



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO FORESTAL**

**LOS FACTORES DEL SITIO Y SU RELACIÓN CON  
EL ATAQUE DEL DESCORTEZADOR *Dendroctonus  
adjunctus* B. EN UN BOSQUE DE *Pinus hartwegii* L.**

**MARTÍN PÉREZ CAMACHO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2010**

La presente tesis, titulada: **Los factores del sitio y su relación con el ataque del descortezador *Dendroctonus adjunctus* B. en un bosque de *Pinus hartwegii* L.**, realizada por el alumno: **Martín Pérez Camacho**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
FORESTAL**

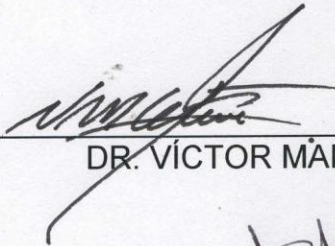
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:




DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR:



DR. VÍCTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

ASESOR:



DR. ARMANDO EQUIHUA MARTÍNEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ TULIO MÉNDEZ MONTIEL

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2010

## **Agradecimientos**

Agradezco al Colegio de Postgraduados y en especial al Postgrado Forestal por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en esta institución.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haber financiado mis estudios de postgrado.

Al Dr. Miguel Ángel López López, por su constante esfuerzo, orientación y paciencia para la realización de este trabajo. Por compartir abiertamente sus conocimientos tan valiosos, así como por el apoyo y confianza brindados desde el primer momento en que tuvimos comunicación y sobre todo por el gran apoyo personal. Infinitamente gracias por todo y por su amistad.

Al Dr. Victor Manuel Cetina Alcalá por sus atinadas aportaciones que contribuyeron a mejorar en mucho el presente trabajo. Por la acertada orientación y respaldo que me supo dar en un momento decisivo de este trabajo, y por brindarme confianza y amistad.

Al Dr. Armando Equihua Martínez por sus acertadas sugerencias y observaciones a este trabajo. Porque más allá de sus funciones, intervino a tiempo para que este esfuerzo en conjunto culminara bien.

Al Dr. José Tulio Méndez Montiel por sus acertadas observaciones y por su notable interés en mejorar este trabajo.

A mis profesores de cursos a quienes siempre recuerdo con nostalgia y respeto.

A las secretarías Maru, Lupita y Sandra porque siempre mostraron disponibilidad en apoyarme.

# CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS .....	3
Objetivo general. ....	3
Objetivos particulares.....	3
3. HIPÓTESIS .....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
4.1. Descripción del descortezador <i>Dendroctonus adjunctus</i> Blandford .....	6
4.3. Descripción de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. ....	15
4.4 Factores que favorecen la aparición de plagas en los bosques. ....	16
4.5. Defensa de las coníferas ante el ataque de descortezadores .....	22
4.6. Cambio climático global y ataque de <i>D. adjunctus</i> . ....	24
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
5.2. Descripción del área de estudio.....	26
5.3. Diseño de muestreo.....	28
5.4. Distribución de los sitios de muestreo en el área de estudio. ....	29
5.5. Descripción de los sitios de muestreo. ....	30
5.6. Procedimiento de evaluación de las variables en cada sitio. ....	32
5.7. Análisis estadístico de la información de campo. ....	39
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	40
6.1. Factores del sitio y número de pinos infestados. ....	40
6.2. Factores del sitio y cantidad de pinos infestados, incluyendo pinos muertos y tocones. ....	43
6.3. Factores del sitio y su efecto en la severidad del ataque. ....	51

6.4. Factores del sitio y número de grumos por unidad de superficie de corteza... 53	53
6.5. Orden de influencia de los factores del sitio en la incidencia de <i>D. adjunctus</i> en base al número de variables dependientes afectadas. .... 56	56
7. CONCLUSIONES..... 58	58
8. RECOMENDACIONES ..... 59	59
9. LITERATURA CITADA..... 60	60

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Coordenadas de los 40 sitios de muestreo. ....	31
Cuadro 2. Significancia y coeficientes de determinación de las variables exposición y capacidad de intercambio catiónico. ....	41
Cuadro 3. Número de pinos infestados en exposiciones norte y sur. ....	41
Cuadro 4. Significancia y coeficientes de determinación de las variables: pendiente, exposición, pedregosidad interna, nitrógeno, fósforo y potasio. ....	45
Cuadro 5. Cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones en exposiciones norte y sur .....	47
Cuadro 6. Significancia y coeficientes de determinación de las variables área basal por hectárea y exposición del terreno. ....	52
Cuadro 7. Severidad del ataque en exposiciones norte y sur. ....	53
Cuadro 8. Significancia y coeficientes de determinación de las variables área basal por hectárea y capacidad de intercambio catiónico. ....	54
Cuadro 9. Exposición del terreno en tres modelos obtenidos. ....	56
Cuadro 10. Capacidad de intercambio catiónico y área basal por hectárea en dos modelos obtenidos. ....	57
Cuadro 11. Fósforo, nitrógeno, potasio, pendiente del terreno y pedregosidad interna del suelo, seleccionados en un solo modelo. ....	57

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización geográfica del Cerro Tláloc al norte de la Sierra Nevada, Estado de México.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2. Distribución aleatoria de los 40 sitios muestreados dentro del área de estudio. ....</i>	<i>32</i>

# LOS FACTORES DEL SITIO Y SU RELACIÓN CON EL ATAQUE DEL DESCORTEZADOR *Dendroctonus adjunctus* B. EN UN BOSQUE DE *Pinus hartwegii* L.

