

INFESTACIÓN POR *Pineus strobi* Hartig (HEMIPTERA: ADELGIDAE) EN UNA RESTAURACIÓN CON DOS ESPECIES DE PINO

Pineus strobi Hartig (HEMIPTERA: ADELGIDAE) INFESTATION IN A RESTORATION WITH TWO PINE SPECIES

Azucena Rubín-Aguirre¹, Roberto Lindig-Cisneros¹ y Ek del-Val¹

RESUMEN

Los herbívoros invertebrados son un factor limitante para la supervivencia de las plantas en condiciones de restauración, pero existen pocos estudios en los que se haya abordado este tema. En un experimento con una duración de cuatro años que se realizó en Michoacán, México con *Pinus pseudostrabus* y *P. montezumae*, crecieron, saludablemente hasta 2006, cuando fueron atacados por *Pineus strobi* (Hemiptera: Adelgidae). En consecuencia se evaluó el efecto de los adélgidos sobre el arbolado. En 2006 la infestación, a pesar de ser grande, no tuvo efectos significativos sobre el crecimiento de ninguna de las dos especies de pinos. En 2007 se realizó un experimento para eliminar a *P. strobi* mediante la aplicación del insecticida Decis[®] y evaluar su efecto sobre los árboles. Durante ese año se midió la infestación de los insectos y el desarrollo de los árboles mensualmente, durante la temporada de crecimiento. Los resultados muestran que el producto aplicado redujo la infestación de *P. strobi* en *Pinus montezumae*, pero no en *P. pseudostrabus*; además su uso afectó negativamente el incremento en diámetro basal de *P. montezumae*. *Pinus pseudostrabus* no fue dañado por el insecticida, ni por los insectos, y los individuos de *P. montezumae* infestados por *Pineus strobi* registraron un crecimiento (altura) mayor que los controles en dos años consecutivos (2006 y 2007). La presencia de *Pineus strobi* en los taxa evaluados tuvo poca relevancia, puesto que no incidió en su crecimiento.

Palabras clave: Compensación, insecticida, insecto chupador, *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrabus*, tolerancia.

ABSTRACT

Invertebrate herbivory is known to be a limiting factor for plant survival under restoration conditions but there are few studies that have dealt with the topic. In a 4-year-old restoration experiment in Michoacan, México, pine trees were growing healthy until 2006 when they were heavily attacked by *Pineus strobi* (Hemiptera: Adelgidae) therefore it was decided that the effect of the adelgid on the performance of the pines: *P. pseudostrabus* and *P. montezumae* must be assessed. *P. strobi* was eliminated in half of the trees using the insecticide Decis and assessed insect infestation and tree performance monthly throughout the 2007 growing season. The insecticide decreased *P. strobi* infestation in *P. montezumae* but not in *P. pseudostrabus*. Insecticide application was not beneficial for tree growth in any species, on the contrary tree performance diminished in *P. montezumae*. *Pinus pseudostrabus* was not harmed by insect feeding and individuals of *P. montezumae* infested by *P. strobi* showed greater growth than controls. *P. strobi* infestation for both species seems to be of little relevance since trees did not reduce their growth.

Key words: Compensation, insecticide, sucking insect, *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrabus*, tolerance.

Fecha de recepción: 21 abril de 2010

Fecha de aceptación: 20 de enero de 2011

¹ Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo-e: ekdelval@oikos.unam.mx

INTRODUCCIÓN

La destrucción del medio ambiente y el cambio en el uso del suelo fueron parte de la tendencia global del siglo pasado, que continúa en el presente, y ambos factores son causantes de graves pérdidas en la biodiversidad y daños al funcionamiento de los ecosistemas. Desafortunadamente, México no se ha sustraído a esos sucesos, y prueba de ello es la tasa de deforestación anual de 1.29% que se registró durante la década de los ochenta, principalmente en las regiones tropicales (Masera *et al.*, 1997).

Con el fin de aliviar la situación se han emprendido múltiples proyectos de conservación y restauración. Este último es particularmente deseable cuando el efecto combinado del disturbio natural y humano da lugar a condiciones que limitan la sucesión. Al respecto, muchos trabajos son calificados como exitosos cuando se logra el establecimiento de las plantas después de varias temporadas de crecimiento. Sin embargo, rara vez se evalúan tomando en cuenta el restablecimiento de las interacciones bióticas, las funciones y los servicios que proveen los ecosistemas. Otros fracasan porque no se logran fortalecer las relaciones entre los organismos que garanticen la supervivencia del ecosistema a largo plazo (p. ej. micorrizas-planta, planta-polinizador, planta-dispersor, etc.), o bien se presentan nuevas asociaciones que impiden el funcionamiento del ecosistema (Ehrenfeld y Toth, 1997; Joe y Daehler, 2008; Kaiser *et al.*, 2008). Algunas de ellas son, por lo general, de tipo antagonista tales como la competencia o la herbivoría. Los herbívoros pueden ser particularmente dañinos para la restauración cuando son capaces de consumir toda la planta (Allen *et al.*, 2005, Blanco García y Lindig Cisneros, 2005; Sweeney *et al.*, 2007). Se ha demostrado que dichos animales son un factor limitante para la supervivencia de los vegetales en muchos sitios; por ejemplo, los conejos provocaron una mortalidad de 64% en la restauración del bosque tropical en Costa Rica (Holl y Quiros-Nietzen, 1999) y 78% de mortalidad en plántulas de *Quercus rugosa* Nee en sitios cercanos a la Ciudad de México (Bonfil y Soberón, 1999).

Los efectos de los insectos herbívoros se han estudiado menos, pero se sabe que producen severos daños a los bosques, en especial cuando tienen ciclos de vida caracterizados por brotes periódicos (Cairns *et al.*, 2008). Se ha sugerido que las plagas entomológicas son más abundantes en plantaciones o ecosistemas degradados; sin embargo, la evidencia empírica al respecto es escasa. Eveleigh *et al.* (2007) indican que los rodales monoespecíficos pueden ser más susceptibles a siniestrarse por este factor, en tanto que la diversidad servirá para restringir los brotes de insectos (Scholwater, 1995). También se ha citado un porcentaje más grande de daño por hongos fitopatógenos aunado a una gran incidencia de herbivoría, en plantas de sitios fragmentados (Benítez-Malvido *et al.*, 1999). Así, *Pinus pungens* Lamb. presenta infestación alta por

INTRODUCTION

The destruction of the environment and land-use change were part of the tendency observed during last century, which keeps at present, and both factors are responsible of severe loss of biodiversity and damages to the functioning of ecosystems. Unfortunately, Mexico has not been an exception to these events, which is confirmed by the annual deforestation rate of 1.29% that was recorded during the 80's, mainly in the tropical regions (Masera *et al.*, 1997).

In order to relieve the situation, multiple conservation and restoration projects have been undertaken. The latter is particularly interesting when the combined effect of natural and man-made disturbance favors conditions that limit succession. In this sense, many efforts have been classified as successful when the establishment of plants is accomplished after several growing seasons. However, their assessment is rather unusual in regard to the re-establishment of biotic interactions, as well as the functions and services that ecosystems provide. Others fail because they cannot reinforce the relations among the organisms that guarantee the survival of the ecosystem on the long run (for example, mycorrhizae-plant, plant-pollinator, plant-dispersal agent, etc), or that they show new associations that block the operation of the ecosystem (Ehrenfeld and Toth, 1997; Joe and Daehler, 2008; Kaiser *et al.*, 2008). Regularly, some of them are of the antagonistic kind, such as competence or herbivory. Herbivores can be specially damaging for restoration when they consume all the plant (Allen *et al.*, 2005, Blanco García and Lindig Cisneros, 2005; Sweeney *et al.*, 2007). It has been proved that such animals are a limiting factor for the survival of vegetation in many places; for example, rabbits provoked 64% of mortality in the tropical forest restoration of Costa Rica and 78% of *Quercus rugosa* Nee seedling mortality (Holl and Quiros-Nietzen, 1999) in places near Mexico City (Bonfil and Soberón, 1999).

The effects of the herbivore insects have been less studied, but it is well-known that they produce severe damages to the forests, in particular when they have life cycles with periodic sprouts (Cairns *et al.*, 2008). It has been suggested that insect plagues are more abundant in plantations or degraded ecosystems; however, the empiric evidence is scarce. Eveleigh *et al.* (2007) pointed out that monospecific stands may be more susceptible to this kind of disasters, while diversity works to stop insect outbreaks (Scholwater, 1995). It has also been reported a bigger damage per cent by phytopatogenic fungus, added to a great herbivory incidence, on plants from fragmented sites (Benítez-Malvido *et al.*, 1999). Thus, *Pinus pungens* Lamb. shows high infestation by *Dendroctonus frontalis* Zimm. in fragmented landscapes (Cairns *et al.*, 2008); many destroyed buds of *Syzygium mamillatum* Bosser & Guého caused by lepidopteran larvae are observed in restored places (Kaiser *et al.*, 2008).

Dendroctonus frontalis Zimm. en paisajes fragmentados (Cairns *et al.*, 2008); en *Syzygium mamillatum* Bosser & Guého se observan numerosas yemas destruidas por larvas de lepidóptero en lugares restaurados (Kaiser *et al.*, 2008).

