

EFFECTO DEL DAÑO POR FUEGO Y DESCORTEZADORES SOBRE LA MORTALIDAD DE *Pinus patula* Schl. et Cham EN HIDALGO, MÉXICO

EFFECT OF WILDFIRE AND BARK BEETLE DAMAGE ON *Pinus patula* Schl. et Cham. MORTALITY AT HIDALGO, MÉXICO

Juana Fonseca-González^{1*}, H. Manuel de los Santos-Posadas², Alejandro Rodríguez-Ortega³, Rodrigo Rodríguez-Laguna¹

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Avenida Universidad km 1, 43600. Tulancingo, Hidalgo A.P. 32. (fonsecaj@uaeh.edu.mx), (rodris71@yahoo.com). ²Forestal. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. ³Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Ingeniería en Agrotecnología. 42660. Tepatepec, Hidalgo. (arodriguez@upfm.edu.mx).

RESUMEN

Los ecosistemas forestales son susceptibles a los incendios y sus efectos pueden ser variables según la intensidad y severidad del fuego, produciendo cambios en la vegetación y en la actividad biológica, y la infestación por insectos descortezadores es una de las consecuencias más importantes. El objetivo del estudio fue analizar mediante regresión logística, la colonización de insectos y la mortalidad de árboles de *Pinus patula* luego de un incendio en un área de regeneración, para lo cual se realizó seguimiento durante 16 meses en el municipio de Cuauhtepic de Hinojosa, estado de Hidalgo, México. Las variables evaluadas en los árboles fueron: porcentaje de chamuscado de la copa, porcentaje de la circunferencia del tronco con evidencias de entrada de descortezadores del género *Ips*, número de grumos de resina provocados por descortezadores del género *Dendroctonus*, evidencias de la colonización por barrenadores y si el árbol se encontraba vivo o muerto. El 99 % de los insectos que colonizaron los árboles muertos por el incendio fueron los descortezadores secundarios *Ips integer*, *I. bonansea*, *I. cribricollis*, *Pseudips mexicanus* y *Pityophthorus* sp. y un barrenador ambrosial, *Gnathotrichus* sp. En los árboles vivos después del incendio se observaron también evidencias de ataque de *Dendroctonus valens* y *D. mexicanus*. Hubo relación alta entre el daño por incendios y la presencia subsiguiente de insectos, más de 82 % de los árboles chamuscados tuvieron evidencias de colonización, y sólo 6 % de los árboles sin daño fueron colonizados exitosamente. La mortalidad de los árboles aumenta con el porcentaje de chamuscado de copa, con la infestación por *Dendroctonus* e *Ips*: un árbol de 15 cm de diámetro y la mitad de la copa

ABSTRACT

Forest ecosystems are susceptible to wildfires, whose effects may vary greatly depending on their intensity and severity, causing changes in vegetation and biological activity. Infestation of bark beetles is one of the major consequences. The objective of this study was to analyze insect colonization and *Pinus patula* mortality following a forest fire in a regeneration area using logistic regression. Follow-up lasted 16 months at the municipality of Cuauhtepic de Hinojosa, state of Hidalgo, México. The variables assessed on trees were percentage of scorched crown, percentage of trunk circumference with evidence of entry of bark beetles of the genus *Ips*, number of pitch tubes caused by insects of the genus *Dendroctonus*, evidence of colonization by wood borers, and whether the tree was alive or dead. Of the insects that colonized trees killed by the fire, 99 % were secondary bark beetles: *Ips integer*, *I. bonansea*, *I. cribricollis*, *Pseudips mexicanus* and *Pityophthorus* sp. One was an ambrosia beetle *Gnathotrichus* sp. In live trees after the forest fire, there was also evidence of attack by *Dendroctonus valens* and *D. mexicanus*. There was a strong relationship between fire damage and subsequent presence of insects; more than 82 % of the scorched trees exhibited evidence of colonization, and only 6 % of undamaged trees were successfully colonized. Tree mortality increased with higher percentages of crown scorch, as did infestation by *Dendroctonus* and *Ips*: a tree 15 cm in diameter with half of its crown scorched has a 4.5 % probability of dying, which increases to 51 % when bark insect infestation is added to the model.

Key words: *Dendroctonus* sp., *Pseudips mexicanus*, *Pityophthorus* sp., *Ips integer*, *I. bonansea*, forest fires.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2013. Aprobado: diciembre, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 103-113. 2014.

chamuscada tiene 4.5 % de probabilidades de morir, la cual aumenta a 51 % cuando se adiciona al modelo la infestación por descortezadores.

Palabras clave: *Dendroctonus* sp., *Pseudips mexicanus*, *Pityophthorus* sp., *Ips integer*, *I. bonansea*, fuego.

INTRODUCCIÓN

Casi todos los ecosistemas forestales son susceptibles de presentar incendios, los cuales pueden originar grandes pérdidas ambientales (Flores, 2009). Como factor ecológico, el fuego influye en la composición, estructura y función de los ecosistemas, afectando a gran parte de sus componentes. Por tanto, sus efectos en los árboles pueden ser positivos o negativos de acuerdo con el nivel de adaptación al fuego de la especie y el nivel de alteración del régimen del fuego (Rodríguez, 2009).

Debido a su rápido crecimiento, adaptabilidad a varias condiciones ambientales y facilidad de manejo, *Pinus patula* Schl. et Cham. es uno de los pinos de mayor importancia para la silvicultura mexicana y también es el más plantado fuera del país (Velázquez *et al.*, 2004). Esta especie es un ejemplo de los más significativos entre los pinos mexicanos adaptados al fuego. Los incendios de intensidad moderada son importantes para su repoblación, ya que eliminan la competencia en los estratos inferiores así como la hojarasca del suelo, el calor les ayuda a liberar las semillas de sus conos serotinos; además, su rápido crecimiento inicial les permite alcanzar una altura mínima para sobrevivir a los incendios. En estado adulto algunos árboles tienen la capacidad de emitir brotes epicórmicos, y su corteza relativamente gruesa es otra adaptación al fuego (Vela, 1980; Rodríguez y Fulé, 2003). Sin embargo, en una masa joven, las especies adaptadas tienen limitaciones y generalmente sólo soportan fuegos superficiales de baja intensidad (Rodríguez, 2009). Un árbol quemado es más susceptible a ser afectado por plagas y enfermedades; así, varias especies de pino después de un incendio son colonizados principalmente por insectos descortezadores (Pérez, 1981; Rodríguez *et al.*, 2007; Fonseca *et al.*, 2008) incendio puede alterar los planes de manejo forestal porque se debe evaluar los daños y, de ser necesario, restaurar el área afectada.

