y en otros países (Wood, 1982), varias de sus especies son capaces de colonizar y provocar la muerte de miles de árboles cada año. Desde principios del siglo XX investigadores mexicanos y extranjeros han efectuado estudios sobre diversos aspectos de la biología, distribución y métodos de control (Herrera, 1905; Islas, 1980). No obstante, a la fecha, los daños causados por estos descortezadores no han disminuido, sino que se suman con el aumento en la frecuencia de infestaciones severas del arbolado por plantas parásitas (*Arceuthobium* spp.), probablemente, en relación con el cambio climático; lo que redundará en pronósticos negativos, hacia un aumento en la incidencia de dichos insectos.

Al respecto, la investigación y desarrollo de herramientas alternativas para el manejo de estas plagas resultan indispensables, ya que los métodos de control más empleados, incluidos en la NOM-019-SEMARNAT-2006 (DOF, 2008), han sido calificados como poco efectivos; además de tener un gran impacto en la vegetación, puesto que implican el derribo del arbolado con afectación, por lo que las cortas sanitarias se convierten en un pretexto para el aprovechamiento (Sánchez-Martínez *et al.*, 2007).

El descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897, en estado adulto, es de color café oscuro a negro; los machos miden en promedio 5.2 mm, las hembras 5.4 mm y producen una sola generación al año (Islas, 1975; Torres y Sánchez, 2005); aunque existen registros de una segunda generación (Sánchez-Martínez, 2007). Este insecto se presenta en 17 estados de la república mexicana, colonizando pinos de 16 especies en zonas con un intervalo altitudinal de 2 500 a 3 940 m (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Ortega, 2009); en donde se localizan varias zonas consideradas como Áreas Naturales Protegidas, incluido el Parque Nacional Nevado de Toluca (actualmente Área de Protección de Flora y Fauna).

El uso de insecticidas sistémicos es una alternativa para el manejo de escarabajos descortezadores, los cuales pueden ser aplicados mediante inyecciones directamente al tronco, dentro del tejido xilemático; para de ahí ser translocados por el sistema fisiológico del árbol hacia toda la planta (Rivas, 1995). Algunos trabajos de inyecciones en pinos informan un éxito limitado (Merkel y De Barr, 1971; Brown *et al.*, 1979), o bien ineficientes como el Metasystox-R contra *Dendroctonus brevicomis* LeConte, 1876 (Haverty *et al.* 1996).

Grosman *et al.* (2002) utilizaron insecticidas sistémicos solos o en combinaciones para el control de *Dyoryctria* spp. y *Leptoglossus corulcus* Say, 1832 que afectaron conos y semillas de *Pinus taeda* L.; los tratamientos se aplicaron por inyección, excepto uno que se

Introduction

The specimens of the *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytinae) genus are one of the main pests of *Pinus* in Mexico and in other countries (Wood, 1982); several species of this genus are capable of colonizing and causing the death of thousands of trees each year. From the beginning of the XXth century, Mexican and foreign researchers have performed studies on various aspects of their biology, distribution and control methods (Herrera, 1905; Islas, 1980). However, the damage caused to date by these bark beetles has not diminished but adds to the increase in the frequency of severe infestations of trees by parasitic plants (*Arceuthobium* spp.), probably related to the climate change and resulting in negative prognoses that point to a rise in the incidence of these insects.

In this respect, the research and development of alternative tools for the management of these pests are indispensable, since the most frequently used control methods included in the NOM-019-SEMARNAT-2006 norm (DOF, 2008) have been rated as scarcely effective; besides, they have a huge impact on the vegetation, as they entail the felling of affected trees, and therefore sanitary prunings become a pretext for exploitation (Sánchez-Martínez *et al.*, 2007).

In its adult stage, the *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 bark beetle has a dark brown to black color; in average, the males measure 5.2 mm, and the females, 5.4 mm, and they produce a single generation per year (Islas, 1975; Torres and Sánchez, 2005); although in some cases there has been a second generation (Sánchez-Martínez, 2007). This insect occurs in 17 states of the Mexican Republic, colonizing 16 species of pine trees in areas at an altitude range of 2 500 to 3 940 m (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Ortega, 2009), where various areas regarded as Natural Protected Areas –including the Nevado de Toluca National Park (today, a Flora and Fauna Protection Area)– are located.

The use of systemic insecticides is an alternative for the management of bark beetle; these insecticides can be injected directly into the stem –into the xylematic tissue–, and then translocated through the physiological system of the tree to the whole plant (Rivas, 1995). Some injections in pines report a limited success (Merkel and De Barr, 1971; Brown *et al.*, 1979), or a lack of effectiveness, like Metasystox-R against *Dendroctonus brevicomis* LeConte, 1876 (Haverty *et al.* 1996).

Grosman *et al.* (2002) used systemic insecticides alone or in combinations to control *Dyoryctria* spp. and *Leptoglossus corulcus* Say, 1832, which affected *Pinus taeda* L. seeds and cones; the treatments were applied via injections, with the exception of one, which was sprayed on the trees (imidacloprid and esphenvalerate). Emamectin benzoate was determined to have reduced the damage due to *Dyoryctria* by up to 94-97 %

realizó por aspersión (imidacloprid y esfenvalerato). Se determinó que el benzoato de emamectina disminuyó las afectaciones por *Dyorictria* hasta en 94-97 % durante 2 años; imidacloprid redujo el daño ocasionado por los insectos en el primer año, asimismo thiamethoxam e imidacloprid en combinación, fueron los que tuvieron mejor efectividad, ya que bajó el ataque a las semillas. Es importante mencionar que la óptima protección de conos y semillas se consiguió con inyecciones anuales. El tratamiento más eficaz involucró dos inyecciones de benzoato de emamectina combinado con thiamethoxam. El uso del insecticida por aspersión no tuvo respuesta favorable comparada con los otros tratamientos.

Grosman y Upton (2006) evaluaron la efectividad de insecticidas sistémicos para evitar el ataque de *Ips grandicollis* Eichhoff, 1868 en Texas; utilizaron el sistema de inyección *ArborjetTree IV* y observaron que el benzoato de emamectina reduce la colonización sobre árboles estresados. Pruebas en *Pinus taeda*, atacados por *D. frontalis*, en localidades de Missouri y Alabama, concluyeron que el benzoato de emamectina redujo la mortandad de *Pinus taeda*, durante los dos años de aplicación, el fipronil resultó menos efectivo (Grossman *et al.*, 2009). Este insecticida fue el mejor para reducir la mortalidad por ataque de *Dendroctonus brevicomis* sobre *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws en California (Grosman *et al.*, 2010).

Por su parte Cruz (1997) utilizó el método de inyección a baja presión de monocrotophos, al 6 % (i.a.) en agua con dosis de 1 g de i.a. por cada centímetro de diámetro normal, para el manejo del descortezador de cedro blanco *Phloeosinus baumanni* Hopkins, 1905; en la Reserva Natural Xochitla, sus resultados fueron prometedores. El acefate se ha empleado en la Ciudad de México, para el control de insectos chupadores y masticadores en pirúl (*Schinus molle* L.), Fresno (*Fraxinus excelsior* L.) y liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.). En Ixtamaxtitlán, Puebla, el daño a las semillas de *Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco fue menor aplicando acefate a 16.7 % y monocrotophos a 5.4, 10.8 y 16.2 % con el sistema Micro-Infusión™Tree I.V. (Espinoza, 2013).