Los insectos chupadores de savia pueden ser muy perjudiciales para los bosques, porque extraen el floema, xilema o líquido del parénquima (dependiendo de la especie) y transmiten enfermedades (virales, bacterianas o micóticas) (Schoonhoven *et al.*, 2005), además inyectan toxinas al floema (McLure, 1991). Algunos secretan líquidos azucarados que sirven de sustrato tanto para el desarrollo de fumaginas o moho negro, como para atraer hormigas (Mazzei y Masiuk, 2007). El daño que causan se manifiesta como crecimientos anormales en forma de agallas, rizados o decoloración de las hojas (Cerdeira *et al.*, 2003). Por ello, sus efectos se traducen en una disminución del vigor y crecimiento del árbol, destrucción de los tejidos atacados, así como alteraciones en la fisiología y bioquímica, que dejan al hospedero mucho más susceptible a la incidencia destructiva de agentes secundarios como: el clima extremo, las enfermedades o al ataque de otros insectos (McLure, 1991).

En el grupo de los insectos chupadores de savia presentes en bosques nativos y en plantaciones de coníferas, se ha consignado que los integrantes de la familia Adelgidae son muy nocivos, sobre todo, cuando son especies introducidas (McLure, 1991; Zilahi-Balogh *et al.* 2002; 2005, Zilahi-Balogh, 2003; 2004). Las nativas han sido poco estudiadas, pero se tienen registros de que ocasionan daños significativos (McLure, 1991; Cranshaw, 2004; Dreistadt y Clark, 2004).

Hasta este momento los árboles crecieron sanos, sin embargo en 2006 se detectó una infestación significativa de *Pineus strobi* Hartig. (Hemiptera: Adelgidae). En consecuencia, se decidió evaluar el efecto de los adélgidos sobre el desarrollo de las dos especies. La hipótesis de trabajo fue que los árboles gravemente infestados crecerían menos (en términos de la altura y diámetro basal) y tendrían acículas más pequeñas que los árboles menos infestados, y que los insectos podrían obstaculizar los esfuerzos de restauración.

Pineus strobi es un insecto escama del orden Hemiptera, familia Adelgidae de origen europeo y en la actualidad se distribuye ampliamente en América del Norte y algunos países de América del Sur, sobre *Picea* y varias especies de *Pinus* (Day, 1996; Diekmann, 2002; Rosales y Cermeli, 1993; Zilahi-Balogh, 2004). Constituye una de las plagas más frecuentes que atacan a los pinos en América, y se alimenta de los troncos de los árboles succionando la savia del floema, lo que ocasiona secreciones azucaradas, por lo que es frecuente encontrar moho negro (Ascomycetes) en las acículas y tallo de los individuos infestados (Diekmann, 2002; Gibrián, 2007). Puede ser muy dañino para los árboles

Sap-sucking insects can be harmful to forests as they extract phloem, xylem or parenchymal liquid (according to the species) and they transmit diseases (viral, bacterial and mycotic) (Schoonhoven *et al.*, 2005); they also inject toxins to phloem (McLure, 1991). Some produce sugary liquids that work as substrates for fumagine or black mistletoes, as to attract ants (Mazzei and Masiuk, 2007). The damages they produce are exhibited as abnormal growths in the shape of galls or leaf waves or discoloration (Cerdeira *et al.*, 2003). Thus, their effects turn into vigor or growth reduction of trees, destruction of the tissues that are affected, as well as physiologic or biochemical disturbs, that leave the host much more susceptible to the destructive incidence of secondary agents such as: extreme weather and diseases or insect attacks (McLure, 1991).

The group of sap-sucking insects that are present in the native forests and in coniferous plantations it has been reported that the members of the Adelgidae family are very deleterious, particularly, when they are exotic species (McLure, 1991; Zilahi-Balogh *et al.* 2002; 2005, Zilahi-Balogh, 2003; 2004). Natives have been less studied, but there are reports that they produce important damages (McLure, 1991; Cranshaw, 2004; Dreistadt and Clark, 2004).

By the time being, the trees grew healthy, however in 2006 a serious infestation of *Pineus strobi* Hartig. (Hemiptera: Adelgidae) were detected. Consequently, it was decided to assess the effect of adelgids over the development of the two species. The work hypothesis was that the trees severely infested would grow less (in terms of height and basal diameter) and would have shorter needles than the trees less infested, and that insects could handicap restoration efforts.

Pineus strobi is a scale insect of the order Hemiptera, Adelgidae family, of European origin and at present, widely distributed in North America and some countries of South America, upon *Picea* and several *Pinus* species (Day, 1996; Diekmann, 2002; Rosales and Cermeli, 1993; Zilahi-Balogh, 2004). It is one of the most frequent plagues that attack pines in America and feeds from tree trunks as it sucks the sap of the phloem, which produces sugary secretions, a reason why it is common to find black mistletoe (Ascomycetes) on the needs and stem of the affected organisms (Diekmann, 2002; Gibrián, 2007). It might be harmful to the small trees in the nurseries, but if they are healthy it does not cause permanent damage. *Pineus strobi* is a tiny organism (> 1mm) with white threads that cover its body and has several generations per year (up to five). *Pinus pseudostrubus* Lindl. is a fast-growing Mexican species that can reach heights from 30 to 40 m and basal diameters of 40 to 80 cm. Leaves are bright green colored and grouped into fascicles of five needles from 17 to 24 cm long; ovoid cones lightly curved, 8 to 12 cm long and 5 to 8 cm wide. Wood is light, soft, resistant, yellow and of high yield (López-Upton, 2003).

pequeños en viveros, pero si están sanos, no causa un daño permanente. *Pineus strobi* es un organismo minúsculo (> 1mm) que se caracteriza por los filamentos blancos que cubren su cuerpo y porque produce varias generaciones al año (hasta cinco).

Pinus pseudostrabus Lindl. es una especie mexicana de crecimiento rápido, que alcanza alturas de 30 - 40 m y diámetros basales de 40 - 80 cm. Sus hojas son de color verde intenso y se agrupan en fascículos de cinco acículas que miden de 17 - 24 cm de longitud, de conos ovoides y levemente curvados de 8 - 12 cm de longitud y 5 - 8 cm de ancho. Su madera es ligera, suave, resistente, amarillenta y de alto rendimiento (López-Upton, 2003). Crece solo o en asociación, cuando es así, tiende a ser dominante en sitios con baja altitud reduciéndose su presencia al aumentar esta (López-Upton, 2003; Viveros-Viveros *et al.*, 2007; Lindig-Cisneros *et al.*, 2007).

Pinus montezumae Lamb. es endémica y dominante en los bosques de pino mixtos (Perry, 1991). Presenta crecimiento rápido y alcanza alturas de 20 - 35 m y diámetros de 50 - 80 cm (Vela-Correa *et al.*, 2007). Las hojas se agrupan en fascículos de 4, 5 ó 6 acículas y cada una mide de 15 - 25 cm, con márgenes aserrados. Los conos son ovoides a cónicos, de 12 - 15 cm de longitud y de 7 - 10 cm de ancho. Su madera es de color café clara, dura y pesada (Perry, 1991).

MATERIALES Y MÉTODOS

Como parte de un proyecto de investigación participativa llevado a cabo con la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP) se inició un experimento de restauración en 2003, en el cual se utilizaron árboles juveniles de tres coníferas de 19 meses de edad (*Pinus pseudostrabus*, *P. montezumae* y *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. *et* Cham.) y semillas de una leguminosa (*Lupinus elegans* Knuth) para restablecer la cobertura vegetal en un campo de labranza abandonado, de 4,000 m², situado en una ladera montañosa cercana a la localidad de San Nicolás, que forma parte de los bosques de la CINSJP (Blanco-García y Lindig-Cisneros, 2005). Pasados tres años (2006) *P. montezumae* había alcanzado una altura promedio de 89 cm y *P. pseudostrabus* de 196 cm.

Área de estudio

La zona es manejada por la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro y se localiza al noreste del estado de Michoacán, México, a 2,750 msnm, con las coordenadas 19°25'02"N y 102°14'46"W (Figura 1). Los bosques de pino-encino-oyamel son los dominantes. En la superficie propiedad de la comunidad (11,694 ha) se extrae madera en forma sustentable. La investigación se llevó a cabo en una ladera montañosa de pendiente media que se había utilizado para fines agrícolas, hasta 9 años antes de que se iniciara

It only grows in association, and thus, tends to be dominant in places of low altitude, which, as it becomes higher, reduces their populations. (López-Upton, 2003; Viveros-Viveros *et al.*, 2007; Lindig-Cisneros *et al.*, 2007).

Pinus montezumae Lamb. is endemic and dominant in mixed pine forests (Perry, 1991). It is fast growing and can reach heights from 20 to 35 m and diameters of 50 - 80 cm (Vela-Correa *et al.*, 2007). Leaves are grouped in fascicles of 4, 5 or 6 needles and each of them is 15 - 25 cm long, with serrated margins. Cones are ovoides to conic, 12 - 15 cm long and 7 - 10 cm wide. Wood is light brown hard and heavy (Perry, 1991).