El objetivo del presente estudio fue conocer cuáles son los insectos que colonizan árboles jóvenes de

INTRODUCTION

Almost all forest ecosystems are susceptible to occurrence of wildfires, which can cause major environmental losses (Flores, 2009). As an ecological factor, fires affect the composition, structure and function of ecosystems and a large part of their components. Therefore, the effects of fires can be positive or negative, depending on how adapted to fire the species is and on the level of alteration of the fire regime (Rodríguez, 2009).

Because of its rapid growth, adaptability to environmental conditions and ease of management, *Pinus patula* Schl. et Cham. is a pine of major importance for Mexican silviculture; it is also the tree most widely planted outside México (Velázquez *et al.*, 2004). This species is one of the most significant examples of Mexican pines adapted to fire. Moderate intensity fires are important for repopulation since competition and forest litter are eliminated in the lower strata and the heat helps release seeds from its serotinous cones. Moreover, its rapid initial growth enables it to reach a height sufficient to survive fires. In their adult stage, some trees have the capacity to emit epicormic shoots. Its relatively thick bark is another adaptation against fire (Vela, 1980, Rodríguez and Fulé, 2003). However, as saplings, adapted species have limitations and generally endure only low intensity surface fires (Rodríguez, 2009). A burnt tree is more susceptible to pests and disease, and after a fire several pine species are colonized mainly by bark beetles (Pérez, 1981; Rodríguez *et al.*, 2007; Fonseca *et al.*, 2008). A wildfire can alter forest management plans because damages must be assessed and, if necessary, restore the affected area. The objective of this study was to determine what insects colonize young *P. patula* Schl. et Cham. trees damaged by fire, the variables of this damage associated with tree mortality, and what influence the beetles have in tree mortality.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the Chacalapa Ranch, municipality of Cuautepéc de Hinojosa, state of Hidalgo, Mexico (Figure 1). The dominant vegetation is conifer forest. In the tree stratum there is an association of *Pinus montezumae* and *Pinus teocote* and to a lesser degree *Pinus michoacana*, *Pinus leiophylla*, *Pinus patula*, *Alnus jorullensis* and *Arbutus glandulosa* (Granados

P. patula Schl. et Cham. dañados por incendio, las variables de este daño asociadas con la mortalidad de los árboles, así como la influencia de los insectos en la muerte de los árboles.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue el Rancho Chacalapa, municipio de Cuauhtepc de Hinojosa, estado de Hidalgo, México (Figura 1). La vegetación predominante es bosque de coníferas, el estrato arbóreo presenta una asociación de *Pinus montezumae* y *Pinus teocote*, y en menor proporción *Pinus michoacana*, *Pinus leiophylla*, *Pinus patula*, *Alnus jorullensis* y *Arbutus glandulosa* (Granados *et al.*, 2000). En esta área manejada bajo el Método de Desarrollo Silvícola y con la técnica de regeneración de árboles padre, hubo un incendio el 20 de abril del 2008, que afectó el área de regeneración del año 2003, la cual tiene una superficie de 5.4 ha (López, F., 2008)⁴. No hubo oportunidad de evaluar

et al., 2000). The forest is managed following the guidelines of the Method of Silvicultural Development and the seed tree regeneration method. In this area there was a forest fire on April 20, 2008, which affected the 2003 regeneration area of 5.4 ha (López, 2008)⁴. There was no opportunity to assess the previous conditions of the area nor to observe the fire directly; thus, its intensity was determined indirectly with evidence remaining in the stand. Two months after the fire, sanitation logging was conducted: burnt trees were eliminated, and only those included in this study were left standing.

To identify the insects that colonized the trees that died immediately after the fire, in July 2008 six trees with orifices indicating entry of insects were selected. The trunks were cut into approximately 40 cm sections, which were placed in circular plastic containers 50 cm high and 40 cm in diameter during the period July to November. These containers served as rearing cages in which insect emergence could be observed. Emerged insects were placed in jars containing 70 % alcohol for preservation