En México, aunque en la práctica se han empleado insecticidas sistémicos para controlar plagas en árboles, se tienen pocos registros acerca de su efectividad. Los productos utilizados han sido Furadan (carbofurán) en individuos de pirúl atacados por la escama *Calophya rubra*, 1852 (Tuthill); Orthene (acefate) para el control de insectos chupadores, masticadores en pirúl, Fresno y liquidambar (Rivas, 1995). Franco (2001) evaluó la efectividad de dos sistemas de inyección y diferentes tratamientos para el control de *Phloeosinus tacubayae* Hopkins, 1905, el autor determinó que existe efecto positivo del insecticida bajo cualquier método de inyección a *Cupressus lindleyi* L.; el producto más efectivo fue imidacloprid inyectado con jeringa tipo Wedgle.

during 2 years; imidacloprid reduced the damage caused by the insects during the first year; furthermore, the combination of thiamethoxam and imidacloprid were the most effective, since they reduced the attacks on the seeds. It is worth mentioning that the optimal protection of the seeds and cones was obtained using annual injections. The most effective treatment involved two injections of emamectine benzoate combined with thiamethoxam. The use of spray insecticides produced no favorable response compared to other treatments.

Grosman and Upton (2006) evaluated the effectiveness of systemic insecticides to prevent attack by *Ips grandicollis* Eichhoff, 1868 in Texas; they used the *ArborjetTree IV* injection system and observed that emamectine benzoate reduces colonization in stressed trees. Tests carried out on *Pinus taeda* attacked by *D. frontalis* in localities of Missouri and Alabama concluded that emamectine benzoate reduced the mortality of *Pinus taeda* during the two years in which it was applied; fipronil turned out to be less effective (Grossman *et al.*, 2009). This insecticide was the best to reduce the mortality due to attack by *Dendroctonus brevicomis* on *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws in California (Grosman *et al.*, 2010).

For his part, Cruz (1997) used the method of low pressure injection of monocrotophos at 6 % (a.i.) in water with doses of 1 g of a.i. for every centimeter of normal diameter to manage *Phloeosinus baumanni* Hopkins, 1905, the bark beetle of white cedar; his results in the Xochitla Natural Reserve were promising. Acephate has been utilized in Mexico City to control sucking and chewing insects in the Peruvian peppertree (*Schinus molle* L.), ash (*Fraxinus excelsior* L.) and sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.). In Ixtamaxtitlán, Puebla, the damage to *Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco seeds diminished with the application of acephate at 16.7 % and monocrotophos at 5.4, 10.8 and 16.2 %, using the Micro-Infusion™Tree I.V. system (Espinoza, 2013).

Although the use of systemic insecticides has been practiced in Mexico to control pests in trees, there are few records of their effectiveness. The products utilized have been Furadan (carbofuran), in Peruvian peppertree individuals attacked by *Calophya rubra* Blanchard, 1852 and Orthene (acephate), for sucking and chewing insects control in the Peruvian peppertree, ash and sweetgum (Rivas, 1995). Franco (2001) evaluated the effectiveness of the two injection systems, as well as various treatments for the control of *Phloeosinus tacubayae* Hopkins, 1905; the author determined that there is a positive effect of the insecticide, using any injection method, on *Cupressus lindleyi* L.; the most effective product was imidacloprid, injected with a Wedge type needle.

The purpose of this study was to evaluate certain systemic pesticides applied by injection to control *Dendroctonus adjunctus*.



El objetivo del presente estudio fue evaluar algunos insecticidas sistémicos aplicados por inyección para el control del *Dendroctonus adjunctus*.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Se ubica en el Parque Nacional Nevado de Toluca, municipio Zinacantepec, Estado de México; localidad Santa María del Monte, parajes El Gachupín (19°06'35.27"N, 99°47'53.09"O), Agua Blanca (19°05'46.90"N, 99°48'36.20"O) y el Llano de las Pancitas (19°05'26.02"N, 99°47'43.34"O).

Durante agosto del 2013, se localizaron árboles de *Pinus hartwegii* Lindl. con síntomas de ataque reciente (grumos de resina de color blanco o rosado, de consistencia suave y follaje verde o verde-amarillento) de los cuales se extrajeron trozos de corteza para constatar la construcción de galerías de *Dendroctonus adjunctus*. Se seleccionaron árboles de porte similar, con un número semejante de ataques y se evitó que la corteza mostrara heridas o cicatrices en más de 50 % de su superficie. Se hizo el registro de las coordenadas geográficas de cada árbol con ayuda de un geoposicionador JUNO Series; asimismo se les midió el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura, se registró el color del follaje, características de los grumos y, en su caso, otro tipo de daño (presencia de muérdago, daño mecánico, etcétera).

Se utilizaron 13 tratamientos correspondientes a cuatro insecticidas sistémicos: abamectina (Agrimec® 1.8 % CE), imidacloprid (Confidor® 350 sc), benzoato de emamectina (Proclaim® 05 SG) y acefate (Orthene® ultra) a tres concentraciones y un tratamiento testigo, el cual consistió únicamente de agua (Cuadro 1). Se aplicaron 15 mL de fórmula por cada 20 cm del perímetro del árbol. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones para cada tratamiento, se emplearon un total de 52 individuos.

Los insecticidas sistémicos se aplicaron mediante el sistema de inyección a presión Injecthor®, el cual tuvo un buen desempeño durante el desarrollo de las pruebas. El experimento comprendió los meses de septiembre y octubre de 2012 y los cambios observados en los árboles se registraron un mes después, durante octubre y noviembre; además se hizo una segunda evaluación a los 5 meses: febrero y marzo de 2013.

Materials and Methods

Study area

It is located in the Nevado de Toluca National Park, in the Zinacantepec municipality, State of Mexico; it comprises the village of Santa María del Monte, and the localities El Gachupín (19°06'35.27"N, 99°47'53.09"W), Agua Blanca (19°05'46.90"N, 99°48'36.20"W) and Llano de las Pancitas (19°05'26.02"N, 99°47'43.34"W).

In August 2013, *Pinus hartwegii* Lindl. trees showing symptoms of a recent attack (soft white or pink resin lumps and green or yellow-green foliage) were located; pieces of bark were extracted from them to confirm the presence of *Dendroctonus adjunctus* galleries. Trees of similar size with a similar number of attacks and whose barks exhibited wounds or scars in less than 50 % of their surface were selected. The geographic coordinates of each tree were recorded using a JUNO Series geopositioning software; furthermore, the diameter at breast height (DBH) and the height of each tree were measured, and records were made of the color of the foliage and of the characteristics of the resin lumps and other types of damage (the presence of mistletoe, mechanical damage, etc.).