MATERIALS AND METHODS

As part of a community research project carried out in the native population of Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), a restoration experiment was started in 2003, in which young trees of three evergreens of 19 months-old were used (*Pinus pseudostrabus*, *P. montezumae* and *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. *et* Cham.) and seeds of a leguminous plant (*Lupinus elegans* Knuth) to re-establish vegetation cover in a 4,000 m² waste crop land located at a hill side near San Nicolás town, that belongs to the forests of CINSJP (Blanco-García and Lindig-Cisneros, 2005). After three years (2006), *P. montezumae* had reached an average height of 89 cm and *P. pseudostrabus* of 196 cm.

Study area

The zone is managed by Nuevo San Juan Parangaricutiro Indian Community and is located at the North East of Michoacan State, at 2,750 m high, between 19°25'02"N and 102°14'46"W (Figure 1). Pine-oak-fir forests are dominant. In the 11,694 ha that make up the community owned land, wood is sustainably extracted. The research study was carried out in a hillside with medium slope that had been used for crop endings, 9 years before the restoration was started. The surrounding area is made-up of a matrix of crop lands with small and dispersed fragments of pine-oak-fir forest. In spite of the withdrawal of almost a decade, there were none of the tree species at the beginning of the study.

Experimental design

The assessment of the effect of *Pineus strobi* upon *Pinus montezumae* and *P. pseudostrabus* was made through two activities:

- 1) The relation between the growth of all the trees of *P. montezumae* and *P. pseudostrabus* and the infestation level by the adelgide was determined in the growing season of 2006 (April to September) on the restored lot; thus, cover categories of the insect were assigned to each tree during

la restauración. El área circundante consiste de una matriz de terrenos agrícolas con pequeños y dispersos fragmentos de bosques de pino-encino-oyamel. A pesar del abandono de casi una década, no había ninguna de las especies arbóreas al inicio del estudio.



Figura 1. Sitio de estudio

Figure 1. Study area

Diseño experimental

La evaluación del efecto de *Pineus strobi* sobre *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* se efectuó mediante dos actividades:

1) En la temporada de crecimiento 2006 (abril a septiembre) en la parcela restaurada se determinó la relación entre el crecimiento de todos los árboles de *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* y el nivel de infestación por el adélgido, para ello, en cada individuo, se asignaron categorías de cobertura por el insecto durante el mes de mayo, y se sumó su presencia en el tallo principal y todas las ramas, a fin de integrar una sola condición por ejemplar. Las categorías fueron las siguientes: 0 (sin presencia del adélgido), 1 (de 1 a 10 cm de infestación), 2 (10 - 70 cm de infestación) y 3 (> 70 cm de infestación). El crecimiento de los árboles se calculó como el cambio en la altura de enero a noviembre.

2) En abril de 2007 se inició un experimento de exclusión de *Pineus strobi* en 123 individuos (76 de *P. pseudostrobus* y 47 *P. montezumae*) distribuidos equitativamente en tres tratamientos de acolchado (con leguminosas, corteza de árbol y el testigo). El insecto se eliminó de la mitad de los individuos con Decis (Bayer®, Deltametrina), según las recomendaciones del fabricante (1 mL insecticida / 300 mL agua / 0.5 mL emulsionante Dapplus). Las plantas control se trataron con una mezcla de agua y emulsionante. Se determinó la infestación y el desarrollo de los árboles una vez en la temporada de crecimiento (abril a

May and their presence on the main stem and all the branches was added, in order to integrate one single condition for each example. These were the categories: 0 (without the presence of the adelgide), 1 (from 1 to 10 cm of infestation), 2 (10-70 cm of infestation) and 3 (> 70 cm of infestation). Tree growth was estimated as the height change from January to November.

2) In April 2007, a *Pineus strobi* exclusion experiment was started with 123 trees (76 of *P. pseudostrobus* and 47 of *P. montezumae*) equitably distributed in three litter treatments (with leguminosae debris, with tree bark and the control). The insect was eliminated with Decis (Bayer®, Deltametrine) from half of the trees, according to the recommendations of the manufacturer (1 mL insecticide / 300 mL water / 0.5 mL Dapplus emulsifier). Control plants were treated with a mixture of water and emulsifier. Infestation and tree development were determined once during the growing season (April-September, 2007). Insect cover per tree was the result of the addition of the length of branch infestation in each pine, and their growth was pondered in terms of increments in height, basal diameter and needle length.

Statistical analysis

The effect of *Pineus strobi* upon the development of the two species of *Pinus* was known through an analysis of variance, in which growth was represented by the response variable and the different categories of the insect cover and the litter, the explanatory variables, as well as the interaction between insect cover and type of litter.

From the results of the insect exclusion experiment was estimated the *P. strobi* abundance in each pine taxon. Thus, an ANOVA was used with the length of infestation as the response variable and the treatment (with and without insecticide), time and the treatment interaction x time, as the explanatory variables. In order to avoid the temporary pseudo-replication, the design was nested in time and in the tree.

The effect of *P. strobi* upon the pine taxa was determined by a two-way ANOVA, in which the response variables were the growth increment (final-initial height, final-initial basal diameter) and needle length; treatment with and without *Pineus strobi*, pine-bark mulch (with leguminosae debris, with tree bark and the control litter) and the treatment interaction litter, as explanatory. Also a linear regression was made between the infestation length and the growth increment (height and basal diameter) for both pine species, with the purpose of establishing the possible relation between growth and insect infestation-abundance. Sampling size was the same in all analysis, 76 individuals of *P. pseudostrobus* and 47 of *P. montezumae*, and the experimental unit was the tree. All of them were made with the aid of S-Plus 2000 and normality of error assumptions and homoscedasticity of the variance in each case, when they

septiembre de 2007). La cobertura de los insectos por árbol resultó de la suma de la longitud de la infestación por rama, en cada pino, y su crecimiento se ponderó en términos de los incrementos en la altura, el diámetro basal y la longitud de las acículas.

Análisis estadístico

El efecto de *Pineus strobi* sobre el desarrollo de las dos especies de *Pinus* se obtuvo mediante un análisis de varianza, en el cual el crecimiento representó la variable de respuesta y las diferentes categorías de cobertura del insecto y de acolchado las variables explicativas, así como la interacción entre cobertura del insecto con el tipo acolchado.

A partir de los resultados del experimento de exclusión del insecto se estimó la abundancia de *P. strobi* en cada taxón de pino. Para ello se usó un ANOVA con la longitud de infestación como la variable de respuesta y el tratamiento (con y sin insecticida), el tiempo y la interacción tratamiento x tiempo, como las variables explicativas. Con el fin de evitar la pseudorreplicación temporal, el diseño se anidó en el tiempo y en el árbol.

El efecto de *P. strobi* sobre los taxa de pino se determinó con ANOVAs de dos vías, en los que las variables de respuesta fueron el incremento en el crecimiento (altura final - inicial, diámetro basal final - inicial) y la longitud de las acículas; el tratamiento con y sin *Pineus strobi*, el acolchado (con leguminosas, corteza de árbol y control) y la interacción tratamiento x acolchado, como las explicativas. También se realizó una regresión lineal entre la longitud de la infestación y el incremento en el crecimiento (altura y diámetro basal) para las dos especies de pino, con la finalidad de establecer la posible relación entre el crecimiento y la abundancia-infestación de los insectos. El tamaño de muestra fue el mismo en todos los análisis, 76 individuos para *P. pseudostrabus* y 47 para *P. montezumae* y la unidad experimental fue el árbol. Todos los análisis se realizaron con S-Plus 2000 (Seattle, Washington) y se revisaron los supuestos de normalidad de los errores y homocedasticidad de la varianza en cada caso, cuando no se cumplieron, se hicieron transformaciones con logaritmo y raíz cuadrada.

RESULTADOS

Efecto del insecticida

La infestación por *Pineus strobi* alcanzó un máximo en mayo de 2007 (*P. montezumae*: $F_{3,135}=28.35$, $p<0.0001$ y *P. pseudostrabus*: $F_{3,222}=39.8$, $p<0.0001$) (Figura 2). El insecticida disminuyó marginalmente la presencia del insecto en *P. montezumae* ($F_{1,45}=3.72$, $p=0.059$), lo cual fue más pronunciado al final de la temporada de crecimiento (tratamiento*tiempo: $F_{3,135}=5.32$,

were not accomplished, logarithmic and square root transformations were made.