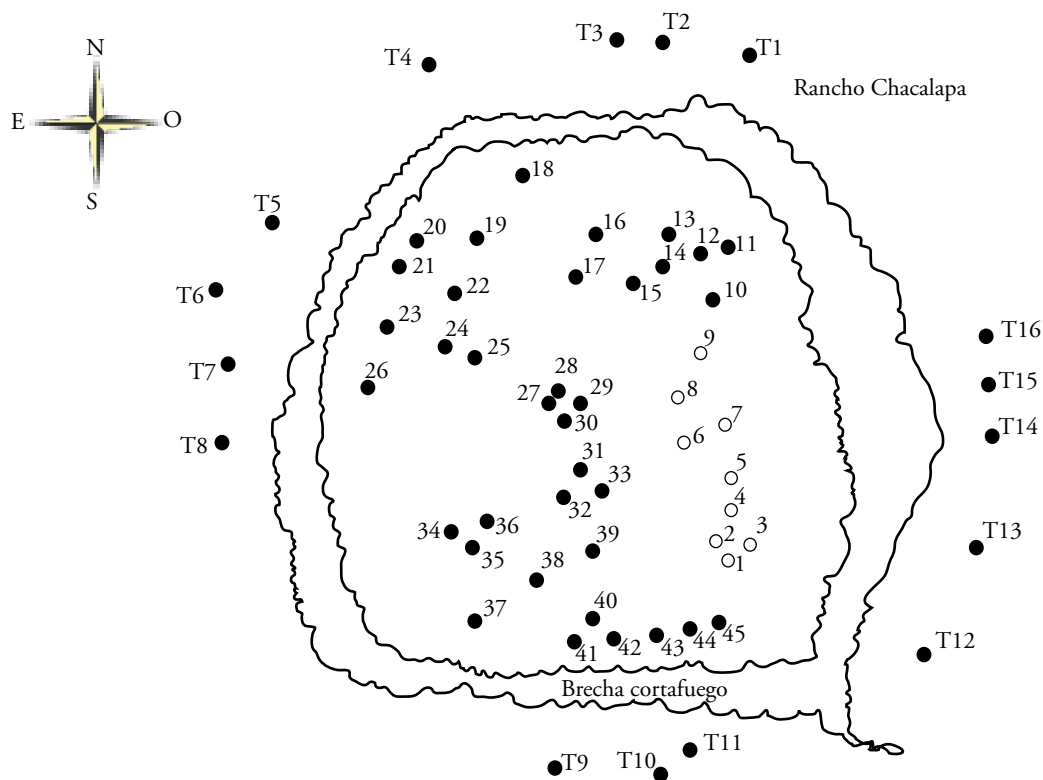


Figura 1. Distribución de los árboles en el área de estudio. T1-T16 árboles testigo, 1-45 árboles chamuscados. Rancho Chacalapa, Cuauhtepc de Hinojosa, Hidalgo, México.

Figure 1. Tree distribution in the study area. T1-T16 control trees, 1-45 fire damaged trees. Chacalapa Ranch, Municipality of Cuauhtepc, Hidalgo, México.

⁴López, F. Director Técnico de la Asociación de Silvicultores de la Región Forestal Pachuca Tulancingo. Avenida 21 de marzo No. 1001 Altos, Colonia Insurgentes, CP 43630, Tulancingo, Hidalgo.

las condiciones previas del área ni de observar directamente el incendio; así, su intensidad se registró indirectamente con las evidencias que dejó en el arbolado. Dos meses después del incendio se aplicó una corta de saneamiento eliminando los árboles con evidencia de quemado, sólo se mantuvieron en pie los árboles usados en este estudio.

Para conocer los insectos que colonizaron los árboles muertos inmediatamente después del incendio, en julio del 2008 se eligieron seis que presentaban orificios de entrada. Los troncos se cortaron en secciones de aproximadamente 40 cm y se colocaron de julio a noviembre en botes de plástico circulares de 50 cm de altura y 40 cm de diámetro que sirvieron como cubas de cría para observar la emergencia de los insectos. Éstos se recolectaron y colocaron en frascos con alcohol al 70 % para su preservación e identificación mediante las claves de Wood (1982) y Cibrián *et al.* (1995), marcando los frascos por fecha de emergencia.

Para registrar la mortalidad subsiguiente de los árboles y la llegada de insectos, se eligieron 45 árboles del área quemada, de 5 a 14 m de altura, y con diferente nivel de chamuscado de copa (Figura 2A). Como testigo se eligieron 16 árboles en las inmediaciones del área quemada, por lo que no presentaban daños por el incendio, pero sí las mismas condiciones de la masa afectada (Figura 2B). Del 2 de julio de 2008 (98 d después del incendio) hasta el 16 de noviembre de 2009 (600 d después del incendio), se realizaron ocho evaluaciones de los árboles. En la primera evaluación los 61 árboles se encontraban vivos, se etiquetaron y se registró su altura total y diámetro normal (diámetro del fuste del árbol a una altura de 1.3 m sobre el nivel del suelo). El nivel del daño causado por el incendio en el árbol se midió como el porcentaje de copa chamuscada, definiendo intervalos cada 10 %. Para conocer la colonización por insectos en los árboles vivos,

and later identification with the Wood (1982) and Cibrián *et al.* (1995) keys. Each jar was labeled with the emergence date.

To register subsequent tree mortality and arrival of insects, 45 trees were selected from the burnt area. Selected trees were 5 to 14 m tall with different degrees of crown scorch (Figure 2A). For controls, 16 trees were selected from the area immediately surrounding the fire area; these did not, therefore, exhibit fire damage, but grew in the same conditions as the affected stand (Figure 2B). From July 2, 2008 (98 d after the fire), to November 16, 2009 (600 d after the fire), eight assessments of the trees were conducted. In the first assessment all 61 trees were alive. These were labeled and their total height and diameter at breast height (dbh=trunk diameter 1.3 m above ground level) were recorded. The degree of damage caused by fire was measured in each tree as percentage of scorched crown, defining 10 % intervals. To determine insect colonization in live trees, at each assessment evidence of infestation was observed in the bark. For the genus *Ips*, percentage of trunk circumference with orifices in the bark was recorded and intervals of 10 % were generated following McHugh *et al.* (2003). Also, the presence of reddish sawdust, which is evidence of the entry of this genus (Cibrián *et al.*, 1995), was also noted. For *Dendroctonus mexicanus* Hopkins and *D. valens* LeConte, the number of pitch tubes produced by each of these species was recorded. For wood borers, only presence (1) or absence (0) was recorded, using the presence of whitish sawdust at the base of the tree (Figure 3) as evidence. Finally, at each assessment, tree survival was recorded, 1 if it was alive or 0 if dead.

To model tree survival after the fire, days after the fire (ddi), dendrometric variables (normal diameter and total height), percentage of scorched crown and damage by bark beetles and

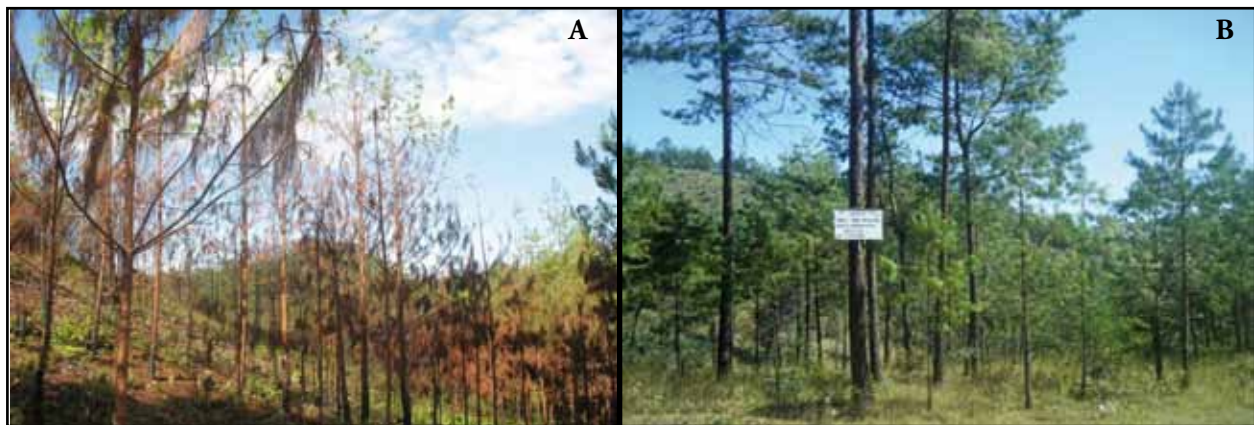


Figura 2. A) Árboles de *Pinus patula* con más de dos terceras partes de la copa chamuscada. B) Árboles de *Pinus patula* fuera del área del incendio tomados como testigo. Rancho Chacalapa, Municipio de Cuauhtepc, Hidalgo, México.