13 treatments corresponding to four systemic insecticides – abamectin (Agrimec® 1.8 % CE), imidacloprid (Confidor® 350 sc), emamectin benzoate (Proclaim® 05 SG) and acephate (Orthene® ultra) at three different concentrations- and a control treatment consisting exclusively of water were utilized (Table 1). 15 mL of formula were applied for every 20 cm of the tree's perimeter. The experimental design consisted of whole random blocks, with four repetitions for each treatment; a total of 52 individuals were used.

Systemic insecticides were applied using the Injecthor® pressure injection system, which had a good performance during the development of the tests. The experiment took place from September to October 2012, and the changes observed in the trees were recorded one month later, during October and November. In addition, a second assessment was made 5 months later, in February and March 2013.



Cuadro 1. Tratamientos aplicados para el control de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897.

Tratamiento	Ingrediente activo (i.a.)	Concentración (% de i.a.)
1	Abamectina	0.30
2	Abamectina	0.50
3	Abamectina	1.00
4	Acefate	5
5	Acefate	9
6	Acefate	12
7	Imidacloprid	3
8	Imidacloprid	5
9	Imidacloprid	8
10	Benzoato de emamectina	1
11	Benzoato de emamectina	2
12	Benzoato de emamectina	3
13	Agua	100

Table 1. Treatments applied to control *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897.

Treatment	Active ingredient (a.i.)	Concentration (% of a.i.)
1	Abamectin	0.30
2	Abamectin	0.50
3	Abamectin	1.00
4	Acephate	5
5	Acephate	9
6	Acephate	12
7	Imidacloprid	3
8	Imidacloprid	5
9	Imidacloprid	8
10	Emamectin benzoate	1
11	Emamectin benzoate	2
12	Emamectin benzoate	3
13	Water	100



La efectividad de los tratamientos se determinó en función del sistema de galerías y de la mortalidad de insectos en el periodo de estudio, para lo cual se tomaron muestras de corteza con cambium y floema de 10 x 10 cm, estas se obtuvieron con ayuda de un formón y martillo. En cada evaluación se tomaron tres muestras de corteza por árbol: una de la parte baja de la porción infestada del fuste, una de la parte media, y otra de la parte alta. La altura máxima a la cual se muestreo fue de 10 m, aproximadamente. El material se colocó en bolsas de plástico con cierre hermético y se transportó en hielera hasta el laboratorio, donde se mantuvieron en un refrigerador a 7 °C, para preservar la muestra y mantener con vida a los insectos presentes en ella.

Mediante un microscopio estereoscópico (Olympus SZ, con aumentos de 7X a 30X), se registraron el número de galerías principales y galerías larvales, su longitud; el número de orificios de entrada y de salida del descortezador, la cantidad de larvas, pupas y adultos (vivos o muertos). El número de larvas, pupas y adultos se sumaron e incluyeron en una sola categoría para los insectos vivos y en otra para los muertos. A partir de esos datos se obtuvieron los porcentajes de *Dendroctonus* muertos.

Con respecto a la posible fitotoxicidad de los insecticidas sistémicos, solo se hicieron algunas observaciones generales, debido a que el objetivo de los tratamientos fue lograr mayor mortandad de los descortezadores, ya que una vez que el insecto se ubica dentro del árbol se produce la inoculación de hongos fitopatógenos, que son, en primera instancia, los responsables de la muerte del hospedero.

Análisis de datos

Los datos referentes al número de galerías y longitud de galerías se sometieron a un proceso de detección de datos aberrantes, de acuerdo al criterio del intercuartil [$LI = Q1 - (1.5 IQR)$; $LS = Q3 + (1.5 IQR)$]. En los parámetros considerados informativos se procedió a efectuar un análisis de varianza unifactorial (ANOVA), prueba de rango múltiple de *Ryan-Einot-Gabriel-Welsch* (REGWQ). Para los datos de mortalidad de insectos por tratamiento, se calculó el porcentaje de individuos muertos y dada la abundancia de registros con valor cero se aplicó la prueba no-paramétrica de ANOVA de Rangos de *Friedman*, seguida de la prueba LSD (diferencia mínima detectable), en todos los casos $\alpha = 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico SAS v. 9. (Statistical Analysis System, 2010).

Resultados y Discusión

De los parámetros registrados, los datos de orificios de entrada y de salida no proporcionaron suficiente información para un análisis estadístico, debido a que la mayoría tuvieron valor cero. La ausencia de orificios de salida se explica a partir de la duración del ciclo de vida, el cual toma un año, o al menos 7

The effectiveness of the treatments was determined in terms of the gallery systems and the mortality rate of the insects during the study period, for which 10 X 10 cm cambium and phloem samples were drawn from the bark using a hammer and a chisel. In each evaluation, three samples were taken from the bark of each tree: one from the lower part of the infested portion of the stem; a second sample, from the middle, and a third one from the higher portion. The maximum sampling height was approximately 10 m. The materials were placed in airtight plastic bags and were transported to the laboratory in an icebox; once in the laboratory, they were kept in a refrigerator at 7 °C in order to preserve the samples and keep the insects within them alive.

The number and length of the main and larval galleries, the number of entrance/exit holes, the amount of larvae, pupae and adult insects (dead or alive) were recorded with the aid of a Olympus SZ stereoscopic microscope zoom 7X-30X. The numbers of larvae, pupae and adult insects were added and included in a single category for living insects and a separate category for dead insects. The percentages of dead *Dendroctonus* beetles were drawn from these data.

With regard to the possible phytotoxicity of systemic insecticides, only certain general observations were made, as the objective of the treatments was to achieve a greater mortality of the bark beetles, since once the insect is lodged within the tree, inoculation by phytopathogenic fungi occurs and eventually causes the host's death.

Data analysis

The data on the number and length of the galleries were subjected to a process for the detection of aberrant data, based on the [$LI = Q1 - (1.5 IQR)$; $LS = Q3 + (1.5 IQR)$] interquartile range criterion. For those parameters considered to be informative, a unifactorial variance analysis (ANOVA) and a Ryan-Einot-Gabriel-Welsch (REGWQ) multiple range test were carried out. For the data on insect mortality per treatment, the percentage of dead individuals was estimated, and, given the abundance of records with a value of zero, Friedman's non-parametric ANOVA test was applied, followed by the LSD (least significant difference) test; in every case, the SAS v. 9 statistical package was used (Statistical Analysis System, 2010).

Results and Discussion

Among the recorded parameters, the data on the entrance/exit holes did not provide enough information for a statistical analysis, as most of them had a value of zero. The absence of entrance/exit holes is accounted for by the duration of the life cycle, which takes a year, or at least 7 months, for a probable bivoltine model, which means that the cycle was not completed during the time of the experiment. On the other hand, in the infestation pattern of *D. adjunctus*, the density of

meses para un probable modelo bivoltino, lo que significa que el ciclo no se completó durante el tiempo que duró el experimento; por otro lado, en el patrón de infestación de *D. adjunctus*, la densidad de ataques sobre el tronco es relativamente baja y con frecuencia las muestras no incluyeron orificios de entrada. Por lo anterior, se excluyeron ambos parámetros del análisis.