RESULTS

Insecticide effect

The *Pineus strobi* infestation reached its maximum level in May 2007 (*P. montezumae*: $F_{3,135}=28.35$, $p<0.0001$ and *P. pseudostrabus*: $F_{3,222}=39.8$, $p<0.0001$) (Figure 2). The insecticide marginally reduced the presence of the insect on *P. montezumae* ($F_{1,45}=3.72$, $p=0.059$), which was more evident at the end of the growing season (treatment*time: $F_{3,135}=5.32$, $p=0.002$), unlike *P. pseudostrabus* in which there was not such an effect ($F_{1,74}=0.03$, $p=0.85$) during the whole season (treatment*time: $F_{3,222}=0.68$, $p=0.56$). It did not impact either growth in both species (*P. montezumae*: $F_{1,45}=1.22$, $p=0.27$ and *P. pseudostrabus* $F_{1,74}=0.31$, $p=0.57$) (Figure 3). However, it affected negatively basal diameter of *P. montezumae* as such diameter of control plants was bigger ($F_{1,45}=10.54$, $p=0.002$); this was not observed in *P. pseudostrabus* ($F_{1,74}=0.60$, $p=0.43$). The insecticide had no effect at all upon *P. montezumae* ($F_{1,74}=0.31$, $p=0.57$) and *P. pseudostrabus* ($F_{1,72}=0.4$, $p=0.53$) needle length.

Insect abundance and tree growth

In 2006 it was detected that infestation influences the growth of *P. strobi* in *P. montezumae* ($F_{(3,36)}=4.15$, $p<0.01$), (Figure 4A); and on the contrary to what was expected, plants in the category of greatest damage grew more than the control and than that of individuals with minor infestations. For *P. pseudostrabus*, the adelgid infestation did not affect its growth ($F_{(3,67)}=1.29$, $p=0.28$) (Figure 4B). In the month of May 2007 the presence of the insect reached its maximum; it was observed in control plants of *P. montezumae* that their increment in height was significantly correlated with the abundance of *P. strobi*, i.e. a greater infestation is coincidental with a greater growth ($R^2=0.22$, $F_{2,21}=6.17$, $p=0.02$); (Figure 5), but the rise in basal diameter did not show this pattern. There was no relation between increment (either in height or basal diameter) and the insect in *P. pseudostrabus* ($R^2=0.06$, $F_{1,39}=2.65$, $p=0.11$).

Pine-bark mulch, insect abundance and tree development

Pine-bark mulch did not affect infestation upon *Pinus* by the adelgid in 2006 (*P. montezumae*: $F_{2,44}=0.03$, $p=0.97$, *P. pseudostrabus*: $F_{2,75}=0.14$, $p=0.87$). The pattern was repeated the following year. Litter was not significant for the adelgid infestation (*P. montezumae*: $F_{2,41}=0.94$, $p=0.39$, *P. pseudostrabus*: $F_{2,70}=0.14$, $p=0.86$), and the interaction with pine-bark mulch and the elimination of insects was not significant as well (pine-bark mulch x insecticide:

$p=0.002$, a diferencia de *P. pseudostrobus* en el que no hubo tal efecto ($F_{1,74}=0.03$, $p=0.85$) durante toda la temporada (tratamiento*tiempo: $F_{3,222}=0.68$, $p=0.56$). Tampoco impactó el crecimiento en altura de ambas especies (*P. montezumae*: $F_{1,45}=1.22$, $p=0.27$ y *P. pseudostrobus*: $F_{1,74}=0.31$, $p=0.57$ (Figura 3). Aunque influyó negativamente sobre el diámetro basal en *P. montezumae*, puesto que dicho diámetro en las plantas control fue mayor ($F_{1,45}=10.54$, $p=0.002$), lo anterior no se observó para *P. pseudostrobus* ($F_{1,74}=0.60$, $p=0.43$). El insecticida careció de efecto alguno sobre la longitud de las acículas de *P. montezumae* ($F_{1,74}=0.31$, $p=0.57$) y de *P. pseudostrobus* ($F_{1,72}=0.4$, $p=0.53$)

P. montezumae: $F_{2,41}=0.47$, $p=0.63$, *P. pseudostrobus*: $F_{2,70}=0.33$, $p=0.71$).

In regard to the pine-bark mulch impact upon the development of trees, in 2006 both pine species did not show benefits from the treatment (*P. montezumae*: $F_{2,36}=0.18$, $p=0.84$, *P. pseudostrobus*: $F_{2,67}=0.49$, $p=0.61$); however in 2007 pine-bark mulch favored height development of *P. montezumae* ($F_{2,41}=5.36$, $p=0.009$), in particular, the trees with the bark treatment, grew more than those established with *Lupinus* (a posteriori Tukey's test $p=0.006$), while there was no effect for *P. pseudostrobus* ($F_{2,70}=0.32$, $p=0.32$). The size of the needles

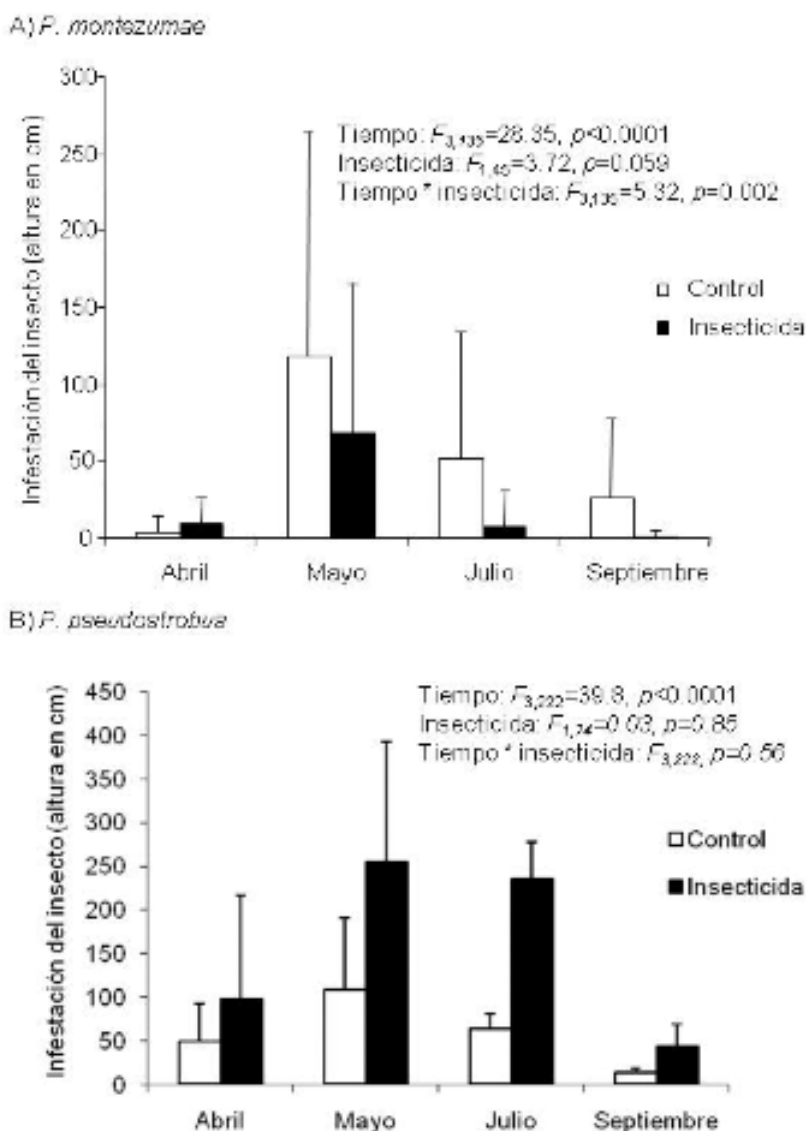


Figura 2. Abundancia de *Pineus strobi* (Media \pm IEE) en los árboles control y con insecticida durante la temporada de crecimiento de 2007 en A) *Pinus montezumae* y B) *Pinus pseudostrobus*.

Figure 2. *Pineus strobi* abundance (mean \pm IEE) in control trees and trees with insecticide during the 2007 growing season in: A) *Pinus montezumae* and B) *Pinus pseudostrobus*.