Figure 2. A) *Pinus patula* trees with more than two thirds of the crown scorch. B) *Pinus patula* trees outside the fire area used as controls. Chacalapa Ranch, Municipality of Cuauhtepc, Hidalgo, México.

en cada visita se evaluaron las evidencias de infestación observadas en la corteza. Para el género *Ips* se registró el porcentaje de la circunferencia del tronco con orificios en la corteza y se generaron intervalos de 10 % de acuerdo con McHugh *et al.* (2003); también se observó la presencia de aserrín rojizo, lo cual es evidencia de entrada de éste género (Cibrián *et al.*, 1995). Para *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y *D. valens* LeConte, se anotó el número de grumos de resina producido por cada una de estas especies. Para barrenadores de madera, se registró sólo su presencia (1) o ausencia (0), tomando como evidencia el aserrín blanquecino presente en la base del árbol (Figura 3). Por último, en cada evaluación se registró la supervivencia de los árboles, 1 si estaba vivo o 0 en caso contrario.

Para modelar la supervivencia de los árboles después del incendio se usaron como variables independientes: días después del incendio (ddi), variables dendrométricas (diámetro normal y altura total), porcentaje de copa chamuscada y el daño por descortezadores y barrenadores. Un análisis de regresión logística se utilizó con el siguiente modelo (Agresti, 2002):

$$S = \exp(f(x_i)) / (1 + \exp(f(x_i)))$$

donde S es la probabilidad de supervivencia del árbol y $f(x_i)$ es el módulo lineal que en este caso tiene la forma:

$$f(x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5$$

donde x_i son las variables independientes y sus parámetros. En esta última expresión β_i son los coeficientes de regresión. En este

wood borers were used as independent variables. A logistic regression analysis was used with the following model (Agresti, 2002):

$$S = \exp(f(x_i)) / (1 + \exp(f(x_i)))$$

where S is the tree's probability of survival and $f(x_i)$ is the linear model, which in this case has the form:

$$f(x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5$$

where x_i are independent variables and their parameters. In this expression, β_i are the regression coefficients. In this case, the independent variables are x_1 , the number of *Dendroctonus mexicanus* pitch tubes; x_2 is the percentage of trunk circumference exhibiting reddish sawdust evidencing colonization by the genus *Ips*; x_3 , days after the fire; x_4 , tree normal diameter of the in cm; and x_5 , percentage of crown scorch.

RESULTS AND DISCUSSION

From the tree trunks that died before initiating this study and placed in rearing cages, 1576 insect specimens were collected. Of these, 99.7 % were of the order Coleoptera (families: Curculionidae, Cleridae, Salpingidae, Histeridae and Cerambycidae), and only 0.3 % were pseudo scorpions and Hymenoptera. Of the coleopterans that emerged, 99 % were secondary bark beetles (*Ips integer*, *I. bonansea*, *I. cribricollis*,

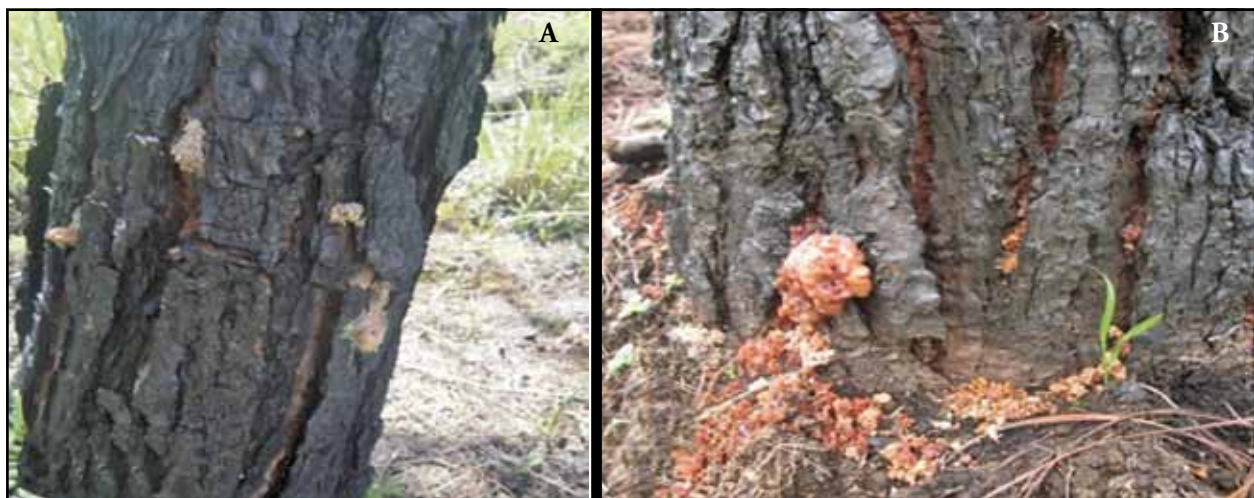


Figura 3. A) Grumos de *Dendroctonus mexicanus*. B) Grupo de *Dendroctonus valens* y aserrín blanquecino que evidencia la presencia de barrenadores de madera.