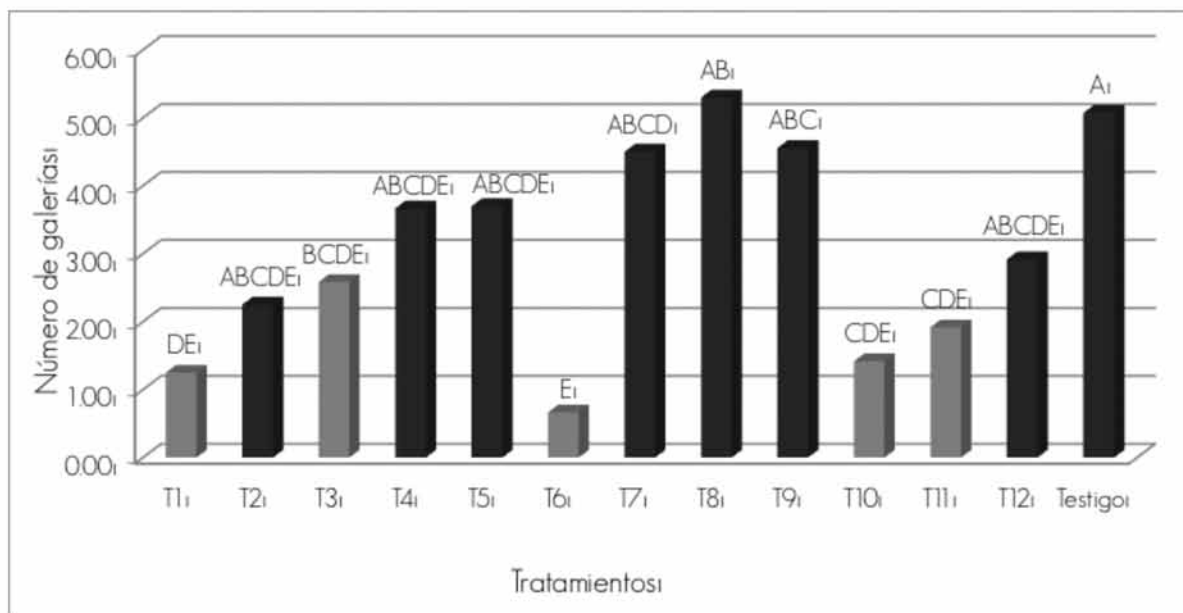
Las figuras 1, 2 y 3 muestran los resultados de la evaluación del efecto de *D. adjunctus* en árboles de *Pinus hartwegii*, al mes de ser inyectados en los datos considerados informativos.

Se observó un mayor desarrollo de los sistemas de galerías en los árboles testigo y en aquellos tratamientos con poca efectividad biológica. Se obtuvieron diferencias significativas con respecto al tratamiento testigo para el parámetro de longitud de galerías en los tratamientos T6, T11, T1, T10, T2 y T3, anotados de mayor a menor eficiencia (Figura 2), un comportamiento similar se determinó para el número de galerías (principales y larvales), con la excepción del T2 (Figura 1).

the attacks on the stem is relatively low, and the samples often included no entrance holes. Therefore, both parameters were excluded from the analysis.

The informative data of figures 1, 2 and 3 show the results of the evaluation of the effect of *D. adjunctus* on *Pinus hartwegii* trees one month after they were injected.

A greater development of the gallery systems was observed in the control trees and with those treatments that had little biological effectiveness. Significant differences were found in regard to the control treatment for the gallery length parameter in treatments T6, T11, T1, T10, T2 and T3, listed in descending order of effectiveness (Figure 2). A similar behavior was observed in regard to the number of (main and larval) galleries, with the exception of T2 (Figure 1).



Barras con la misma letra no tienen diferencia estadística significativa, $\alpha = 0.05$. En tono claro se muestran los tratamientos con diferencia significativa respecto al testigo.

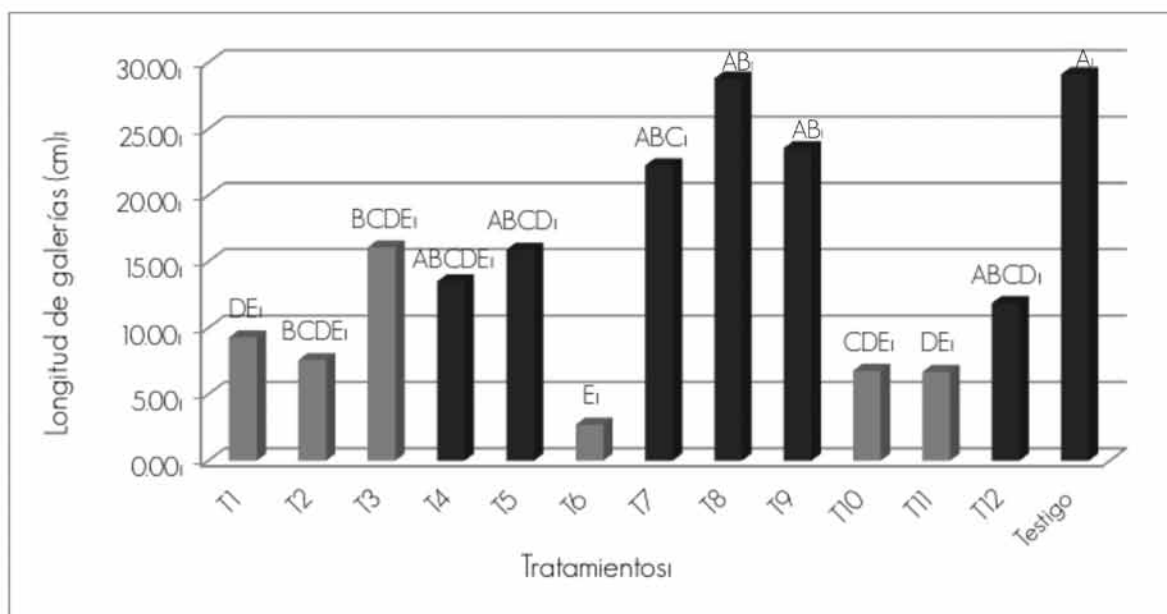
There is no statistical difference between bars with the same letter, $\alpha = 0.05$. Treatments with a significant difference with respect to the control are shown in light gray.

Figura 1. Promedio del número de galerías en 100 cm² de corteza de *Pinus hartwegii* Lindl., por tratamiento.

Figure 1. Average number of galleries in 100 cm² of *Pinus hartwegii* Lindl. bark, by treatment.

En el caso del porcentaje de insectos descortezadores muertos, no se cubren los requisitos de normalidad y homocedasticidad por lo que se utilizó Anova de rangos de Friedman, seguida de la prueba de LSD (diferencia mínima detectable) en los rangos; se tuvieron diferencias significativas en los tratamientos T12, T8 y T9, en ese orden (Figura 3), aunque estos no se muestran muy eficientes con los parámetros analizados anteriormente.

The percentages of dead bark beetles, do not meet the normality and homoscedasticity requirements; for this reason, Friedman's ANOVA test and, subsequently, the LSD (least significant difference) test were used; significant differences were obtained with treatments T12, T8 and T9, in this order (Figure 3), although these treatments did not prove to be very effective in relation to the previously analyzed parameters.