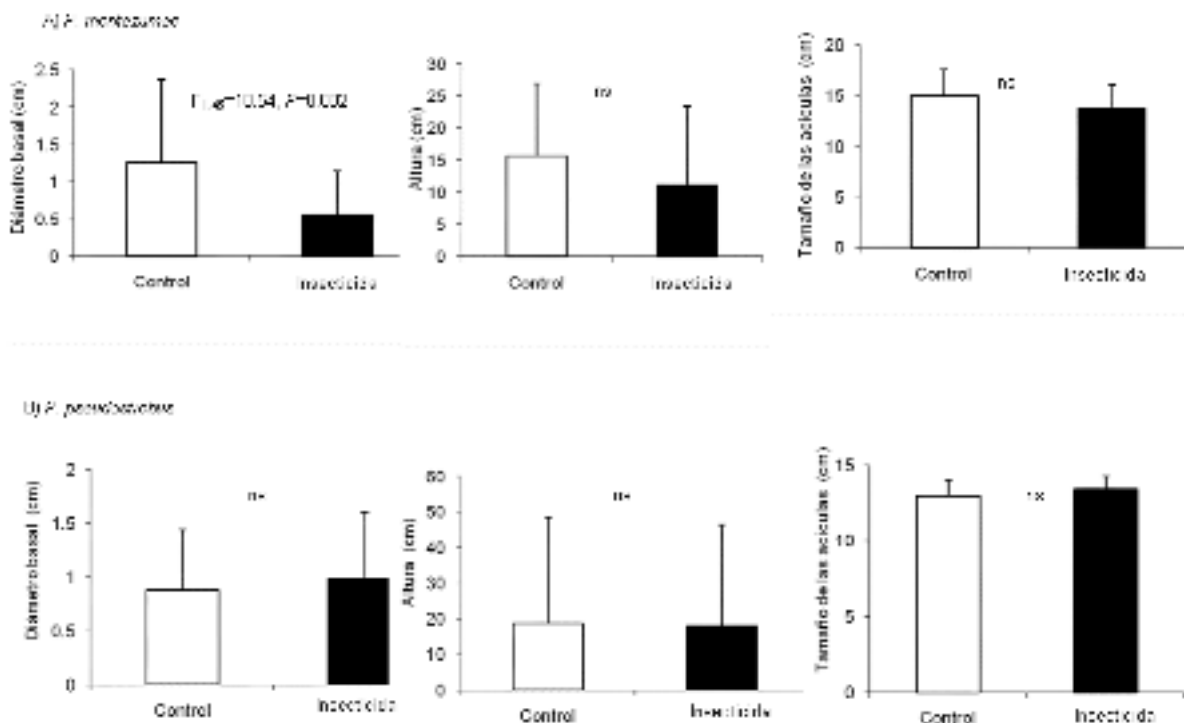


Figura 3. Efecto del insecticida sobre el crecimiento de los árboles al final de la temporada de crecimiento (septiembre de 2007), medido como incremento en el diámetro basal (Media ± 1EE), incremento en la altura (Mean ± 1EE) y tamaño de las acículas (Media ± 1EE).

Figure 3. Effect of the insecticide over the growth of trees at the end of the growing season (September 2007), measured as increment of the basal diameter (mean ± 1EE), increment in height (mean ± 1EE) and needle size (mean ± 1EE).

Abundancia del insecto y crecimiento de los árboles

En 2006, se detectó que en el crecimiento de *P. montezumae* inició la infestación de *P. strobi* ($F_{(3,36)}=4.15$, $p<0.01$), (Figura 4A); y contrario a lo esperado, las plantas en la categoría de daño mayor crecieron más que las testigo y que los individuos con infestaciones menores. Para *P. pseudostrabus*, la infestación del adélgido no afectó su crecimiento ($F_{(3,67)}=1.29$, $p=0.28$) (Figura 4B). En el mes de mayo de 2007, la presencia del insecto llegó a su máximo, se observó en las plantas control de *P. montezumae* que su incremento en altura estaba significativamente correlacionado con la abundancia de *P. strobi*, i.e. una mayor infestación correspondió con un crecimiento más grande ($R^2=0.22$, $F_{(2,2)}=6.17$, $p=0.02$); (Figura 5), pero el aumento en el diámetro basal no mostró este patrón. En *P. pseudostrabus* no hubo ninguna relación entre el incremento (en altura o diámetro basal) y el insecto ($R^2=0.06$, $F_{(1,39)}=2.65$, $p=0.11$).

was not affected by pine-bark mulch either (*P. montezumae*: $F_{2,43}=1.66$, $p=0.2$, *P. pseudostrabus*: $F_{2,72}=0.47$, $p=0.77$).

DISCUSSION

The infestation of both species reached its greatest peak in May when 54 per cent of the tree area was covered by adelgides, which was corresponding to its life cycle temporality (Day, 1996; Cibrián, 2007). Insecticide was only efficient over *P. montezumae*. The morphology of the plant affects the insecticide efficiency, as the bark structure of *P. pseudostrabus* is more complex, insects can hide under it and thus avoid contact with the pesticide. Another possibility is that adelgides would be resistant to deltamethrine (Chávez *et al.*, 2005; Rosa *et al.*, 1997), but as both species were planted in a mixed way, some response would have been observed in any of them.

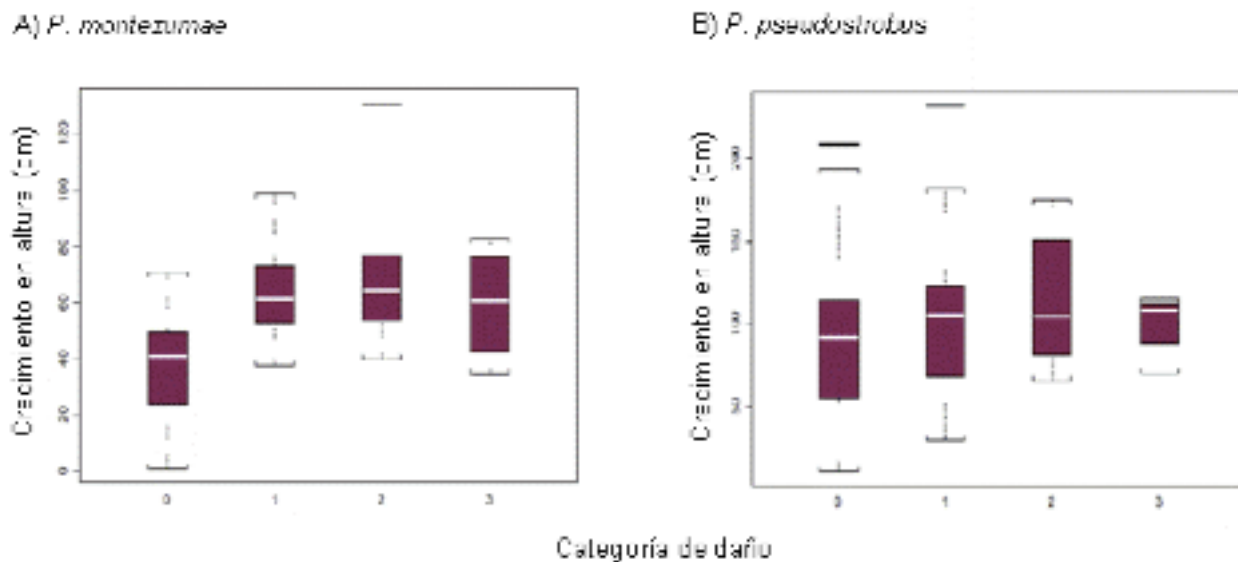


Figura 4. Crecimiento en altura de los pinos en 2006 (log (altura en noviembre - altura en enero)) en relación a la infestación por *P. strobi* para A) *P. montezumae* ($F_{(3,43)}=7.07$, $p<0.001$) y B) ($F_{(3,73)}=1.02$, $p=0.38$).
 Figure 4. Growth in height of pines in 2006 (log (height in November - height in January)) in regard to the infestation by *P. strobi* for A) *P. montezumae* ($F_{(3,43)}=7.07$, $p<0.001$) and B) *P. pseudostrobus* ($F_{(3,73)}=1.02$, $p=0.38$).

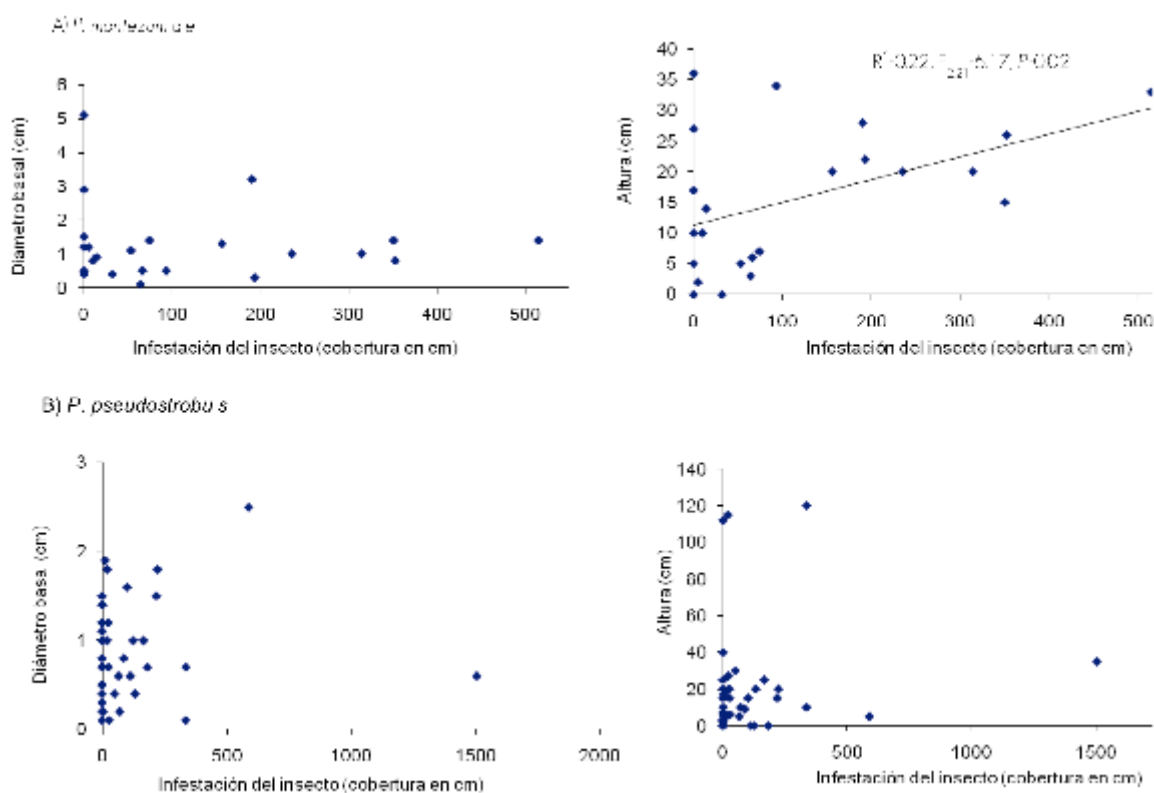


Figura 5. Relación entre la abundancia de *Pineus strobi* y el crecimiento de los árboles (incremento en la altura e incremento en el diámetro) en 2007 en las plantas de control.
 Figure 5. Relation between abundance of *Pineus strobi* and tree growth (height and diameter increment) in control plants in 2007.