Figure 3. A) Pitch tubes produced by *Dendroctonus mexicanus*. B) Pitch tube and whitish sawdust produced by *Dendroctonus valens*, evidencing presence of wood borers.

caso las variables independientes son: x_1 es el número de grumos de *Dendroctonus mexicanus*, x_2 es el porcentaje de la circunferencia del tronco con presencia de aserrín rojizo que muestra la colonización del género *Ips*, x_3 son los días después del incendio, x_4 es el diámetro normal del árbol en cm y x_5 es el chamuscado de copa (porcentaje).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los troncos de arbolado muerto antes de iniciar este estudio y puestos en las cubas de cría, se recolectaron 1576 especímenes. De estos, 99.7 % fueron del orden Coleoptera (familias Curculionidae, Cleridae, Salpingidae, Histeridae y Cerambycidae) y sólo 0.3 % fue pseudoescorpiones e Hymenoptera. De los coleópteros que emergieron, 99 % eran descortezadores secundarios (*Ips integer*, *I. bonansea*, *I. cribricollis*, *Pseudips mexicanus* y *Pityophthorus* sp.) y un género de barrenador ambrosial (*Gnathotrichus* sp.) (Figura 4). Estos insectos colonizan árboles moribundos, y sólo bajo condiciones favorables pueden atacar exitosamente árboles sanos (Wood, 1982). Los árboles más dañados que murieron inmediatamente después del incendio, fueron los más atractivos para ellos. Cibrián *et al.* (1995), Santoro *et al.* (2001) y Fonseca *et al.* (2009) reportan que estos insectos afectan árboles de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. ponderosa* debilitados por incendios.

El género *Dendroctonus* no fue recolectado de estas muestras de árboles muertos, lo cual se esperaba porque requiere mayor humedad en los tejidos para la cría de su progenie (Billings *et al.*, 1990; Safranyik *et al.*, 2001); pero se registró su llegada en árboles vivos, quemados y no quemados. Los enemigos naturales de descortezadores no tuvieron una presencia importante y sólo se recolectaron cuatro depredadores de la familia Cleridae y un parasitoides de la familia Ichneumonidae. Los árboles dejados en pie para ser evaluados tuvieron una edad de 7 años, con promedios de diámetro normal de 12.3 cm y altura de 7.7 m. La severidad del chamuscado de la copa se muestra en el Cuadro 1.

De la muestra de 61 árboles vivos no se pueden obtener conteos poblacionales de insectos, pero sí se identificaron las especies presentes en cada fecha de visita. Hubo evidencias de entrada de descortezadores primarios (*Dendroctonus mexicanus*) en 61 % de los árboles, descortezadores secundarios (*D. valens* e *Ips* sp.) y barrenadores de madera en los árboles con

Pseudips mexicanus and *Pityophthorus* sp.) and there was one genus of ambrosia beetle (*Gnathotrichus* sp.) (Figure 4). These insects colonize dying trees, and only under favorable conditions can they successfully attack healthy trees (Wood, 1982). The most damaged trees that died immediately after the fire were the most attractive for them. Cibrián *et al.* (1995), Santoro *et al.* (2001) and Fonseca *et al.* (2009) report that these insects affect *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* and *P. ponderosa* trees weakened by fires.

The genus *Dendroctonus* was not collected in the samples from dead trees. This was expected since its progeny require more moisture in the tissues to survive (Billings *et al.*, 1990; Safranyik *et al.*, 2001). Their arrival, however, was recorded on live trees, burnt and not burnt. Presence of natural enemies of bark beetles was not significant, and only four predators of the Cleridae family and one parasitoid from the Ichneumonidae family were collected. The trees left standing for assessment were 7 years old and 7.7 m tall with average normal diameter of 12.3 cm. Severity of crown scorch is shown in Table 1.

From the sample of 61 live trees, no insects populations counts can be obtained, but the species present at each observation date were identified. There was evidence of entry of primary bark beetle (*Dendroctonus mexicanus*) in 61 % of the trees and

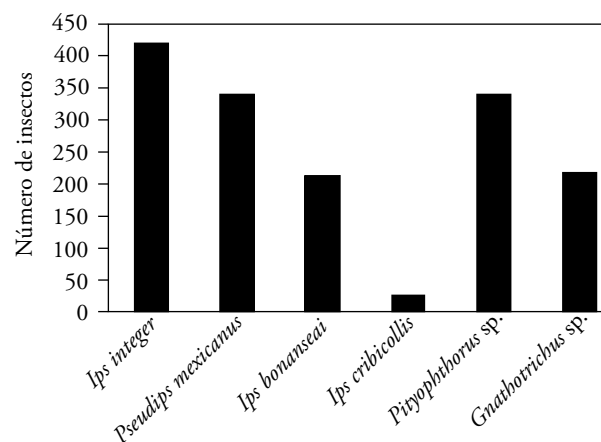


Figura 4. Insectos descortezadores y barrenadores recolectados en troncos de *Pinus patula* afectados por fuego y puestos en cubas de cría, Cuauhtepac, Hidalgo, México.

Figure 4. Bark beetles and wood borers insects collected from *Pinus patula* trunks affected by fire and place in rearing cages, Cuauhtepac, Hidalgo, México.

Cuadro 1. Daño presentado por los árboles de *Pinus patula* evaluados en el Rancho Chacalapa, Municipio de Cuauhtepc, Hidalgo.**Table 1. Damage exhibited by assessed *Pinus patula* trees on the Chacalapa Ranch, Municipality of Cuauhtepc, Hidalgo.**

Daño	Porcentaje de chamuscado de la copa	Número de árboles (%)
Sin chamuscado	0	16 (26 %)
Con chamuscado bajo	1 a 39	3 (5 %)
Con chamuscado medio	40 a 79	25 (41 %)
Con chamuscado alto	80 a 100	17 (28 %)

algún nivel de chamuscado. Los orificios de entrada de *Ips* sólo se observaron en la parte chamuscada del tronco, concordando con lo encontrado por Safranyik *et al.* (2001), Santoro *et al.* (2001) y Fonseca *et al.* (2008). Estos insectos comúnmente se encuentran sobre árboles con daño por incendio en México (Pérez, 1981; Cibrián *et al.*, 1995; Fonseca *et al.*, 2009). Sólo uno de los árboles testigo fue colonizado por *D. mexicanus*, y murió cuatro meses después de la infestación. Este árbol pudo haber estado debilitado por la competencia, pues Mitchell (1994), menciona que el género *Dendroctonus* suele atacar árboles debilitados por exceso de densidad (750 a 1500 árboles ha⁻¹).