Martín Pérez Camacho, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010

*Dendroctonus adjunctus* Blandford es el principal descortezador de los bosques de coníferas de alturas mayores a 2600 m.s.n.m (Cibrián *et al.*, 1980). En el bosque natural de *Pinus hartwegii* Lindl del Cerro Tlálóc, Texcoco Estado de México, existe alta mortalidad de pinos a causa del descortezador mencionado. El control silvícola de la plaga no ha sido suficiente hasta el momento para mantener las poblaciones de descortezadores en niveles bajos. Una estrategia adecuada de control necesita del conocimiento de los factores que influyen sobre la presencia y comportamiento de la plaga. Por este motivo, este estudio tuvo por objeto determinar si existe una relación entre una serie de factores del sitio y el ataque de *D. adjunctus*. Para esto, se recabó información de campo en 40 sitios de muestreo distribuidos aleatoriamente por toda el área de estudio. En cada sitio se midieron las siguientes variables: altitud; temperatura ambiental; humedad relativa; exposición y pendiente del terreno; fertilidad del suelo, humedad y pedregosidad internas del suelo; profundidad del horizonte A, cantidad de pinos infestados por *D. adjunctus*, número de grumos por sitio, número de pinos muertos incluyendo tocones de pino y diámetro a la altura del pecho de todos los árboles del sitio. Una vez ordenados los datos de campo éstos se procesaron mediante análisis de regresión múltiple, utilizando el procedimiento STEPWISE de SAS versión 6.12 (1996). Se obtuvieron cuatro modelos que relacionan los factores del sitio con variables indicadoras del daño por la plaga. Se concluye que existe relación entre algunos factores del sitio y el ataque de *D. adjunctus* en el bosque natural estudiado. Los factores que más influyen son: exposición del terreno, capacidad de intercambio catiónico, área basal por hectárea, concentraciones de N, P y K en el suelo, pendiente del terreno y pedregosidad interna del suelo.

**Palabras clave:** Factores del sitio, *Dendroctonus adjunctus*, *Pinus hartwegii*, descortezador.



**Site factors and their relationship to the bark beetle *Dendroctonus adjunctus* B.  
attack at a *Pinus hartwegii* L. forest**

**Martín Pérez Camacho, M. C.**

**Colegio de Postgraduados, 2010**

*Dendroctonus adjunctus* Blandford is the main bark beetle attacking conifer forests located at elevations higher than 2600 m.a.s.l (Cibrián *et al.*, 1980). In the natural *Pinus hartwegii* forest at Cerro Tlaloc, Texcoco, Estado de Mexico, there exists a high pine tree mortality caused by the above mentioned beetle. Silvicultural control of the pest has been insufficient to date to maintain the beetle populations at low levels. An adequate control strategy needs knowledge of the factors that affect the presence and behavior of the insect. Accordingly, the objective of this study was to determine if there exists any relationship among a series of site factors and the *D. adjunctus* attack. To achieve this goal, data were collected at 40 sampling sites randomly distributed around the study area. In each sampling site the following variables were measured: elevation, air temperature, relative humidity, aspect, slope, soil fertility, soil moisture and internal pedregosity, Depth of A-horizon, number of *D. adjunctus*-infested pine trees, number of clods per site, number of death pine trees including pine stumps per site, and breast height diameter of all trees within the site. After organizing the data, they were processed by using multiple regression analysis by means of the SAS Ver. 6.12 (1996) STEPWISE procedure. Four models that relate site factors with variables indicating bark beetle attack were obtained. It was concluded that there exists a relationship between some site factors and the attack of *D. adjunctus* at the natural forest studied. The most influencing site factors were: terrain aspect, soil cation exchange capacity, tree basal area per hectare, soil N, P, and K concentrations, terrain slope, and soil internal pedregosity.

**Key words:** Site factors, *Dendroctonus adjunctus*, *Pinus hartwegii*, bark beetle.

# 1. INTRODUCCIÓN

Como resultado de los diagnósticos y tratamientos sanitario forestales llevados a cabo en México, se ha determinado que los insectos descortezadores son el grupo de plagas que más superficie han afectado (40.5 %), destacando las especies (Curculionidae: Scolytinae), *Dendroctonus adjunctus* Blandford, *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins entre otras (SEMARNAT, 2002). En nuestro país, *D. adjunctus*, es el principal descortezador de los bosques de coníferas de alturas mayores a 2600 msnm. Sus daños han ocasionado alteraciones en los programas de manejo forestal desarrollándose planes de emergencia para su control (Cibrián *et al.*, 1980).

Como muestra de lo anterior, en el bosque natural de *Pinus hartwegii* Lindl ubicado en el Cerro Tláloc, Texcoco Edo. de México, a la fecha se ha presentado alta mortalidad de pinos principalmente a causa del descortezador *D. adjunctus*. Para combatir esta plaga, cada año se realizan cortas de saneamiento las cuales no han sido suficientes para controlar su propagación, por este motivo y sabiendo que esta plaga se propaga en manchones distribuidos en grandes rodales cuando incrementa su densidad (Rodríguez, 1990), surgió el interés por conocer si existe una relación entre los factores del sitio y el ataque de *D. adjunctus* en bosques de *P. hartwegii*. Razón por la cual, en este trabajo se ha planteado como objetivo general, determinar el grado de asociación, entre los factores del sitio y el ataque del descortezador *D. adjunctus*, así como generar modelos de regresión múltiple que señalen los factores que más expliquen el ataque de la plaga.

Éste trabajo permite conocer la relación entre los factores del sitio y el ataque de *D. adjunctus*, así como los factores que más influyen y su orden de influencia. Lo cual permitirá de manera oportuna, zonificar y detectar las áreas de alto riesgo al ataque por este descortezador y así planear un mejor manejo de los bosques de *P. hartwegii*.

Para cumplir con los objetivos planteados, el estudio se llevó a cabo en la parte alta de los ejidos San Dieguito y Tequexquináhuac, en el Cerro Tláloc, Texcoco, Edo. de

México, donde la especie dominante es *P. hartwegii*, considerando por tanto, que esta área cumple con las características necesarias para llevar a cabo este trabajo.

## 2. OBJETIVOS

### **Objetivo general.**

- Conocer la relación entre los factores del sitio y el comportamiento del descortezador *Dendroctonus adjunctus*, en bosque natural de *Pinus hartwegii*, en Texcoco, Edo. de México.

### **Objetivos particulares.**

- Evaluar el efecto de los factores del sitio sobre el grado de ataque de *D. adjunctus*.
- Evaluar el efecto de los factores del sitio sobre el número de pinos infestados por *D. adjunctus*.
- Evaluar el efecto de los factores del sitio sobre la cantidad de pinos infestados por *D. adjunctus*, incluyendo pinos muertos y tocones.
- Evaluar el efecto de los factores del sitio sobre la severidad al ataque de *D. adjunctus*.
- Evaluar el efecto de los factores del sitio sobre el número de grumos por unidad de superficie de corteza.