Acolchado, abundancia de los insectos y desempeño de los árboles

El acolchado no incidió sobre la infestación de los *Pinus* por el adélgido en 2006 (*P. montezumae*: $F_{2,44}=0.03$, $p=0.97$, *P. pseudostrobus*: $F_{2,75}=0.14$, $p=0.87$). Para el siguiente año se repitió el patrón. El acolchado no fue significativo para la infestación por adélgidos (*P. montezumae*: $F_{2,41}=0.94$, $p=0.39$, *P. pseudostrobus*: $F_{2,70}=0.14$, $p=0.86$), y tampoco tuvo significancia la interacción del acolchado y la eliminación de los insectos (acolchado x insecticida: *P. montezumae*: $F_{2,41}=0.47$, $p=0.63$, *P. pseudostrobus*: $F_{2,70}=0.33$, $p=0.71$).

Con respecto al impacto del acolchado en el desarrollo de los árboles, en 2006 ambas especies de pino no presentaron beneficios por el tratamiento (*P. montezumae*: $F_{2,36}=0.18$, $p=0.84$, *P. pseudostrobus*: $F_{2,67}=0.49$, $p=0.61$); sin embargo para 2007 el acolchado benefició el desarrolló en altura de *P. montezumae* ($F_{2,41}=5.36$, $p=0.009$), en particular los árboles bajo el tratamiento de corteza crecieron más que los establecidos con *Lupinus* (prueba a posteriori de Tukey $p=0.006$), mientras que para *P. pseudostrobus* no hubo efecto ($F_{2,70}=0.32$, $p=0.32$). El tamaño de las agujas tampoco se afectó con acolchado (*P. montezumae*: $F_{2,43}=1.66$, $p=0.2$, *P. pseudostrobus*: $F_{2,72}=0.47$, $p=0.77$).

DISCUSIÓN

La infestación en las dos especies llegó al máximo en el mes de mayo, cuando 54 % de la superficie de los árboles estaba cubierta por los adélgidos, hecho que correspondió con la temporalidad de su ciclo de vida (Day, 1996; Cibrián, 2007). La aplicación del insecticida sólo fue eficiente en *P. montezumae*. La morfología de la planta influye sobre la eficiencia del insecticida, y dado que la estructura de la corteza de *P. pseudostrobus* es más compleja, los insectos pudiesen ocultarse bajo ella, y así evitan el contacto con el plaguicida. La otra posibilidad es que los adélgidos fuesen resistentes a la deltametrina (Chávez *et al.*, 2005; Rosa *et al.*, 1997), pero como las dos especies de pino se plantaron alternadamente, se hubiera observado alguna respuesta en ambos pinos.

En este trabajo el insecticida no incidió en la altura de la planta, sin embargo, en el diámetro de *P. montezumae* tuvo efectos negativos (Figura 2). Los individuos control alcanzaron valores más grandes para este parámetro, en consecuencia se infiere que el insecticida Decis® tuvo una acción fitotóxica sobre esta especie. Varios compuestos químicos, tales como: el dimetoato, el carbarilo y el Pynosect, que se utilizan para controlar las plagas de insectos, son tóxicos para las plantas (Medina, 1978; Straw y Fielding, 1998). A la fecha la deltametrina no ha sido descrita con esa propiedad.

In this work, the insecticide did not affect the height of the plant; however, it had negative effects upon the diameter of *P. montezumae* (Figure 2). Control individuals reached greater values for this parameter; consequently, it is inferred that Decis® had a phytotoxic action over this species. Several compounds like Dimethoate, Carbaril and Pinosect, that are used to control insect plagues, are toxic for the plants (Medina, 1978; Straw and Fielding, 1998). Deltamethrin has not been described for this condition.

The pine-bark mulch treatment with bark showed to be beneficial for the growth of *P. montezumae* in 2007, not in 2006, or to *P. pseudostrobus*. This result can reflect the variation of the environmental inter-annual conditions, in dry years, as was 2007, the presence of pine bark mulch provides some protection to the roots and becomes positive for the development of the tree, even though it did not relate either with the incidence of *P. strobi* or with the effect of the insecticide. The advantages of the treatment did not reflect in a better defense against the herbivorous insect by the tree.

Response of the plants to insect attack

Plants have different responses to the attack of herbivores, which are positive, negative or neutral. They may be harmed, unharmed or even benefited by them (Strauss and Agrawal, 1999; Agrawal, 2000). From that start point, most of them are damaged when there is herbivores presence (Seymour, 2007). In this study, it was observed a case of lack of response and another case, that it was positive. In spite of the 60% of the plant area covered by *Pineus strobi*, some individuals of *P. montezumae* recorded a greater growth than the control examples, in two consecutive years (2006 and 2007). The mitigation effect or overcompensation to the attack of sucking insects has been documented for other species. For example, Dungan *et al.* (2007) reported that *Nothofagus solandri* var. *solandri* (Hook f.) Oerst. totally overcomes the attack by *Ultracoelostoma assimile* Maskell; Klingeman *et al.* (2000) stated that azaleas tolerate being covered by lace bugs up to 14% without reducing the production of flowers and leaves; Rosenheim *et al.* (1997) proved that cotton relieves the damage caused by aphids (*Aphis gossypii* Glover) during the early stage of seedlings. To acknowledge that the presence of *A. gossypii* in the early stage is not a plague is critical for the sustainability of the production of cotton, since it will make it possible for the producers to avoid the application of pesticides that accelerate the development of the resistance to them and cause damage to the natural communities by predators and parasitoids.

The fact that the studied pine species were able to tolerate the attack of sucking insects, even when they are abundant, implies that it is not necessary to control the insects during the juvenile stage of plants, when they have already established.

El tratamiento de acolchado con corteza mostró ser benéfico para el crecimiento de *P. montezumae* en 2007, no así en 2006, ni para *P. pseudostrobus*. Este resultado puede ser reflejo de la variación de las condiciones ambientales interanuales, en años secos, como fue el caso de 2007, la presencia del acolchado representa una protección para las raíces, resulta positiva para el desarrollo del árbol, aunque no se relacionó con la incidencia de *P. strobi*, ni con el efecto del insecticida. Las ventajas del tratamiento tampoco se reflejaron en una mejor defensa contra el insecto herbívoro por parte del arbolado.

Respuestas de las plantas al ataque de los insectos

Los vegetales tienen diferentes respuestas al ataque de los herbívoros, las cuales son positivas, negativas o bien neutras. Pueden ser perjudicados, no ser afectados o incluso beneficiarse (Strauss y Agrawal, 1999; Agrawal, 2000). A partir de ello, la mayoría son dañados cuando hay presencia de herbívoros (Seymour, 2007). En este estudio se observó, en un caso, falta de respuesta y en otro esta fue positiva. A pesar de que 60% de la superficie de la planta estaba cubierta por *Pinus strobi*, ciertos individuos de *P. montezumae* registraron un mayor crecimiento que los ejemplares de control, en dos años consecutivos (2006 y 2007). El efecto de mitigación o sobrecompensación al ataque de los insectos chupadores se ha documentado en otras especies. Por ejemplo, Dungan *et al.* (2007) consignaron que *Nothofagus solandri* var. *solandri* (Hook f.) Oerst. compensa totalmente el ataque por *Ultracoelostoma assimile* Maskell; Klingeman *et al.* (2000) citan que las azaleas toleran estar cubiertas hasta 14% por la chinche de ala de encaje, sin disminuir la producción de flores y hojas; Rosenheim *et al.* (1997) mostraron que el algodón mitiga el daño causado por áfidos (*Aphis gossypii* Glover) durante la etapa temprana de las plántulas. Reconocer que la presencia de *A. gossypii* en la etapa temprana no constituye una plaga es crucial para la sustentabilidad de la producción del algodón, porque permitirá que los productores se abstengan de aplicar plaguicidas que aceleran el desarrollo de la resistencia a los mismos y causan daños a las comunidades naturales de depredadores y parasitoides.