Barras con la misma letra no tienen diferencia estadística significativa, $\alpha = 0.05$. En tono claro se muestran los tratamientos con diferencia significativa respecto al testigo

There is no statistical difference between bars with the same letter, $\alpha = 0.05$. Treatments with a significant difference with respect to the control are shown in light gray.

Figura 2. Promedio de la longitud de galerías en 100 cm² de corteza de *Pinus hartwegii* Lindl., por tratamiento.

Figure 2. Average gallery length in 100 cm² of *Pinus hartwegii* Lindl. bark, by treatment.

El tratamiento T6 (acefate 12 %) fue el mejor para el control del desarrollo de galerías, seguido por el T11 (benzoato de emamectina 2 %). Los tratamientos T1 y T10 (abamectina 0.3 % y benzoato de emamectina 1 %) evidenciaron efectos significativos. Cabe mencionar que el imidacloprid no produjo un resultado favorable; sin embargo, los tratamientos T8 y T9 (imidacloprid a 5 % y 8 %) presentaron buen resultado en el porcentaje de insectos muertos, en este sentido el tratamiento T12 (benzoato de emamectina 3 %) fue el mejor (Cuadro 2).

En la segunda evaluación, cinco meses después de la inyección de insecticidas sistémicos, se perdieron por derribo de los árboles experimentales los tratamientos 8 y 9 (imidacloprid 5 % y 8 %, respectivamente), los resultados se muestran en las figuras 4, 5 y 6. Los tratamientos T2, T6, T11 y T1 resultaron eficientes con los datos de número de galerías (principales y larvales) (Figura 4). Con el parámetro de longitud de galerías, considerado el mejor indicador, se obtuvieron diferencias significativas con respecto al testigo en los tratamientos T2, T6, T10, T11, T1, T4 y T3, de mayor a menor eficiencia (Figura 5).

Para el porcentaje de insectos muertos en el segundo muestreo, nuevamente, se utilizaron pruebas no paramétricas, se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos T4, T8, T12, T5 y T6, en ese orden (Figura 6).

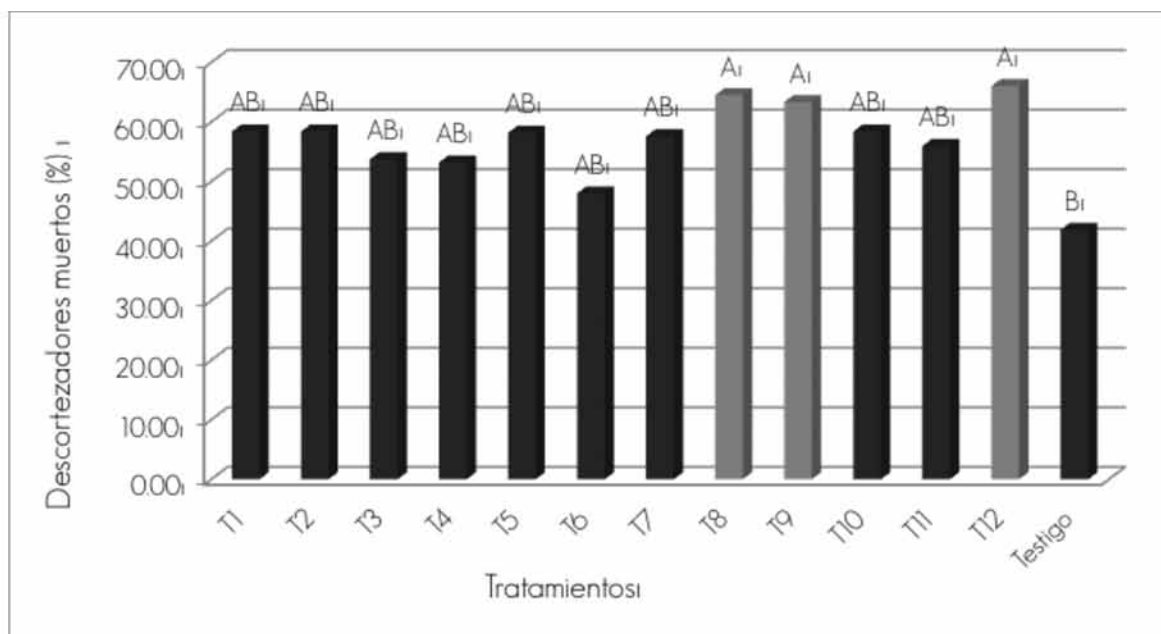
Al comparar los datos de la primera y la segunda evaluación (Cuadro 2) se observa que únicamente los tratamientos T4 y T6

Treatment T6 (acephate 12 %) was the best to control the development of galleries, followed by T11 (emamectin benzoate 2 %). Treatments T1 and T10 (abamectin 0.3 % and emamectin benzoate 1 %) proved to have significant effects. It is worth noting that imidacloprid did not produce favorable results; however, treatments T8 and T9 (imidacloprid at 5 % and 8 %) showed good results for the percentage of dead insects; in this respect, the best treatment was T12 (emamectin benzoate 3 %) (Table 2).

In the second evaluation, five months after the systemic insecticide injection, treatments 8 and 9 (imidacloprid 5 % and 8 %, respectively) were lost due to the felling of the experimental trees; the results are shown in figures 4, 5 and 6. Treatments T2, T6, T11 and T1 were effective in relation to the number of (main and larval) galleries (Figure 4). For the gallery length parameter, considered to be the best indicator, significant differences were found in relation to the control in treatments T2, T6, T10, T11, T1, T4 and T3, listed in descending order of effectiveness (Figure 5).

For the percentage of dead insects in the second sampling, non-parametric tests were again used; significant differences were found between treatments T4, T8, T12, T5 and T6, in this order (Figure 6).