### 3. HIPÓTESIS

1. Existe una correlación positiva entre la exposición del terreno y el ataque de *D. adjunctus*.
2. Existe una correlación negativa entre la CIC y el ataque de *D. adjunctus*.
3. Existe una correlación positiva entre el grado de pendiente del terreno y el ataque de *D. adjunctus*.
4. Existe una correlación positiva entre el grado de pedregosidad interna del suelo y el ataque de *D. adjunctus*.
5. Existe una correlación negativa entre la concentración de N en el suelo y el ataque de *D. adjunctus*.
6. Existe una correlación negativa entre la concentración de P en el suelo y el ataque de *D. adjunctus*.
7. Existe una correlación negativa entre la concentración de K en el suelo y el ataque de *D. adjunctus*.
8. Existe una correlación positiva entre el área basal por hectárea y el ataque de *D. adjunctus*.
9. Existe una correlación positiva entre el diámetro a la altura del pecho y el ataque de *Dendroctonus adjunctus*.
10. Existe una correlación negativa entre la altitud y el ataque de *D. adjunctus*.
11. Existe una correlación positiva entre la temperatura ambiental y el ataque de *D. adjunctus*.
12. Existe una correlación positiva entre la humedad relativa y el ataque de *D. adjunctus*.
13. Existe una correlación negativa entre el grado de humedad del suelo y el ataque de *D. adjunctus*.
14. Existe una correlación negativa entre la profundidad del horizonte A y el ataque de *D. adjunctus*.

15. Existe una correlación negativa entre la concentración de materia orgánica en el suelo y el ataque de *D. adjunctus*.
16. Existe una correlación negativa entre el pH del suelo y el ataque de *D. adjunctus*.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Descripción del descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford

En México se denomina descortezador a toda plaga que habita y se desarrolla cerca del cambium y que con sus daños ocasiona posteriormente un descortezamiento del árbol (Rodríguez, 1990).

La palabra *Dendroctonus* significa “matador de árboles” (Chamberlin, 1958) y es el género más destructivo de pinos en México. Las especies acostumbran a vivir bajo la corteza, sobre árboles sanos o debilitados por otros factores. (Rodríguez, 1990).

El vigor del arbolado tiene una gran importancia en cuanto a su vulnerabilidad al ataque de los perforadores. Muchos de estos insectos se desarrollan débilmente o no se desarrollan sobre árboles muertos o sobre árboles vigorosos, viven y se desarrollan mejor cuando se encuentran sobre árboles decadentes o que atraviesan una etapa de debilitamiento (Romanyk *et al.*, 2003).

La mayor parte de los insectos descortezadores prefieren árboles muertos, en proceso de muerte o débiles, pero pueden llegar a atacar árboles sanos cuando los insectos están en estado de epidemia (Rudinsky, 1962).

Los insectos que se alimentan de floema y cambium constituyen el grupo más importante de los insectos forestales que atacan a las coníferas. Los miembros de los Ordenes Coleoptera y Lepidoptera se alimentan de floema. De los coleópteros, la subfamilia Scolytinae es la más importante y en ella se incluyen los descortezadores, los cuales hacen sus galerías debajo de la corteza (Cibrián *et al.*, 1995).

**Distribución:** Su distribución geográfica comprende varios estados del sureste de EUA, así como México y Guatemala (Rodríguez, 1990). En México se ha presentado en: Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sonora, Tlaxcala y Veracruz (Cibrián *et al.*, 1995).

**Hospedantes:** Esta especie vive de preferencia sobre pinos de montaña a más de 2,600 msnm que en México incluyen *Pinus hartwegii* Lindl, *Pinus rudis* y *Pinus montezumae* (Rodríguez, 1990). También ataca a *Pinus arizonica*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus chihuahuana*, *Pinus durangensis*, *Pinus flexilis*, *Pinus herrerae*, *Pinus lawsoni*, *Pinus maximinoi*, *Pinus michoacana*, *Pinus patula*, *Pinus pinceana*, *Pinus ponderosa*, *Pinus pseudostrobus*, (Cibrián *et al.*, 1995).

**Descripción:** La longitud del cuerpo del macho oscila de 2.9 a 6.6 mm, con promedio de 5.2 mm y la de la hembra de 3.4 a 6.9 mm, con 5.4 mm como promedio. La hembra es similar al macho, excepto que las elevaciones laterales y la ranura frontal son menos perceptibles (Rodríguez, 1990). El color del cuerpo cuando el insecto está maduro es negro o café oscuro. Los élitros tienen sus lados rectos y subparalelos en los dos tercios basales y son relativamente redondeados en la parte posterior. Las setas de dicho declive salen de gránulos bien definidos y son grandes y escasas, carácter que permite su identificación a nivel de especie. El huevecillo es de forma oblonga y de color blanco aperlado brillante; mide en promedio 1 mm de longitud y 0.6 mm de ancho. La larva es curculioniforme, con la cabeza bien desarrollada y mandíbulas fuertemente esclerosadas; el cuerpo es de color blanco cremoso y brillante. Se presentan cuatro instares larvales. La pupa es exarada; al principio del estado es de color blanco cremoso y posteriormente se observan tonos oscuros en mandíbulas, parte de alas y ojos. La longitud de las pupas es de 5.1 mm en promedio (Cibrián *et al.*, 1995).

**Ciclo biológico.** *D. adjunctus* presenta una generación por año, aunque las fechas en que ocurren los diferentes estados de desarrollo varían según la altitud local. Las variaciones que se registran son en la duración del tiempo requerido para el desarrollo de una generación y también en la época del año en que se presentan los distintos estados de vida. Así, se han registrado períodos de ataque a nuevos hospedantes desde agosto hasta marzo, aunque la gran mayoría de las infestaciones ocurre entre septiembre y noviembre. En los meses de mayo y junio se han observado ataques a nuevos hospedantes, aparentemente por hembras



reemergentes; sin embargo, este tipo de ataque es esporádico y de baja magnitud (Cibrián *et al.*, 1995).

En la parte norte de su distribución (Sur de Colorado y Utah) su periodo de vuelo principia a finales de septiembre y termina en noviembre (Chansler, 1967).

En la parte central de México, por efectos de temperatura y altitud, la dispersión ocurre en los meses de octubre a enero (Cibrián *et al.*, 1980).