El hecho de que las especies de pinos estudiadas fueron capaces de tolerar el ataque de los insectos chupadores, incluso cuando éstos eran muy abundantes, implica que no se necesita controlar a los insectos durante la etapa juvenil de las plantas, cuando ya se han establecido. Es frecuente pensar que estos organismos siempre tienen un efecto adverso sobre la salud de los árboles, por lo que es importante eliminarlos en su totalidad; sin embargo, el presente trabajo evidencia que las plantas pueden soportar cierto daño y que la intervención no se requiere en todos los casos. Lo anterior implica una reducción en los costos del manejo, puesto que la aplicación de insecticidas no sería necesaria en plantaciones de *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* si fueran infectadas por

It is frequent to think that these organisms always have an adverse effect upon the health of the trees, which makes important to eliminate them at all; however, the present study makes it clear that plants can stand some damage and that intervention is not necessary in every case. This suggests a reduction of management costs, since insecticide application would not be necessary for plantations of *P. montezumae* and *P. pseudostrobus* if they are infected by *P. strobi*. An interesting research point refers to determine the compensation threshold in which damage by insects start to become evident (del-Val y Crawley, 2005).

Several physiologic mechanisms are involved in the response to the herbivore incidence, particularly the increment of photosynthetic rate (Retuerto *et al.*, 2003). The compensation of plants to sucking insects has been less studied; however, Dungan *et al.* (2007) reported that *Nothofagus solandri* var. *solandri* increases its photosynthetic rate after a herbivore infestation; also, there are defoliators that induce the same reaction in a variety of plants: *Avena barbata* Link, *Amaranthus hybridus* L., *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev, *Populus tremuloides* Michx., *Chamaedorea elegans* L. and *Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) J. A. Schultes (Hayashi *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2007, 2008; Suwa and Maherali, 2008; Zhao *et al.*, 2008).

One hypothesis to explain this compensation is that plants could benefit from the secretions of *P. strobi*, rich in carbon, that are placed on the bark of pines, which can reach the soil, and that, also, increase biotic activity and nutrient availability (Farji, 2007; Leschen, 2000; Diekmann *et al.*, 2002; Retuerto *et al.*, 2003; Gbrián, 2007). Herbivores (mainly vertebrates) have a detrimental effect over restoration, in particular, when they are able to eat the whole plant (Bonfil and Soberón, 1999; Holl and Quiros-Nietzen, 1999; Mayer *et al.*, 2000; Allen *et al.*, 2005; Blanco García and Lindig Cisneros, 2005; Johnston *et al.*, 2007; Sweeney *et al.*, 2007). However, in the actual experiment with the two pine species, herbivores did not affect the growth of trees.

CONCLUSIONS

Infestation of *Pinus montezumae* and *Pinus pseudostrobus* by *Pinus strobi* seems to be irrelevant for ecologic restoration, as it does not affect tree growth. Decis® does not eliminate *P. strobi* and suggests a phytotoxic effect upon *P. montezumae*. The limits to which trees can get to compensate the damages due to sucking insects is an interesting field of knowledge that has been poorly studied, and that could reveal promising results, as the expenses on insecticides would get lower. 🍷

P. strobi. Un aspecto importante por investigar en el futuro se refiere a la determinación del umbral de compensación en el cual se empiezan a manifestar los daños por los insectos (del-Val y Crawley, 2005).

Varios mecanismos fisiológicos están involucrados en la respuesta a la incidencia de herbívoros, particularmente el incremento en la tasa fotosintética (Retuerto *et al.*, 2003). La compensación de las plantas infestadas por insectos chupadores ha sido menos abordada; sin embargo, Dungan *et al.* (2007) registraron que *Nothofagus solandri* aumenta su tasa fotosintética después de una infestación por herbívoros, así mismo hay defoliadores que inducen la misma respuesta en una variedad de plantas: *Avena barbata* Link, *Amaranthus hybridus* L., *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev, *Populus tremuloides* Michx., *Chamaedorea elegans* L., y *Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) J. A. Schultes (Hayashi *et al.*, 2007; Stevens *et al.*, 2007, 2008; Suwa y Maherali, 2008; Zhao *et al.*, 2008).

Una hipótesis para explicar esta compensación es que las plantas podrían beneficiarse de las secreciones de *P. strobi*, ricas en carbón, que se depositan en la corteza de los pinos, los cuales pueden llegar al suelo, lo que a su vez, aumenta la actividad biótica y la disponibilidad de nutrientes (Farji, 2007; Leschen, 2000; Diekmann *et al.*, 2002; Retuerto *et al.*, 2003; Cibrián, 2007). Los herbívoros (principalmente vertebrados) tienen un efecto perjudicial sobre la restauración, en especial, cuando son capaces de comerse la planta completa (Bonfil y Soberón, 1999; Hall y Quiros-Nietzen, 1999; Mayer *et al.*, 2000; Allen *et al.*, 2005; Blanco García y Lindig Cisneros, 2005; Johnston *et al.*, 2007; Sweeney *et al.*, 2007). Sin embargo en el experimento aquí descrito con las dos especies de pinos, los herbívoros no perjudicaron el crecimiento de los árboles.

CONCLUSIONES

La infestación de *Pinus montezumae* y de *Pinus pseudostrobus* por *Pineus strobi* parece tener poca relevancia para la restauración ecológica, puesto que no afecta el crecimiento de los árboles. El insecticida Decis® no elimina a *P. strobi* y parece tener un efecto fitotóxico para *P. montezumae*. Los umbrales a los cuales los árboles son capaces de llegar para compensar los daños ejercidos por los insectos chupadores es un campo interesante y poco estudiado, que pudiera producir resultados prometedores, ya que se reducirían los gastos en insecticidas. 🌱

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro para la realización de este trabajo de investigación. Agradecemos a Arnulfo Blanco García, Mariela Gómez Romero, Esteban Aureoles Celso y a Salvador Ruiz Reyes su participación en el trabajo de campo. Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto (SEMARNAT-2002-C01-0760) a Roberto Lindig-Cisneros.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the support of the Nuevo San Juan Parangaricutiro Indian Community to accomplish this research. We thank Arnulfo Blanco García, Mariela Gómez Romero, Esteban Aureoles Celso and Salvador Ruiz Reyes their help in the field work stage. This study was sponsored by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) through the SEMARNAT-2002-C01-0760 project given to Dr- Roberto Lindig-Cisneros.

End of the English version

REFERENCIAS

- Agrawal, A. A. 2000. Overcompensation of plants in response to herbivory and the byproduct benefits of mutualism. *Trends Plant. Sci.* 5:309-313.
- Allen, M. F., E. B. Allen and A. Gómez-Pompa. 2005. Effects of mycorrhizae and nontarget organisms on restoration of a seasonal tropical forest in Quintana Roo, Mexico: Factors limiting tree establishment. *Restor. Ecol.* 13: 325-333.
- Benítez-Malvido, J., G. García-Guzmán and I. D. Kossmann-Ferraz. 1999. Leaf-fungal incidence and herbivory on tree seedlings in tropical rainforest fragments: an experimental study. *Biological conservation* 91: 43-150.
- Blanco-García, A. and R. Lindig-Cisneros. 2005. Incorporating restoration in sustainable forestry management: Using pine-bark mulch to improve native species establishment on tephra deposits. *Restor. Ecol.* 13: 703-709.
- Bonfil C. and J. Soberón. 1999. *Quercus rugosa* seedling dynamics in relation to its re-introduction in a disturbed Mexican landscape. *Appl. Veg. Sci.* 2: 189-200.
- Cairns, M. D., C. W. Lafon, J. D. Waldron, M. Tchakerian, R. N. Coulson, K. D. Klepzig, A. G. Birt and X. Weimin. 2008. Simulating the reciprocal interaction of forest landscape structure and southern pine beetle herbivory using LANDIS. *Landscape Ecol.* 23: 403-415.
- Cerda, L., A. Angulo, A. Durán and T. Olivares. 2003. Insectos asociados a bosques del centro sur de Chile. In: Baldini, A. y L. Pancel (Eds.). *Agentes del daño en del bosque nativo*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. pp. 201-281
- Chávez, J., J. Vargas and F. Vargas. 2005. Resistance to deltamethrin in two populations of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae) from Peru. *Rev. Peru. Biol.* 12: 161-164.
- Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. 2007. *Enfermedades Forestales en México/Forest Diseases in Mexico*. Universidad Autónoma Chapingo; Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT, México; U. S. Forest Service, Estados Unidos; Canadian Forest Service, Natural Resources, Canadá y Comisión Forestal de América del Norte, FAO. Chapingo, Edo. Méx., México 587 p.
- Cranshaw, W. 2004. *Garden insects of North America*. Princeton University Press. Princeton, NJ, USA. 656 p.
- Day, E. 1996. Pine Bark Adelgid. Insect Identification Laboratory. Virginia Cooperative Extension Publication 444-245 <http://www.sites.ext.vt.edu/departments/entomology/factsheets/pibadelg.html> (15 de mayo 2009)
- del-Val, E. and M. J. Crawley. 2005. Are grazing increaser species better tolerators than decreaseers? An experimental assessment of defoliation tolerance in eight British grassland species. *J. Ecol.* 93: 1005-1016.
- Diekmann, M. 2002. *Pinus* spp. FAO/IPGRI Technical Guidelines for the Safe Movement of Germplasm 21: 4-59.
- Dreistadt, S. H. and J. K. Clark. 2004. *Pests of landscape trees and shrubs: An integrated pest management guide*. ANR Publications. Oakland, CA, USA. 501 p.
- Dungan, J. R., M. H. Turnbull and D. Kelly. 2007. The carbon costs for host trees of a phloem-feeding Herbivore. *J. Ecol.* 95: 603-613.
- Ehrenfeld, J. G. and L. A. Toth. 1997. Restoration ecology and the ecosystem perspective. *Restor. Ecol.* 5: 307-317.