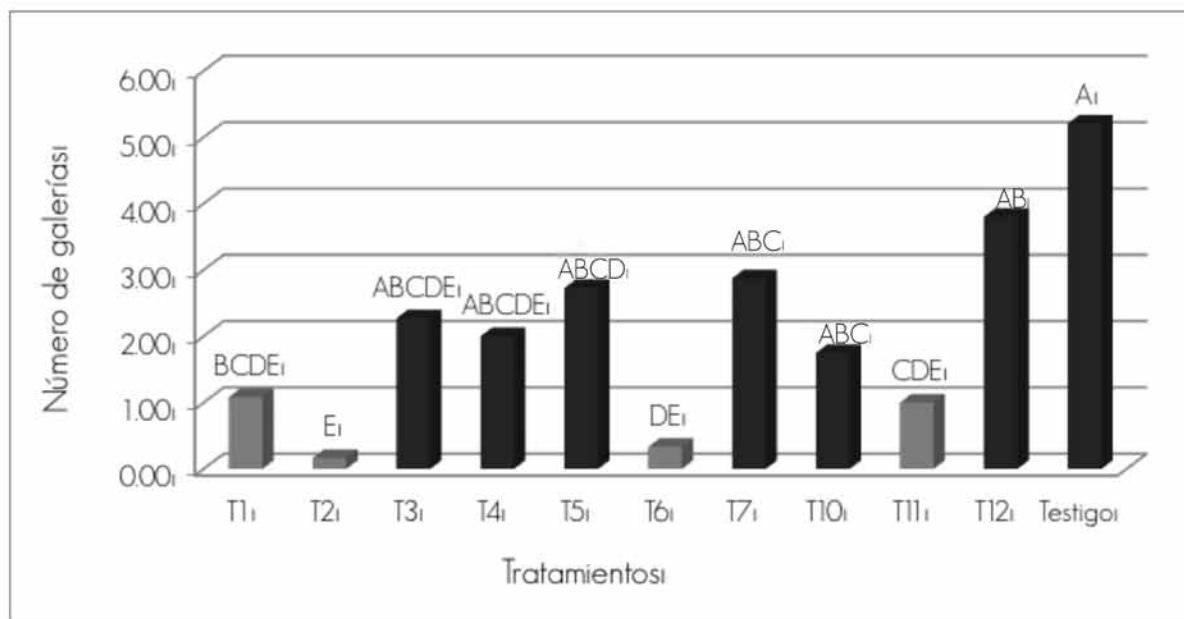


Barras con la misma letra no tienen diferencia estadística significativa, $\alpha = 0.05$. En tono claro se muestran los tratamientos con diferencia significativa respecto al testigo.

There is no statistical difference between bars with the same letter, $\alpha = 0.05$. Treatments with a significant difference with respect to the control are shown in light gray.

Figura 3. Porcentaje de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 muertos en cada tratamiento.

Figure 3. Percentage of dead *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 per treatment.

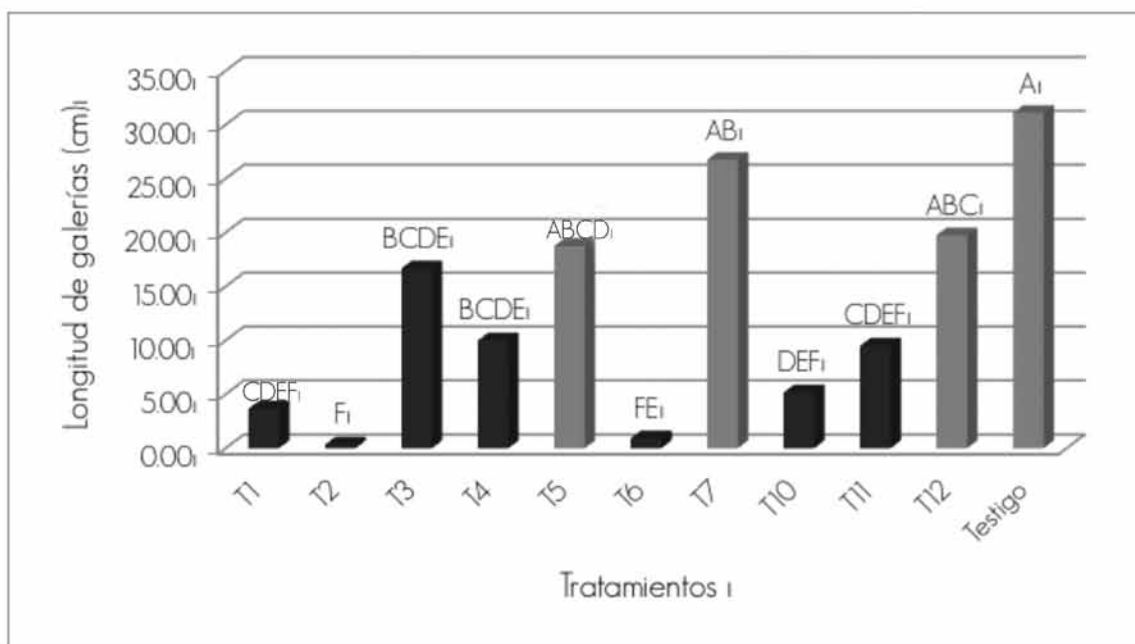


Barras con la misma letra no tienen diferencia estadística significativa, $\alpha = 0.05$. En tono claro se muestran los tratamientos con diferencia significativa respecto al testigo.

There is no statistical difference between bars with the same letter, $\alpha = 0.05$. Treatments with a significant difference with respect to the control are shown in light gray.

Figura 4. Promedio del número de galerías en 100 cm² de corteza de *Pinus hartwegii* Lindl., por tratamiento.

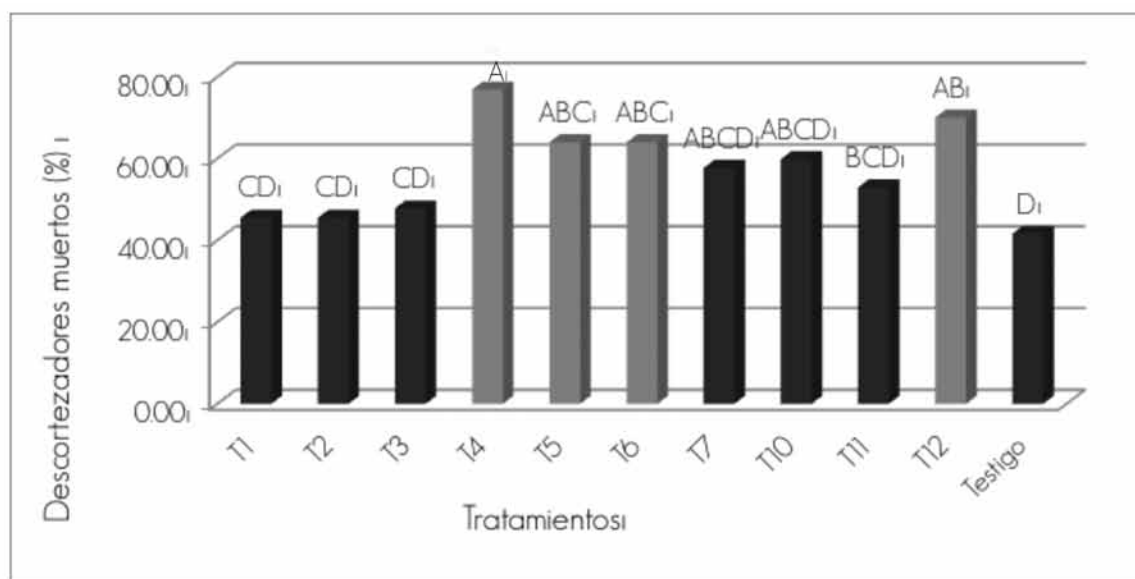
Figure 4. Average number of galleries in 100 cm² of *Pinus hartwegii* Lindl. bark, by treatment.



Barras con la misma letra no tienen diferencia estadística significativa, $\alpha = 0.05$. En tono oscuro se muestran los tratamientos con diferencia significativa respecto al testigo.

There is no statistical difference between bars with the same letter, $\alpha = 0.05$. Treatments with a significant difference with respect to the control are shown in light gray.

Figura 5. Promedio de la longitud del sistema de galerías en 100 cm² de corteza de *Pinus hartwegii* Lindl., por tratamiento.
Figure 5. Average gallery length in 100 cm² of *Pinus hartwegii* Lindl. bark, by treatment.