El ataque de los insectos a nuevos árboles se realiza en un periodo que incluye varias semanas. El desarrollo de la progenie varía de acuerdo a la ubicación geográfica y altitudinal de los hospedantes. En México, la oviposición se puede presentar desde agosto hasta enero del siguiente año. Las larvas que pasan el invierno son principalmente larvas maduras que continúan su actividad durante los primeros meses de la primavera. La pupa es frecuente durante los meses de abril a junio y los preimagos desde junio hasta mediados de septiembre, pudiendo permanecer en el interior de la cámara de pupación hasta tres meses antes de la emergencia (Cibrián *et al.*, 1995).

**La colonización de los árboles.** El ataque a los árboles por los descortezadores se hace generalmente en dos fases: la atracción primaria y la atracción secundaria.

La atracción primaria está ejercida por la planta hospedante. Está caracterizada por la llegada de individuos pioneros poco numerosos que pertenecen a uno de los dos sexos. La atracción secundaria es consecutiva a la instalación de los individuos pioneros y se traduce en una colonización masiva y rápida que permite a los insectos debilitar las defensas del árbol (Dajoz, 2001).

*La atracción primaria.* Todos los árboles no son atractivos para los descortezadores. Solo lo son los que se encuentran en estado de deficiencia fisiológica como consecuencia de heridas, sequía, incendio, o los que son derribados por el viento o recién cortados. El ataque a árboles sanos es raro. Es posible en el momento de las pululaciones, que cuando los insectos son muy numerosos, se dirijan a los árboles sanos cuando todos los árboles deficientes están invadidos (Dajoz, 2001).

La localización de los árboles favorables por los insectos que se desplazan al vuelo es gracias a los estímulos olfativos. Las sustancias que pueden atraer a los descortezadores sobre las coníferas son mezclas complejas de sustancias presentes en las resinas. Son terpenos así como sus derivados alcohólicos producidos por oxidación. Las mezclas son a menudo más atrayentes que las sustancias puras y productos distintos de los terpenos pueden ser responsables de la atracción primaria (Dajoz, 2001).

Si la orientación de los escolítidos está principalmente determinada por las sustancias volátiles, hay también estímulos visuales consistentes en respuesta a la forma o al color. El color amarillo es poco atractivo y la mayor parte de los insectos aterrizan sobre las trampas marrones, grises o rojas. Los colores atractivos son los de las cortezas. La atracción por los dibujos varía también (Dajoz, 2001).

La atracción visual parece eficaz a corta distancia y la atracción olfativa a gran distancia (Schonherr, 1977).

*La atracción secundaria y las feromonas de agregación.* Las feromonas de agregación provocan la reunión de diversos individuos de la misma especie en un lugar dado, en proximidad de los individuos que las han emitido. Las feromonas de agregación, sintetizadas a partir de constituyentes del árbol, representan un recurso original que facilita la búsqueda del medio favorable al desarrollo de los insectos, a fin de romper lo más rápido posible la resistencia de los árboles. Esta resistencia se manifiesta por un flujo abundante de resina que pega y elimina una parte de los insectos. La colonización masiva es realizada gracias a las feromonas de agregación. Según las especies la feromona de agregación puede estar formada por un solo constituyente o por muchos. En las especies del género *Dendroctonus* seis sustancias diferentes han sido aisladas y sintetizadas. Estas son el cis-verbenol, el trans.verbenol, la verbenota, la frontalita, la exobrevicomina y la endobrevicomina (Dajoz, 2001).

El ataque de los insectos a nuevos árboles se realiza en un periodo que incluye varias semanas. La infestación a un árbol verde y sano es iniciada por unas cuantas

hembras pioneras que son atraídas por todo el volumen del fuste limpio de ese árbol. Después de perforar la corteza externa y el floema, inician la emisión de feromonas de agregación que atraen a más hembras y a los primeros machos; cuando las nuevas hembras se establecen en el árbol, también liberan feromonas de agregación, de tal manera que el proceso de infestación continúa avanzando; los machos por su parte, siguen a las hembras en sus túneles y liberan feromonas antiagregativas, que en cierto momento obligan a que se suspenda el proceso de infestación. Las hembras llevan hongos simbiotes del género *Ophiostoma*, que son inoculados en las galerías y contribuyen de manera importante en la muerte del árbol, ya que bloquean el paso de sustancias a través de los sistemas de conducción del fuste (Cibrián *et al.*, 1995). Generalmente la cópula sucede cuando la galería llega al cambium; como en otras especies, los machos se ocupan de limpiar las galerías de aserrín y trementina (Wood, 1963). Las galerías son sinuosas, principalmente en dirección del hilo de la madera y se llegan a cruzar unas con otras formando una red de túneles (Rodríguez, 1990). Las galerías de estos insectos son similares a las que producen *D. mexicanus*, y *D. frontalis*, aunque son más anchas y menos sinuosas (Cibrián *et al.*, 1995), tapizadas con resina y rellenas con aserrín y excrementos de los insectos (Rodríguez, 1990).

Los huevecillos son puestos en nichos en los dos márgenes de las galerías y cubiertos con aserrín. Las larvas construyen sus galerías perpendicularmente a la galería progenitora y sólo son visibles sus extremos finales en la corteza interna, al desprender esta de la madera, debido a que en esta parte son más amplias por el desarrollo de las larvas; muchas de ellas permanecen completamente ocultas en la corteza. La crisálida es blanca exarata; se localiza en la corteza externa, al final de la galería larval, en una celda pequeña, en donde se transforma a adulto, el cual se alimenta de la misma corteza antes de salir al exterior (Rodríguez, 1990).

La galería de los padres es sinuosa, presentado dos o más ondulaciones amplias. Las galerías de las larvas se construyen principalmente en el floema y sólo durante los dos primeros instares pueden ir contiguas a la zona cambium, siendo angostas y de hasta 6 cm de longitud, aunque la mayoría están entre 0.4 y 1.5 cm. Desde el

inicio del primer instar, la larva se dirige hacia la corteza externa y en el floema practica una cámara de alimentación; la larva de cuarto instar agranda dicha cámara y de hecho la usará para pupar. Éstas cámaras de pupación se encuentran normalmente en la corteza externa y sólo en árboles de diámetros pequeños se encuentran en la corteza interna. Para salir, los nuevos adultos practican perforaciones circulares a partir de la cámara de pupación, que se ubican en las placas de corteza y raramente entre las hendiduras de ella (Cibrián *et al.*, 1995).