Hubo relación alta entre el daño por incendio en los árboles y la colonización por insectos. Más de 82 % (n=37 de 45) de los árboles chamuscados tuvieron evidencias de infestación, mientras que sólo 6 % (n=1 de 16) de los árboles sin daño fue colonizado (Cuadro 2). Rodríguez *et al.* (2007) encontraron una relación semejante en árboles de *Pinus hartwegii*: al aumentar el nivel de chamuscado en la copa aumenta el porcentaje de árboles colonizados por descortezadores. Joseph *et al.* (2001) explican que la exposición de los tejidos del árbol al fuego puede estimular la producción de etanol, el cual atrae muchas especies de descortezadores y barrenadores ambrosiales.

Todos los árboles con daño menor por el incendio (hasta 30 % de la copa chamuscada) fueron colonizados por insectos descortezadores, pero no hubo evidencias de barrenadores de madera. Sin embargo, no tuvieron un efecto en la mortalidad, porque los árboles permanecían vivos al término del presente estudio, aunque el limitado número de árboles (n=3) dentro de esta categoría de daño no permite resultados

secondary bark beetles (*D. valens* and *Ips* sp.) and wood borers in trees with some degree of scorching. Entry orifices of *Ips* were observed only on burnt trunk areas, coinciding with the findings of Safranyik *et al.* (2001), Santoro *et al.* (2001) and Fonseca *et al.* (2008). These insects are commonly found on fire damaged trees in Mexico (Pérez, 1981; Cibrián *et al.*, 1995; Fonseca *et al.*, 2009). Only one of the control trees was colonized by *D. mexicanus*; it died four months after infestation. This tree may have been weakened by competition; Mitchell (1994) states that the genus *Dendroctonus* tends to attack trees that are weak because of excessive density (750 to 1500 tree ha⁻¹).

A strong relationship was found between degree of fire damage and insect colonization. More than 82 % (n=37 of 45) of the burnt trees exhibited evidence of infestation, while only 6 % (n=1 of 16) of the undamaged trees was colonized (Table 2). Rodríguez *et al.* (2007) found a similar relationship in *Pinus hartwegii*; with increasing degrees of burnt crown, the percentage of trees colonized by bark insects also increases. Joseph *et al.* (2001) explain that exposure of tree tissues to fire can stimulate production of ethanol, which attracts many species of bark and ambrosia beetles.

All trees with lower levels of fire damage (up to 30 % of the crown) were colonized by bark beetles, but no wood borers were observed. The pests, however, did not have an effect on mortality because trees remained alive to the end of the study. Nevertheless, the limited number of trees (n=3) in this damage category does not permit conclusive results. The trees with higher percentages of crown scorch (80

Cuadro 2. Mortalidad e infestación por insectos observadas en 61 árboles de *Pinus patula* después de un incendio forestal. Rancho Chacalapa, Municipio de Cuauhtepc, Hidalgo, México.**Table 2. Mortality and insect infestation observed in 61 *Pinus patula* trees after a forest fire. Chacalapa Ranch, Municipality of Cuauhtepc, Hidalgo, México, México.**

Daño	Árboles muertos	Árboles infestados
Sin chamuscado	6 %	6 %
Con chamuscado bajo	0 %	100 %
Con chamuscado medio	20 %	68 %
Con chamuscado alto	82 %	88 %

concluyentes. Los árboles con chamuscado de copa mayor (80 a 100 %) tuvieron porcentaje alto de infestación y de mortalidad, resultados que coinciden con lo reportado para *P. ponderosa* por Kelsey y Joseph (2003), quienes encontraron que los árboles con toda la copa chamuscada produjeron 15 veces más etanol en floema y 53 veces más en la albura que los testigos, por lo cual fueron los más atractivos para descortezadores secundarios y barrenadores ambrosiales. La especie de pino y el nivel de daño por el fuego son factores determinantes en la respuesta de los descortezadores y barrenadores. Rodríguez (2009), menciona que *P. patula* es una especie que no tiene la capacidad de recuperar follaje afectado por el fuego, lo cual limita su sobrevivencia, a diferencia de otras especies del género, inclusive las cespitosas como *P. montezumae*. En el presente estudio la colonización por insectos y la mortalidad de los árboles fue alta, contrario a los resultados reportados por Fonseca *et al.* (2009) en árboles de *P. montezumae* con una edad y daño similar por fuego, pero no fueron colonizados por insectos y la mortalidad fue nula.

Al final del presente estudio 42 % (n=19 de 45) de los árboles con algún nivel de chamuscado habían muerto. Los ocho árboles con chamuscado pero no colonizados por insectos estaban aún vivos.

El análisis estadístico de la mortalidad respecto a: ddi, altura, diámetro y porcentaje de chamuscado de copa, mostró que todas las variables fueron significativas, excepto la altura del árbol, porque está fuertemente correlacionada con el diámetro normal. El porcentaje de chamuscado de copa tuvo la mayor influencia tuvo sobre la mortalidad de los árboles. Al incluir el daño por insectos en el análisis, la variable ddi, no fue significativa lo cual muestra que la colonización por descortezadores tal vez tiene mayor influencia en la muerte de *P. patula* bajo estas condiciones, que el tiempo transcurrido desde el incendio (Cuadro 3).

De los insectos que arribaron a los árboles, los que más influyeron en la muerte fueron *Dendroctonus mexicanus* e *Ips* sp. Para entender la función de cada uno de estos insectos, se incluyeron en el modelo separadamente y los resultados muestran que ambos tienen una influencia similar en la disminución de la supervivencia de los árboles (Figura 5).

Para predecir la mortalidad utilizando el modelo logístico desarrollado, se consideró un árbol de 15 cm de diámetro normal y el valor promedio del

to 100 %) had high percentages of infestation and mortality. This result coincides with that of Kelsey and Joseph (2003) in *P. ponderosa*; these authors found that trees whose crowns were entirely burned produced 15 times more ethanol in the phloem and 53 times more in the sapwood than the controls and were thus more attractive to secondary bark and ambrosia beetles. The pine species and the level of fire damage are determining factors in the response of bark beetles and wood borers. Rodríguez (2009) states that *P. patula* is a species that does not have the capacity to recover foliage affected by fire, a fact that limits its survival, unlike other species of the genus including cespitose species such as *P. montezumae*. In our study, insect colonization and tree mortality were high, contrasting with the results of Fonseca *et al.* (2009) with *P. montezumae* similarly aged and fire damaged, but not colonized by insects, and there was no mortality.