Barras con la misma letra no tienen diferencia estadística significativa ($\alpha = 0.05$). En tono claro se muestran los tratamientos con diferencia significativa respecto al testigo.

There is no statistical difference between bars with the same letter ($\alpha = 0.05$). Treatments with a significant difference with respect to the control are shown in light gray.

Figura 6. Porcentaje de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 muertos en cada tratamiento.
Figure 6. Percentage of *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 dead with each treatment.

(acefate 5 % y 12 %) coinciden con el resultado de la longitud de galerías y solo el T6 (acefate 12 %) fue significativamente diferente al testigo en los tres parámetros evaluados, por lo que se podría sugerir como el mejor tratamiento utilizado.

Grosman *et al.* (2010) documentan que una sola inyección de benzoato de emamectina protegió durante 3 años a individuos de *Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson de mortalidad por ataque de *D. brevicornis*, aunque no fue efectivo para el caso de *Pinus engelmannii* Carr. contra *D. rufipennis* (Kirby). Si se continúan las observaciones en los árboles tratados es probable que se reconozcan efectos de protección a mediano plazo por efecto de la inyección de insecticidas sistémicos.



A comparison between the data of the first and second evaluations (Table 2) shows that only treatments T4 and T6 (acefate 5 % 12 %) coincide as to the results for gallery length, and only T6 (acefate 12 %) was significantly different from the control in regard to the three evaluated parameters and can therefore be suggested as the best of the treatments used.

According to Grosman *et al.* (2010), a single emamectin benzoate injection protected *Pinus ponderosae* individuals from attacks by *D. brevicornis* during three years; however, it was not an effective protection for *Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson against *D. rufipennis* (Kirby). If observations continue to be carried out in the treated trees, it is likely that protection effects due to the systemic insecticide injection will be recognized in the medium term.

Cuadro 2. Resumen de las pruebas de efectividad biológica contra *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897. Comparación de resultados entre la 1ª y 2ª evaluación en el Nevado de Toluca.

Parámetro evaluado	Tratamientos significativamente diferentes al testigo. 1ª Evaluación	Tratamientos significativamente diferentes al testigo. 2ª Evaluación	Coincidencias entre la 1ª y 2ª evaluación
Longitud de galerías	T6, T11, T1, T10, T2, T3	T2, T6, T10, T11, T1, T4, T3	T6, T11, T1, T10, T2, T3
Número de galerías	T6, T11, T1, T10, T3	T2, T6, T11, T1	T6, T11, T1
Descortezadores muertos (%)	T12, T8, T9	T4, T12, T5, T6	T12, T8
Coincidencias ¹	T6, T11, T1, T10, T3	T2, T6, T11, T1, T4	T6, T11, T1
Coincidencias ²	Ninguna	T6	Ninguna

¹ Al menos en dos parámetros; ² En tres parámetros.



Table 2. Summarized evidence of biological effectiveness against *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897. A comparison between the results of the 1st and 2nd evaluations

Evaluated parameter	Treatments significantly different from the control. 1 st evaluation	Treatments significantly different from the control. 2 nd evaluation	Coincidences between the 1 st and 2 nd evaluation
Gallery length	T6, T11, T1, T10, T2, T3	T2, T6, T10, T11, T1, T4, T3	T6, T11, T1, T10, T2, T3
Number of galleries	T6, T11, T1, T10, T3	T2, T6, T11, T1	T6, T11, T1
% dead insects	T12, T8, T9	T4, T12, T5, T6	T12, T8
Coincidences (at least in 2 parameters)	T6, T11, T1, T10, T3	T2, T6, T11, T1, T4	T6, T11, T1
Coincidences (in 3 parameters)	None	T6	None

Los resultados con el benzoato de emamectina coinciden con las observaciones de Grossman y Upton (2006) y Grossman *et al.* (2009), quienes lo aplicaron, así como de fipronil en ejemplares de *Pinus taeda*, atacados por *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, 1868 e *Ips* spp. y concluyeron que las inyecciones con el primer producto redujeron la mortandad del árbol durante un periodo de dos años después de la aplicación, en cambio, el fipronil resultó menos efectivo, pero también tuvo impacto significativo sobre los descortezadores.

El sistema de inyección a presión *Injecthor*® presentó un buen desempeño durante las pruebas y permitió mantener un ritmo de trabajo viable a nivel operativo; resulta difícil dar valores precisos en cuanto al número de árboles que se pueden inyectar con este equipo, debido a la variación en diámetro y a la gran separación que existía entre los árboles experimentales, pero se considera que un equipo de dos o tres personas podría inyectar un aproximado de 50 árboles en una jornada de trabajo.

Fitotoxicidad

El establecimiento de hongos fitopatógenos (*Ceratocystis* sp.), introducidos al árbol por los insectos descortezadores, causa la destrucción de su sistema conductor lo que es evidente tomando en cuenta la decoloración del follaje y, eventualmente, la muerte del individuo. Al aplicar los insecticidas sistémicos en árboles infestados es imposible determinar si los cambios o la muerte del árbol se deben a la acción del insecticida o por efecto de los

The results of the use of emamectin benzoate coincide the observations of Grossman and Upton (2006) and Grossman *et al.* (2009), who applied this treatment and used fipronil in *Pinus taeda* specimens attacked by *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, 1868 and *Ips* spp.; they concluded that the injections with the first product reduced the mortality rates of the trees during a period of two years after it was applied; on the other hand, fipronil, though less effective, also had a significant impact on the bark beetles.

The *Injecthor*® pressure injection system performed well during the tests and allowed maintaining a viable work pace at an operational level; it is hard to give an accurate estimate of the number of trees that can be injected with a team like this, due to the variation in diameter and to the great separation existing between the experimental trees; however, it is considered that a team of two or three people may be able to inject approximately 50 trees in a work day.

Phytotoxicity

The establishment of phytopathogenic fungi (*Ceratocystis* sp.), introduced into the tree by bark beetles cause the destruction of their conductive system; this is evidenced by the discoloration of the foliage and, eventually, by the death of the individual. When systemic insecticides are applied to infested trees, it is impossible to determine whether the changes or the death of the tree are due to the insecticide or to the phytopathogenic fungi. The purpose of the applied treatments

hongos fitopatógenos. Con los tratamientos aplicados se buscó impactar la viabilidad de los escarabajos descortezadores y como consecuencia reducir o frenar la dispersión del descortezador en las siguientes generaciones.

Conclusiones

Los tratamientos que dieron mejores resultados para el control de *Dendroctonus adjunctus* sobre árboles de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Nevado de Toluca fueron los tratamiento con acefate al 12 % (Orthene® ultra), benzoato de emamectina al 2 % (PROCLAIM® 05 SG) y abamectina 0.3 % (Agrimec® 1.8 % CE).

El equipo de "Sistema de inyección *Injecthor*® para Tratamientos Fitosanitarios" resultó ser práctico y eficiente en el desarrollo de las pruebas de campo.