La composición química de la madera varía conforme se considere la corteza, el floema, el cambium, la albura o la madera de corazón, lo que explica la presencia de los insectos xilófagos por tal o cual región. Las larvas de cerambícidos y de escolítidos que están desprovistos de celulosa se instalan en la zona periférica más rica en almidón, en azúcares solubles y en proteínas asimilables (Dajoz, 2001).

Poblaciones de descortezadores poco numerosas pueden superar las resistencias de árboles debilitados, luego instalarse y reproducirse. En el caso de árboles que tienen una resistencia elevada, son necesarios ataques por un número más importante de insectos (Worrell, 1983).

La colonización de los árboles, el debilitamiento de sus reacciones de defensa y la instalación definitiva de los descortezadores, son facilitados por el transporte de esporas de hongos patógenos del género *Ceratocystis* que inducen una reacción de defensa adquirida y una reacción hipersensible por parte del árbol (Dajoz, 2001).

**Síntomas del arbolado plagado.** La evidencia externa del inicio de una galería está dada por un grumo de resina mezclado con fragmentos de floema. Al inicio del ataque, cuando llega el macho, atraviesa la resina que todavía tiene una consistencia semilíquida y después de alimentarse o copular regresa a la salida para expulsar excremento, que es de color rojizo; en el grumo se hace un orificio obvio. Los grumos viejos toman una coloración cremosa o rojiza, en contraste con los grumos recién formados que son blancos y de consistencia suave (Cibrián *et al.*, 1995).

Los árboles plagados presentan al principio escurrimientos de resina y grumos de la misma sustancia solidificada en la parte media del fuste; los grumos de resina van aumentando gradualmente en número, es decir, que esta especie no ataca en enjambres; en ocasiones al desprender la corteza en la parte infestada del árbol, se observa que gran parte de la corteza y madera está muerta y manchada de color azul; la mancha azul la produce el hongo *Ceratocystis* sp. y probablemente el hongo favorece el establecimiento del insecto en el árbol, ya que la sequedad en la parte infestada, se presenta en algunos casos poco después que entra el insecto y mucho antes de notarse algún síntoma en el follaje; en árboles donde no se observa la mancha azul, el hospedero puede tardar muchos meses sin morir. El cambio de coloración del follaje ocurre en tiempo muy variable, desde uno a varios meses después de la primera infestación (Rodríguez, 1990).

Cuando la plaga incrementa, se observan manchones plagados de 30 a 40 árboles distribuidos en grandes rodales (Rodríguez, 1990).

En cuanto a la disposición de la población de insectos en el interior de los árboles, se conoce que en árboles jóvenes la parte que tiene mayor densidad de insectos por unidad de superficie se encuentra en los primeros metros de altura del fuste, en general en el primer tercio. En cambio en árboles de edad madura, el tercio medio de la longitud infestada es el que tiene mayor densidad de población. La longitud que se puede infestar es invariable y depende de la altura del árbol (Cibrián *et al.*, 1995).

**Daños:** Dado que el insecto requiere de todo un año para completar su ciclo de vida y el periodo de ataque es largo, la muerte de los árboles requiere de tiempo y sólo después de varias semanas se inician los cambios de color del follaje de verde a verde-amarillento. Para pasar a amarillamiento o rojizo se necesitan varios meses (Cibrián *et al.*, 1995).

**Manejo:** Otros árboles infestados por los insectos son los que sufren infecciones por muérdago enano o por enfermedades de la raíz, de tal forma que la remoción oportuna de árboles con estas características reducirá la probabilidad de infestación por los descortezadores. Lo anterior se puede lograr definiendo cortas de

mejoramiento y aclareos en las áreas en que exista manejo forestal (Cibrián *et al.*, 1995).

#### **4.2. Asociación insecto-hongo.**

*O. adjuncti* es el principal asociado con *D. adjunctus*. Algunos hongos del género *Ophiostoma* se asocian con insectos primarios del género *Dendroctonus* y contribuyen a la muerte de árboles; la mayoría son causantes del manchado azul de la madera de coníferas y angiospermas, otros causan enfermedades vasculares de gran importancia en árboles vivos. El micelio del hongo crece en el sistema de conducción, tanto del xilema como del floema. Este grupo de hongos no causa alteración en las propiedades mecánicas de la madera, pero si provoca pérdida de peso al consumir carbohidratos simples, ácidos grasos, triglicéridos y otros compuestos de la albura (Cibrián *et al.*, 2007).

Algunas investigaciones han conducido al conocimiento de que los insectos y los microorganismos tienen relaciones simbióticas, de las que se consideran dos formas de asociación: ectosimbiótica y endosimbiótica. En esta última, la más común, el inóculo es portado en estructuras especializadas conocidas como micangios, alojados en las hembras en la parte del pronoto en *D. adjunctus* (Barras y Perry, 1972).

Los insectos adultos transportan a los microorganismos ya sea externa o internamente (Coulson, 1979). Dentro del ciclo biológico de la mayoría de las especies de *Ophiostoma*, las ascosporas o conidios son transportados por los insectos en estructuras especializadas, llamadas micangios, las cuales se localizan en diferentes partes, generalmente en pliegues o cavidades de la pared del cuerpo; pero, algunos insectos transportan las ascosporas o conidios sobre el cuerpo. Los adultos, al excavar su túnel, liberan en forma pasiva a las esporas, las cuales germinan en el cambium o floema y su micelio coloniza la albura y el floema. Las hifas se desarrollan en los vasos conductores de líquidos y limitan severamente la conducción de agua. En el interior de los vasos se presentan estructuras de reproducción asexual del hongo, lo cual facilita la dispersión de conidios dentro del

árbol. La formación de los ascocarpos y conidióforos se presenta en la luz de las galerías parentales, larvales y en las cámaras de pupación de los insectos. En estos lugares, las pupas y los nuevos adultos de descortezadores, así como sus ácaros, se contaminan con las esporas y a su vez, llevan los hongos a nuevos hospedantes. En el interior de la madera infectada los ciclos de los hongos se mantendrán hasta que ésta tenga el 20 % o menos de contenido de humedad (Cibrián *et al.*, 2007).