At the end of this study 42 % (n=19 of 45) of the trees with some degree of fire damage had died. The eight trees that had fire damage but were not colonized by insects were still alive.

The statistical analysis of mortality with the variables ddi, height, diameter and percentage of crown scorch showed that all of the variables were significant, except tree height since this is highly correlated with diameter at breast height. The percentage of crown scorch had the most influence in tree mortality. When insect damage was included in the analysis, the variable ddi was not significant, indicating that colonization by bark insects perhaps had more importance for *P. patula* mortality under these conditions than the time lapse after the fire (Table 3).

Of the insects that arrived on the trees, those that had greater effect on mortality were *Dendroctonus mexicanus* and *Ips* sp. To understand the function of each of these insects, they were included in the model separately. The results show that both have similar influence in reducing tree survival (Figure 5).

To predict mortality using the logistic model developed, a 15 cm diameter at breast height tree and the average value of the crown scorch for each damage category were considered. In this way, it was observed that tree survival decreases drastically when insect colonization is included (Table 4).

Cuadro 3. Parámetros estimados del modelo de supervivencia logístico.**Table 3. Estimated parameters of the logistic survival model.**

Parámetro	Variable independiente	G.L.	Valor estimado	Error del parámetro	Ji cuadrada calculada	Prueba de rechazo Pr > Ji
β_0	Intercepto	1	8.5887	1.4752	33.8947	<0.001
β_1	Daño por <i>D. mexicanus</i>	1	-2.3343	0.5297	19.4215	<0.001
β_2	Daño por <i>Ips</i>	1	-2.2004	0.7921	7.7170	0.005
β_3	Ddi	1	-0.00669	0.00168	15.8977	<0.001
β_4	Diámetro normal	1	0.2154	0.0708	9.2446	0.002
β_5	Chamuscado de copa	1	-0.0704	0.0126	31.3655	<0.001

chamuscado de copa para cada categoría de daño. De esta forma se observó que la supervivencia de los árboles disminuye drásticamente al incluir la colonización por insectos (Cuadro 4).

Los árboles con 0 % de copa chamuscada (testigo) tampoco tuvieron afectación en las raíces, por lo que su probabilidad de morir es nula. Al incluir el daño por insectos esta probabilidad aumenta muy poco, ya que por ser árboles sin daños podrían enfrentar una eventual colonización por insectos.

El porcentaje de chamuscado de la copa y el daño por insectos fueron las variables más importantes para predecir la supervivencia de *P. patula* a 600 d de ocurrido el incendio. Lo anterior coincide con Peterson y Arbaugh (1986), quienes señalan que la mejor combinación de variables para predecir la supervivencia posterior a un incendio en masas de *P. contorta*, fue el chamuscado de copa junto con el chamuscado de la base del tronco. Para las condiciones del estudio, de los insectos que colonizaron los árboles chamuscados, *Dendroctonus mexicanus* fue el que mayor capacidad mostró para provocar la muerte.

CONCLUSIONES

A 20 meses de un incendio en una masa juvenil de *Pinus patula* en Hidalgo, México, los insectos que colonizaron los árboles quemados fueron principalmente los descortezadores *Dendroctonus*, *Ips*, *Pseudips*, *Pityophthorus* y barrenadores ambrosiales del género *Gnathotrichus* y de la familia Cerambycidae. En sólo uno de los 16 árboles seleccionados como testigo fuera del área quemada, y que por tanto no presentaron daño, arribaron insectos del género *Dendroctonus*. Ese árbol murió cuatro meses después de la colonización.

Trees with 0 % fire damage to the crown (control) were not affected in their roots either, so that the probability of dying is null. Including insect damage raises the probability little, as undamaged trees can cope with eventual insect colonization.

Percentage of crown scorch and insect damage were the most important variables for predicting *P. patula* survival 600 d after the fire. This coincides with Peterson and Arbaugh (1986), who found that the best combination of variables for predicting

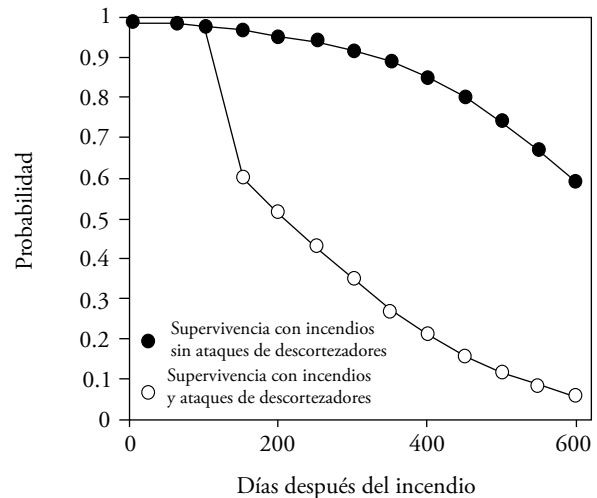


Figura 5. Comportamiento de la probabilidad de supervivencia de un árbol de *Pinus patula* con 70 % de chamuscado de copa y 15 cm de diámetro normal. Rancho Chalcalapa, Municipio Cuauhtepc de Hinojosa, Hidalgo, México.

Figure 5. Behavior of probability of survival of a 15 cm diameter at breast height *Pinus patula* tree with 70 % of its crown burnt. Chalcalapa Ranch, Municipality of Cuauhtepc de Hinojosa, Hidalgo, México.

Cuadro 4. Probabilidad de muerte de un árbol de *Pinus patula* de 15 cm de diámetro 600 días después de un incendio. Rancho Chacalapa, Municipio Cuauhtepac de Hinojosa, Hidalgo, México.

Table 4. Probability of death of a 15 cm diameter *Pinus patula* tree 600 days after a fire. Chacalapa Ranch, Municipality of Cuauhtepac, Hidalgo, México.