Agradecimientos

Agradecemos al Fondo Sectorial Conacyt-Conafor para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal el financiamiento del proyecto "Alternativas para el manejo de plagas y enfermedades forestales en áreas naturales protegidas del Eje Neovolcánico Transversal", con registro CONAFOR-COI-2010-136785, asimismo al convenio vinculado del mismo nombre entre el INIFAP-Cenid-Comef con la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, de los cuales se derivó la presente publicación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por Autor

Emmanuel Gochez-López: selección de unidades de estudio y muestreo en campo, revisión de material biológico, estructuración del manuscrito; Víctor Javier Arriola-Padilla: selección de unidades de estudio y muestreo en campo, definición del diseño experimental, determinación de dosis y productos, elaboración y revisión del manuscrito; Alfredo Perea-Alcalá: selección de unidades de estudio y muestreo en campo; José Francisco Reséndiz-Martínez: selección de unidades de estudio y muestreo en campo; Alejandro D. Camacho: trabajo de campo, determinación de dosis y productos, análisis estadísticos, revisión del manuscrito.

Referencias

- Brown, L. R., C. O. Eads, C. E. Crisp and M. Page. 1979. Control of a Jeffrey pine needle miner by spraying and trunk implantation and resultant acephate residues. *Journal of Economic Entomology* 72: 51-54.
- Cruz A., J. 1997. Evaluación del insecticida deltametrina en el control del insecto descortezador *Dendroctonusf rontalis* Zimm. en Tlaxiaco, Oaxaca. UACH. DiGfo. Chapingo, Edo. de Méx., Méx. 74 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2008. NOM-019-SEMARNAT-2006, que establece los lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores. México, D.F., México. pp. 1-16.

was to have an effect on the viability of the bark beetles and therefore to reduce or slow down the dispersion of bark beetles in the next generations.

Conclusions

The treatments that gave the best results for the control of *Dendroctonus adjunctus* on *Pinus hartwegii* in the Nevado de Toluca National Park were acephate at 12 % (Orthene® ultra), emamectin benzoate at 2 % (PROCLAIM® 05 SG) and abamectin 0.3 (Agrimec® 1.8 % CE).

The "Injecthor® Injection System for Phytosanitary Treatments" turned out to be practical and effective for the development of the field tests.

Acknowledgments

The authors wish to give thanks to the Conacyt-Conafor Sectorial Fund for Forestry Research, Development Technological Innovation for having funded the Project "Alternatives for the management of forest pests and diseases in natural protected areas of the Transversal Neovolcanic Axis", with the register number CONAFOR-COI-2010-136785, as well as to the binding agreement, of the same name, between INIFAP-Cenid-Comef and (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, from which the present publication is derived.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interests.

Author Contributions

Emmanuel Gochez-López: selection of the units of study and sampling at the field, review of the biologic material, making of the document; Víctor Javier Arriola-Padilla: selection of the units of study, selection of the units of study, definition of the experimental design, dose determination and products, elaboration and review of the document; Alfredo Perea-Alcalá: selection of the units of study and sampling at the field; José Francisco Reséndiz-Martínez: selection of the units of study and sampling at the field; Alejandro D. Camacho: field work dose determination and products, statistical analysis, review of the document.

End of the English version

- Espinoza F., N. 2013. Bioensayo sobre la efectividad de Insecticidas sistémicos para el control de plagas en conos y semillas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, en la localidad de Cruz de León Ixcamatitlán Puebla. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Tesis de Maestría. Tlaxcala, Tlax. México. 75 p.
- Franco I., Ma. G. 2001. Bioensayo sobre la efectividad de dos insecticidas sistémicos en el descortezador *Phloesinus tacubayae* Hopkins. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Edo. de Méx., México. 52 p.
- Grosman, D. M., W. W. Upton, F. A. McCook and R. F. Billings. 2002. Systemic insecticide injection for control of cone and seed insect in loblolly pine seed orchards- two years results. *Southern Journal of Applied Forestry* 26(3): 145-152.

- Grosman, D. M. and W. W. Upton. 2006. Efficacy of Systemic Insecticides for Protection of Loblolly Pine against Southern Pine Engraver Beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) and Wood Borers (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Economic Entomology* 99(1): 94-101.
- Grosman, D. M., S. R. Clarke and W. W. Upton. 2009. Efficacy of Two Systemic Insecticides Injected into Loblolly Pine for Protection against Southern Pine Bark Beetles. *Journal of Economic Entomology* 102(3): 1062-1069.
- Grosman, D. M., C. J. Fettig, C. L. Jorgensen and A. S. Munson. 2010. Effectiveness of two systemic Insecticides for protecting western conifers from mortality due to bark beetle attack. *Western Journal of Applied Forestry* 25(4): 181-184.
- Haverty, M. L., P. J. Shea and J. M. Wenz. 1996. Metasystox-R, applied in Mauguet injectors, ineffective in protecting individual ponderosa pines from western pine beetle. USDA-Forest Service. Pacific Southwestern Research Station. Albany, CA, USA. Research Note 420 p.
- Herrera A., L. 1905. Insectos destructores de los bosques, en Circ. No. 29. Comisión de Parasitología Agrícola. México, D.F., México. pp. 1-4.
- Islas S., F. 1975. Especies dañinas de escarabajos descortezadores de los pinos y su combate. *Bosques y fauna* 7(6):19-25.
- Islas S., F. 1980. Observaciones sobre la biología y el combate de los escarabajos descortezadores de los pinos: *Dendroctonus adjunctus* Blf; *D. mexicanus* Hpk. y *D. frontalis* Zimm., en algunas regiones de la república mexicana. México, D.F., México. Boletín Técnico del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Núm. 66. 27 p.
- Merkel, E. P. and G. L. De barr. 1971. Trunk implantations of dicrotophos for cone insect control in slash pine seed production stands. *Journal of Economic Entomology* 64: 1295-1298.
- Rivas, D. 1995. Inyecciones sistémicas en los árboles. Preparatoria agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 15 p.
- Ortega, R. A. 2009. Fluctuación de *Dendroctonus adjunctus* Blandford y sus depredadores atraídos por frontalina + alfa-pineno, en los Pescados, Veracruz y en Zoquiapan, Estado de México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 92 p.
- Salinas-Moreno, Y., C. F. Vargas M., G. Zúñiga, J. Víctor, A. Ager y J. L. Hayes. 2010. Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional y Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jal., México. 90 p.
- Sánchez-Martínez, G., L. Torres, I. Vázquez, E. González y R. Narváez. 2007. Monitoreo y Manejo de Insectos Descortezadores de Coníferas. INIFAP Centro de Investigaciones Regional Norte Centro Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Ags. México. Libro Técnico No.4. 107 p.
- Statistical Analysis System. 2010. Statistical Analysis Ver. 9.0 SAS Institute, Inc. Cary, NC. USA. s/p.
- Torres E., L. M., y J. A. Sánchez S. 2005. Manejo Integrado del escarabajo descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford en los bosques de *Pinus rudis* en el estado de Coahuila. CIRNE-INIFAP. Saltillo, Coah., México. Folleto Técnico Núm. 17. 34 p.
- Wood, S. L. 1982. The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. Great Basin Naturalist Memoirs. Provo, UT, USA. 1359 p.