Los descortezadores como los microorganismos, se comportan sobre las bases fisiológicas nutrición y alimento; de aquí que su asociación pueda considerarse como una simbiosis mutualista (Graham., 1967; Whitney, 1971; Barras, 1973) puesto que los microorganismos absorben alimento rico en uratos y obtienen albergue en forma transitoria; en general el que adquiere los mayores beneficios es el descortezador, ya que se supone que los microorganismos ayudan a los insectos en la digestión de su alimento, producen enzimas, vitaminas y otras sustancias que los insectos por sí mismos no pueden elaborar (Abrahamson, 1967).

Hasta el momento no existen informes acerca de infestaciones de *Dendroctonus* sin la presencia de microorganismos; de aquí que se puede hablar de relaciones simbióticas entre ellos (Whitney, 1971). Así cuando el ataque de *Dendroctonus* es exitoso, el insecto llega al floema y las regiones adyacentes del cambium, mientras que los hongos de la mancha azul se difunden hasta el xilema; al implantarse y propagarse estos hongos, bloquean los mecanismos de conducción por invasión de sus hifas dentro de los canales resiníferos, conductos radiales y luz de traqueidas; por ello en árboles infestados ocurren cambios fisiológicos que van a manifestarse en un marchitamiento rápido, precedente al desencadenamiento de la muerte, causando así fuertes daños al arbolado y considerables pérdidas económicas (Nelson, 1934).

### 4.3. Descripción de *Pinus hartwegii* Lindl.

**Nombres comunes.** Este pino es conocido con los nombres comunes de: Pino Hartweg, ocote, pino de las alturas (Chiapas, Distrito Federal, México) (Eguiluz, 1978).

**Distribución.** Se encuentra confinado a los picos y montañas más altas de México, siendo más frecuente en la Sierra Nevada. La especie se ubica entre los 16°20' y 25°03' de latitud norte y entre los 92°20' y 103°55' de longitud oeste. La altitud en la que se encuentra en su habitat natural varía entre los 3,000 y 4,000 metros sobre el nivel del mar (Eguiluz, 1978, 1985a, 1985b; Rzedowski, 1983; Solórzano, 1987).

**Marco ecológico.** Es una especie típica de las zonas templadas de México. Forma masas puras de varias decenas de kilómetros cuadrados, especialmente en los volcanes más altos de la Región Central, donde ya no prosperan otras especies del género *Pinus*. Probablemente sea la especie de pino que alcanza menores crecimientos en los bosques de México, debido a las zonas frías en que habita, aunque los suelos tengan buena calidad (Eguiluz, 1978; Hernández, 1985; Solórzano, 1987).

El *P. hartwegii*, representa comunidades clímax; en las partes bajas alcanza entre 15 y 20 m, pero, hacia los 4,000 msnm el bosque es chaparro y abierto y, los sujetos que lo constituyen, alcanzan alturas de 5 a 8 m (Rzedowski, 1983). Aún cuando se carece de estudios que lo respalden, se ha observado que *P. hartwegii* resiste, satisfactoriamente, el efecto de incendios severos. Por otra parte, aunque no ha sido precisada la causa, se sabe que esta especie atraviesa por un estado cespitoso que dura entre dos y cinco años (Musálem, 2000).

**Clima.** *P. hartwegii* vegeta en climas templados, subhúmedos, mesotermos, con lluvias deficientes en invierno, del tipo Cwc (semifríos húmedos con veranos cortos) (García, 1968). Las precipitaciones oscilan entre 700 y 1,800 mm, pero, los mejores rodales se encuentran en sitios con precipitaciones entre 1,000 y 1,200 mm anuales, que se reparte de junio a septiembre, siendo junio y julio los meses más lluviosos y, marzo, el más seco (Eguiluz, 1978; Santillán, 1991).



La temperatura media es de 12 °C, con extremas máximas de 38 °C y mínimas hasta de -20 °C en los volcanes. En la falda Oriental del Pico de Orizaba, se calculó una temperatura media anual de 13.9 °C a 3,500 m.s.n.m, donde se encuentran los rodales más representativos. Es la especie de pino más tolerante a temperaturas bajas (Eguiluz, 1978, 1985; Rzedowski, 1983; Santillán, 1991).

**Topografía.** En las montañas de México, *P. hartwegii* habita tanto terrenos planos como ondulados o escarpados. Se le encuentra tanto en exposiciones cenitales como en cualquiera otra de las cuatro restantes; desafortunadamente se desconocen estudios realizados sobre preferencias *topográficas* de la especie.

**Suelos.** *P. hartwegii* crece sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica, buen drenaje y texturas franca y migajón-arenosa (Look, 1950); los suelos en los Volcanes de Colima y Jalisco, son arenas migajosas y migajones arenosos, profundos, pobres en Ca, K, Mn y P, pero ricos en Mg, con pH de 5.2 a 6.9. En Zoquiapan, México donde abunda ésta especie, se encuentra en suelos con contenidos bajos de fósforo y altos de Ca, Mg, Na, K y Aluminio (Rey, 1975; Santillán, 1991).

#### **4.4 Factores que favorecen la aparición de plagas en los bosques.**

El mecanismo por el cual, una plaga endémica se incrementa en forma anormal es sumamente complejo, ya que intervienen muchos factores naturales relacionados entre sí. Sin embargo, se acepta que ese incremento se debe a la variación de uno o varios factores del ambiente que controla en forma natural a determinado insecto (Rodríguez, 1990).

Muchos factores que intervienen para volver dañino a un insecto son de naturaleza climática y actúan bien determinando en los árboles un estado de estrés que les hace menos resistentes a los ataques, o bien aumentando el potencial reproductor de los insectos (aumento de fecundidad, aumento de la tasa de supervivencia; Dajoz, 2001).

Diversos factores ecológicos pueden provocar en los árboles un estrés que se manifiesta, en particular, por la movilización de los compuestos nitrogenados en

forma soluble. Los árboles estresados y enriquecidos en nitrógeno soluble son más atacados por los insectos fitófagos que los árboles normales (White, 1984). El estrés es una reacción que afecta la función normal de un vegetal y provoca cambios potencialmente nefastos de naturaleza física o metabólica. El estrés puede ser un factor que actúa durante un tiempo relativamente breve o de forma permanente (Moller, 1995).

La fractura de ramas, el fuego, las heridas causadas por el rayo, las carencias de elementos minerales, los pesticidas y la contaminación atmosférica son agentes de estrés (White, 1984). La escasa fertilidad, un pH del suelo muy elevado o muy bajo, la sequía, las inundaciones, las temperaturas anormalmente bajas o elevadas también son factores de estrés (Moller, 1995).