- Eveleigh, E. S., K. S. McCann, P. C. McCarthy, S. J. Pollock, C. J. Lucarotti, B. Morin, G. A. McDougall, D. B. Strongman, J. T. Huber, J. Umbanhowar and L. D. B. Faria. 2007. Fluctuations in density of an outbreak species drive diversity cascades in food webs. *P. Natl. Acad. Sci.* 104: 16976-16981.
- Farji, B. G. A. 2007. How plants may benefit from their consumers: leaf-cutting ants indirectly improve anti-herbivore defenses in *Carduus nutans* L. *Plant Ecol.* 193: 31-38.
- Hayashi, M., N. Fujita and A. Yamauchi. 2007. Theory of grazing optimization in which herbivory improves photosynthetic ability. *J. Theor. Biol.* 248: 367-376.
- Holl, K. D. and E. Quiros-Nietzen. 1999. The effect of rabbit herbivory on reforestation of abandoned pasture in southern Costa Rica. *Biol. Conserv.* 87: 391-395.
- Joe, S. M. and C. C. Daehler. 2008. Invasive slugs as under-appreciated obstacles to rare plant restoration: evidence from the Hawaiian Islands. *Biol. Invasions* 10: 245-255.
- Johnston, D. B., D. J. Cooper and N. Thompson-Hobbs. 2007. Elk browsing increases aboveground growth of water-stressed willows by modifying plant architecture. *Oecologia* 154: 467-478.
- Kaiser, C. N., D. M. Hansen and C. B. Müller. 2008. Habitat structure affects reproductive success of the rare endemic tree *Syzygium mamillatum* (Myrtaceae) in restored and unrestored sites in Mauritius. *Biotropica* 40: 86-94.
- Klingeman, W. E., S. K. Braman and G. D. Buntin. 2000. Azalea growth in response to azalea lace bug (Heteroptera: Tingidae) feeding. *J. Econ. Entomol.* 94: 129-137.
- Leschen, B. A. R. 2000. Beetles feeding on bugs (Coleoptera, Hemiptera): repeated shifts from mycophagous ancestors. *Invertebr. Taxon.* 14: 917-929.
- Lindig-Cisneros, R., A. Blanco-García, C. Sáenz-Romero, P. Alvarado-Sosa y N. Alejandre-Melena. 2007. Restauración adaptable en la meseta purépecha, Michoacán, México: hacia un modelo de estados y transición. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 80: 25-31.
- López-Upton, J. 2003. *Pinus pseudostrobus* Lindl. Species description in the tropical tree seed manual. Part II. pp. 636-637.
- Masera, O. R., M. J. Ordoñez and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: Current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Mayer, J. J., E. A. Nelson and L. D. Wike. 2000. Selective depredation of planted hardwood seedlings by wild pigs in a wetland restoration area. *Ecol. Eng.* 15: 79-85.
- Mazzei, K. and M. Masiuk. 2007. Cooperative Extension-College of Agricultural Sciences. Woody ornamental IPM. <http://woodypests.cas.psu.edu/FactSheets/InsectFactSheets/html/PinBarkA.html> (7 de mayo del 2009).
- McLure, M.S. 1991. Adelgid and scale insect guilds on hemlock and pine. In: Baranchikov, Y. N., W. J. Mattson, F. P. Hain, and T. L. Payne (Eds.). *Forest Insect Guilds: Patterns of Interaction with Host Trees*. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-153. 256-270.
- Medina, V. 1978. Presencia en Valencia de *Rhizoecus cacticans* (Hamb.) (Homoptera, Pseudococcidae). *Bol. Serv. Plagas* 4: 15-21.
- Perry, J. P. Jr. 1991. *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press, Portland, OR, USA. 231 p.
- Retuerto, R., S. Rodríguez-Roiloa, B. Fernández-Lema y J. R. Obeso. 2003. Respuestas compensatorias de plantas en situaciones de estrés. *Ecosistemas* 12: 1-7.
- Rosa, M. J., J. E. Araya, M. A. Guerrero and L. Lambrot. 1997. Resistance levels of *Plutella xylostella* to three insecticides in several locations in the central zone of Chile. *Bol. San. Veg. Plagas* 23: 571-581.
- Rosales, J. C. y M. Cermeli. 1993. *Pinus strobi* (Hartig). Homoptera, Aphidoidea, Adelgidae en Venezuela. *Agronomía Trop.* 4: 305-310.
- Rosenheim, J. A., L. R. Wilhoit, P. B. Goodell, E. E. Grafton-Cardwell and T. F. Leigh. 1997. Plant compensation, natural biological control, and herbivory by *Aphis gossypii* on pre-reproductive cotton: the anatomy of a non-pest. *Entomol. Exp. Appl.* 85: 45-63.
- Schoonhoven, L. M., J. J. A. van Loon and M. Dicke. 2005. *Insect-Plant biology*. Oxford University Press. 2nd edition. NY, USA. 421 p.
- Schowalter, T. D. 1995. Canopy arthropod communities in relation to forest age and alternative harvest practices in western Oregon. *Forest Ecol. Manage.* 78: 115-125.
- Seymour, L. C. 2007. Grass, rainfall and herbivores as determinants of *Acacia erioloba* (Meyer) recruitment in an African savanna. *Plant Ecol.* 197: 131-138.
- Stevens, T. M., D. M. Waller and R. L. Lindroth. 2007. Resistance and tolerance in *Populus tremuloides*: genetic variation, costs and environmental dependency. *Evol. Ecol.* 21: 829-847.
- Stevens, M. T., E. L. Kruger and R. L. Lindroth. 2008. Variation in tolerance to herbivory is mediated by differences in biomass allocation in aspen. *Funct. Ecol.* 22: 40-47.
- Strauss, S. and A. A. Agrawal. 1999. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Trends Ecol. Evol.* 14: 179-185.
- Straw, N. and N. Fielding. 1998. Phytotoxicity of Insecticides used to Control Aphids on Sitka Spruce. The forest authority. A part of the forest commission. [http://www.forestry.gov.uk/PDF/fcin5.pdf/\\$FILE/fcin5.pdf](http://www.forestry.gov.uk/PDF/fcin5.pdf/$FILE/fcin5.pdf) (10 octubre 2008).
- Suwa, T. and H. Maherali. 2008. Influence of nutrient availability on the mechanisms of tolerance to herbivory in an annual grass, *Avena barbata* (Poaceae). *Am. J. Bot.* 95: 434-440.
- Sweeney, B. W., S. J. Czapska and C. Petrow. 2007. How planting method, weed abatement, and herbivory affect afforestation success. *South J. Appl. For.* 31(2): 85-92.
- Vela-Correa, G., B. E. Vázquez-Martínez, L. M. Rodríguez-Gamiño y V. I. Domínguez-Rubio. 2007. Caracterización edáfica de sitios con regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb. en el volcán la Malinche, México. *Agrociencia* 41: 371-383.
- Viveros-Viveros, H., C. Sáenz-Romero, J. López-Upton and J. J. Vargas-Hernández. 2007. Growth and frost damage variation among *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae* and *P. hartwegii* tested in Michoacán, México. *Forest Ecol. Manage.* 253: 81-88.
- Zhao, W., C. Shi-Ping and L. Guang-Hui. 2008. Compensatory growth responses to clipping defoliation in *Leymus chinensis* (Poaceae) under nutrient addition and water deficiency conditions. *Plant Ecol.* 196: 85-99.
- Zilahi-Balogh, G., L. T. Kok and S. M. Salom. 2002. Host specificity of *Laricobius nigrinus* Fender (Coleoptera: Derodontidae), a potential biological control agent of the hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* Annand (Homoptera: Adelgidae). *Biol. Control* 24: 192-198.
- Zilahi-Balogh, G. 2003. Seasonal abundance and synchrony between *Laricobius nigrinus* (Coleoptera: Derodontidae) and its prey, the hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae). *Canadian Entomol.* 135: 103-115.
- Zilahi-Balogh, G. 2004. Evaluating host range of *Laricobius nigrinus* for introduction into the Eastern United States for biological control of hemlock woolly adelgid. In: Van Driesche, R. G., T. Murray and R. Reardon (Eds.) *Assessing host ranges for parasitoids and predators used for classical biological control: a guide to best practice*. United States Department of Agriculture Forest Health Technology Enterprise Team, Morgantown, West Virginia, USA. pp. 224-239.
- Zilahi-Balogh, G. M. G., C. D. Broeckling, L. T. Kok and S. M. Salom. 2005. Comparison between a native and exotic adelgid as hosts for *Laricobius rubidus* (Coleoptera: Derodontidae). *Biocontrol Science Tech.* 15: 165-171.