Diámetro (cm)	Chamuscado de copa (%)	Presencia de descortezadores	Probabilidad de muerte (%)
15	0	No	0
		Sí	0.02
	20	No	0.5
		Sí	9.4
	50	No	4.5
		Sí	51
	85	No	41
		Sí	94

De acuerdo al modelo logístico desarrollado, el porcentaje de copa chamuscada es la variable del daño por el incendio que más influyó en la mortalidad de los árboles. La colonización por los descortezadores *Ips* y *Dendroctonus* tiene un peso importante. En las condiciones del presente estudio, un árbol con la mitad de la copa chamuscada tiene once veces más probabilidades de morir si es colonizado por insectos descortezadores.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el financiamiento otorgado al proyecto de investigación mediante el convenio PROMEP/103.5/09/1234

LITERATURA CITADA

- Billings R., F., H. A. Pase III, y J. E. Flores L. 1990. Los escarabajos descortezadores del pino, con énfasis en *Dendroctonus frontalis*: Guía de campo para la inspección terrestre. Texas Forest Service Publication 146. 19 p.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yates III, y J. Flores L. 1995. Insectos Forestales de México/Forest Insects of México. Universidad Autónoma Chapingo. SARH Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre México. USDA Forest Service, Natural Resources Canada. Comisión Forestal de América del Norte FAO. Pub. # 6. 453 p.
- Fonseca G., J., H. M. de los Santos P., C. Llanderal C., D. Cibrián T., D. A. Rodríguez T., y J. Vargas H. 2008. *Ips* e insectos barrenadores en árboles de *Pinus montezumae* dañados por incendios forestales. Madera y Bosques 14(1): 69-80

survival after a fire in stands of *P. contorta* was crown scorch together with stem char. For the conditions of our study, of the insects that colonized burnt trees, *Dendroctonus mexicanus* was that with the greatest capacity to cause death.

CONCLUSIONS

In a young stand of *Pinus patula* in Hidalgo, Mexico, 20 months after a fire, the insects that colonized burnt trees were mainly the bark beetles *Dendroctonus*, *Ips*, *Pseudips*, *Pityophthorus* and an ambrosia beetle of the genus *Gnathotrichus* and the family Cerambycidae. Insects of the genus *Dendroctonus* arrived on a single tree of the 16 selected as undamaged controls outside the burned area. This tree died four months after colonization.

According to our logistic model, the percentage of crown scorch is the fire damage variable that most influenced tree mortality. The *Ips* and *Dendroctonus* bark beetles that colonized fire damaged trees were of equal importance. Under the conditions of this study, a tree with half of its crown seared has eleven times more probability of dying if it is colonized by bark beetles.

—End of the English version—

-----*-----

- Fonseca G., J., C. Llanderal C., D. Cibrián T., A. Equihua M., y H. M. de los Santos P. 2009. Secuencia de arribo de coleópteros en árboles de *Pinus montezumae* Lamb. dañados por incendios. Rev. Ciencia For. Méx. 34(106): 149-170.
- Flores G., J. G. 2009. El papel del fuego en la dinámica de los ecosistemas forestales. In: Flores G., J. G. (coord). Impacto Ambiental de Incendios Forestales. Mundi Prensa. México. pp: 39-47.
- Granados S., D., R. Germán H., y G. F. López R. 2000. Estudio Ecológico Florístico del Municipio de Cuauhtepac de Hinojosa, Hidalgo. Rev. Chapingo Serie Ciencias For. y del Ambiente 6(2): 103-112.
- Joseph, G., R. G. Kelsey, R. W. Peck, and C. G. Niwa. 2001. Response of some scolytids and their predators to ethanol and 4-allylanisole in pine forests of central Oregon. J. Chem. Ecol. 27: 697-715.
- Kelsey, R. G., and G. Joseph. 2003. Ethanol in ponderosa pine as an indicator of physiological injury from fire and its relationship to secondary beetles. Can. J. For. Res. 33: 870-884.
- Mitchell, J. L. 1994. Commercial thinning of mature lodgepole pine to reduce susceptibility to mountain pine beetle. FRDA report 224, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre; B.C. Ministry of Forests. pp: 3-7.

- McHugh, C., T. E. Kolb, and J. L. Wilson. 2003. Bark beetle attacks on ponderosa pine following fire in northern Arizona. *Environ. Entomol.* 32 (2): 510-522.
- Pérez Ch., R. 1981. Los incendios forestales como vectores de las plagas del bosque. *Rev. Ciencia For.* 29 (6): 17-30.
- Peterson, D. L., and M. J. Arbaugh. 1986. Postfire survival in Douglas-fir and lodgepole pine: comparing the effects of crown and bole damage. *Can. J. For. Res.* 16: 1175- 1179.
- Rodríguez T., D. A., and P. Z. Fulé. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *Int. J. Wildland Fire*12:23-37.
- Rodríguez T., D. A., U. B. Castro S., M. Zepeda B. and R. J. Carr. 2007. First year survival of *Pinus hartwegii* following prescribed burns at different intensities and different seasons in central Mexico. *Int. J. Wildland Fire*16:54-62.
- Rodríguez T., D. A. 2009. El fuego y sus efectos en los árboles. *In: Flores G., J. G. (coord). Impacto Ambiental de Incendios Forestales.* Mundiprensa. pp: 103-119.
- Safranyik, L., D. A. Linton, T. L. Shore, and B. C. Hawkes. 2001. The effects of prescribed burning on mountain pine beetle lodgepole pine. Information report BC-X-391 Natural Resources Council, Canadian Forest Service, Pacific Forest Centre. Victoria, British Columbia. 9 p.
- Santoro, A. E., M. J. Lombardero, M. P. Ayres, and J. J. Ruel. 2001. Interactions between fire and bark beetles in an old growth pine forest. *For. Ecol. Manage.* 144 (1/3): 245-254.
- Vela G., L. 1980. Contribución a la Ecología de *Pinus patula* Schl. et Cham. Publicación especial No. 19. INIF/SARH. México, D. F. 109 p.
- Velázquez M., A., G. Ángeles P., T. Llanderal O., A. R. Román J., y V. Reyes H. 2004. Monografía de *Pinus patula*. SEMARNAT. CONAFOR. Colegio de Postgraduados. México, D. F. 131 p.
- Wood, S. L. 1982. The Bark and Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a Taxonomic Monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs* 6. 1359 p.