**La sequía.** La hipótesis que un estrés del vegetal causado por un factor climático tal como la sequía originaría la pululación de un insecto ha sido anunciada desde 1969 por White. Según este autor, muchos insectos fitófagos tienen sus poblaciones controladas por una deficiencia en compuestos nitrogenados (aminoácidos) del vegetal hospedante. Con motivo de un estrés causado por la sequía, la planta reacciona produciendo más compuestos nitrogenados, lo que permite un aumento de la abundancia de insectos (White, 1974).

La sequía actúa sobre los árboles según modalidades muy diversas de las que las más importantes son: reducción del crecimiento; modificaciones de la síntesis de la clorofila que originan un amarillamiento de las hojas; aumento de la temperatura debida a la disminución de la transpiración por cierre de estomas; aumento de la proporción de compuestos nitrogenados solubles de las hojas; ruptura de la columna líquida de savia en el xilema lo que produce ruidos que pueden ser percibidos por los insectos; variación de la presión osmótica; emisión de compuestos volátiles y, en las coníferas, modificaciones de los terpenos de la resina y descenso del poder de exudación de las oleoresinas (Dajoz, 2001). Estas modificaciones proporcionan, para los insectos, mayor atracción hacia las plantas y una mejora de las cualidades nutritivas del vegetal. El descenso del contenido en terpenos de las coníferas que

sufren sequía vuelve estas sustancias atrayentes para los descortezadores. La concentración del  $\alpha$ -pineno que es poco tóxico aumenta, mientras que la del mirceno y del limoneno que son muy tóxicos disminuye (Cates y Alexander, 1982).

La sequía también puede beneficiar a los microorganismos que viven en simbiosis con los insectos fitófagos. Las coníferas estresadas tienen, en una zona cortical, un contenido en glucosa y fructosa más elevado que los árboles normales. Esto favorece el crecimiento del hongo *Ceratocystis minor*, un simbionte externo del escolítido americano *D. frontalis*. El crecimiento rápido del hongo patógeno facilita la colonización del árbol por el escolítido, reduciendo la producción de resina (Dajoz, 2001).

**Temperaturas bajas o elevadas.** Temperaturas anormalmente bajas o elevadas pueden provocar un estrés y ser seguidas por pululaciones de insectos. Los robles debilitados por los fríos severos durante el invierno presentan modificaciones de la corteza y pueden sufrir ataques de insectos xilófagos como Bupréstidos del género *Agrilus* y de hongos patógenos como *Armillaria* sp. o *Hypaxylon* sp. (Wargo, 1996).

En la parte central de México, las plagas de descortezadores del género *Dendroctonus*, se incrementan poco después de la época de lluvias hasta el mes de mayo del año siguiente, con el aumento de la temperatura ambiental (Rodríguez, 1990).

**Los rayos (descargas eléctricas).** Los rayos pueden ser la causa de pequeños brotes explosivos de plagas de insectos descortezadores (Rodríguez, 1990).

**Los insectos defoliadores.** La defoliación de un árbol por las orugas es un factor de estrés que puede favorecer la instalación de parásitos de debilidad que buscan los árboles en estado de deficiencia fisiológica. Así es como, después de una severa defoliación del abeto de Douglas por las orugas de *Orgyia pseudotsugata*, los dos Escolítidos *Scolytus ventralis* y *Dendroctonus pseudotsugae* han infestado árboles que estaban defoliados en más de un 90% (Wright et al., 1984).

**Las enfermedades.** Las enfermedades, principalmente aquellas ocasionadas por hongos sobre árboles forestales, también causan debilitamiento en éstos y los hacen muy susceptibles al ataque de descortezadores (Rodríguez, 1990).

**Edad de los árboles.** Los árboles muy grandes o demasiado maduros, son los más propensos de sucumbir a los ataques de los insectos (Young, 1991).

**Posición social de los árboles.** Los árboles infestados pueden ser sobremaduros o de cualquier posición social, pero aquellos ubicados en la categoría de suprimido, dominado o codominante, son más susceptibles que los ubicados en la categoría de dominante (Cibrián *et al.*, 1995). Los árboles pequeños, sobre todo aquellos que están suprimidos, son los más susceptibles de sucumbir a los ataques de los insectos, debido a que tienen fuertes competidores por luz solar y nutrientes (Young, 1991).

**Diámetro de los árboles y densidad de población.** Las características físicas de los árboles, en particular su espaciamiento y su diámetro influyen sobre la dinámica de las poblaciones de descortezadores como lo muestran las investigaciones que han sido realizadas sobre *Pinus contorta* y sobre *Dendroctonus ponderosae*: (a) El floema es en general más espeso en los árboles que tienen un gran diámetro que en los árboles pequeños. (b) Los árboles situados en poblaciones densas tienen un floema más delgado que los árboles que crecen en medio abierto. (c) La producción de *Dendroctonus* está en relación casi lineal con el espesor del floema de los árboles atacados. (d) Cuanto mayor tiene el diámetro el árbol más elevada es la relación entre el número de insectos emergentes y el número de insectos que han atacado el árbol. (e) Los *Dendroctonus* matan, en general, los árboles que tienen mayor diámetro entre los que han sobrevivido a un primer año de infestación. (f) Son los árboles que tienen el mayor diámetro los que sufren la mayor proporción de muertes durante una infestación (Dajoz, 2001).

**Alteraciones nutricionales de los árboles.** En la nutrición de las plantas, todos los nutrientes deben estar presentes en el medio acuoso del suelo y en proporciones tales que el desarrollo vegetativo pueda efectuarse armónicamente (Bovey, 1989).

Las afecciones de la nutrición son complejas, generalmente la carencia de uno o de varios nutrimentos en el suelo, se produce por la acción antagónica de otro nutrimento que impide que el primero penetre en las raíces o lo bloquea en el suelo bajo una forma inasimilable (Bovey, 1989).

Debe tenerse en cuenta que las alteraciones de la nutrición predisponen desfavorablemente a las plantas a los ataques de diversos parásitos, así como los productos tóxicos, gas y humos de fabrica; (Bovey, 1989).

Excesos relativos de nitrógeno son favorables a la absorción del magnesio, pero en cambio impiden la penetración del boro y del potasio (Bovey, 1989), Así mismo, se supone que una cantidad adicional de este nutrimento retrasa la madurez de las plantas, aumenta en los árboles el porcentaje de la madera de primavera en relación con la madera de otoño y también aumenta la susceptibilidad a ciertas enfermedades y propicia el ataque de los insectos (Pritchett, 1986).

La sabia elaborada contiene concentraciones relativamente elevadas de azúcares y bajas de aminoácidos y de otros compuestos nitrogenados. La cantidad de estos últimos cambia con el estado de desarrollo de las hojas y de los brotes terminales. Es elevada en primavera en el momento del crecimiento, baja en verano cuando las hojas han terminado su crecimiento y elevada en otoño cuando ocurre la senescencia (Dajoz, 2001). Los árboles enriquecidos en nitrógeno soluble o estresados son más atacados por los insectos fitófagos que los árboles normales (White, 1974).

Al potasio se le puede relacionar con la resistencia de las plantas a ciertas enfermedades (Pritchett, 1986). Sin embargo, la falta de potasio conduce por otra parte a un debilitamiento de los tejidos. La calidad de los productos vegetales disminuye notablemente y la sensibilidad de las plantas a las enfermedades y a las plagas resulta muy acentuada. En cambio, por antagonismo un exceso de potasio provoca una deficiencia relativa de magnesio en las plantas, y viceversa (Teuscher y Adler, 1987; Bovey, 1989). Además del magnesio, el potasio también presenta

antagonismo con el calcio, cobre y otros nutrimentos, mientras que la escasez de potasio aumenta la asimilación de dichos nutrimentos (García, 1982).

**Falta de reservas de glúcidos (almidón).** La presencia de reservas de glúcidos tales como el almidón es indispensable en la costosa producción de energía, de los terpenos de la resina. Una prueba de ello es la reducción de las reservas de almidón situadas en el floema después de la inoculación del patógeno *Ceratocystis* en la picea (Christiansen y Ericsson, 1986). La mortalidad acrecentada de los árboles después de los ataques, parece debida a una falta de reservas glucídicas (Christiansen *et al.*, 1987; Langstrom *et al.*, 1992). Un estudio histológico ha confirmado la formación de resina, después de un ataque, en las células del floema y en los rayos parenquimatosos del floema y del xilema (Lieutier y Berryman, 1988b).

**Contenido de agua en la madera.** El contenido de agua de la madera interviene también en la elección de los descortezadores. *Trypodendron lineatum* se instala con preferencia en las maderas que contiene de 63 a 144 % de agua. Cuando la humedad desciende por debajo de 53% como ocurre en la madera descortezada expuesta al aire, los adultos dejan sus galerías y van a instalarse en otra parte, en un árbol más favorable a las larvas (Rolling y Kearby, 1977).

**Presión de exudación de las oleoresinas.** Las coníferas poseen una red de canales resiníferos en los cuales la oleoresina (o resina) circula bajo presión. En general los árboles atacados por descortezadores tienen una presión de exudación de las oleoresinas inferior a la normal. Esta presión está en relación con el contenido de agua del árbol y por consiguiente con la presión osmótica de las células. Los ataques de los escolítidos sobre la picea y sobre el abeto comienzan de 7-8 atmósferas mientras que la presión normal es de 10 atmósferas y la muerte del árbol sobreviene a 4 atmósferas (Dajoz, 2001).

**Prácticas de manejo silvícola mal ejecutadas.** Las prácticas de manejo del bosque mal ejecutadas pueden propiciar la existencia de abundante material alimenticio y provocar la aparición de plagas de descortezadores. Por ejemplo, una gran cantidad de desperdicios de explotación, los incendios provocados y la resinación sin técnica,

debilitan la salud de los árboles. En los bosques de la parte central del país se puede afirmar que los incendios son cosa común en la época de secas. Los estados mayormente plagados por insectos descortezadores son Michoacán y México, es decir, aquellos en los que más se practica la resinación en los bosques (Rodríguez, 1990).

La rosa, tumba y quema para abrir tierras al cultivo, hábito común en el campo, causan un tremendo desequilibrio ecológico en las áreas afectadas y pueden ocasionar una abundancia excesiva de algunas especies de insectos (Rodríguez, 1990).

**Cinchamiento de los árboles.** El campesino interviene en la aparición de plagas al “cinchar” los árboles. Pues antes de morir los árboles cinchados constituyen un alimento atractivo en donde se multiplican insectos descortezadores que pueden llegar a atacar árboles sanos (Rodríguez, 1990).

#### **4.5. Defensa de las coníferas ante el ataque de descortezadores.**

Las coníferas, los pinos en particular, tienen dos mecanismos de defensa frente a los ataques de los descortezadores tales como *Dendroctonus frontalis*. El primero es un sistema de defensa preexistente que interviene primero y que consiste en una red de canales resiníferos interconectados que son constantemente llenados por la resina que es exudada bajo presión cuando los canales son rotos. El segundo es un sistema de defensa adquirida que se pone en acción después del ataque de los escolítidos, que es la reacción hipersensible contra el hongo *Ceratosystis* transmitido por el Escolítido (Raffa y Berryman, 1983).

El fenómeno de la oleoresina o resina es un ejemplo excelente de un mecanismo de defensa fisiológico de las coníferas y, es uno de los principales factores en la resistencia de las coníferas al daño producido por el descortezador (Young, 1991), ya que es tóxica o repulsiva para los insectos y los microorganismos. La oleoresina es una mezcla de productos formados esencialmente por hidrocarburos del grupo de los terpenos cuya composición varía de un árbol al otro y se llama la esencia de

trementina. Los tres principales grupos de terpenos son los monoterpenos  $C_5H_8$  que son los más volátiles y los más abundantes, los diterpenos  $(C_5H_8)_2$  y los sesquiterpenos  $(C_5H_8)_3$  (Dajoz, 2001). En el momento de un ataque por los descortezadores, los monoterpenos son los primeros que aumentan en importancia relativa (Lerdau *et al.*, 1994). La oleoresina, se deposita en canales dentro de la albura y sirve para sellar las heridas que penetran la capa del floema. Cuando un descortezador rompe, un canal de resina, la menor presión hace que la breya fluya en el túnel creado por el insecto, a menudo empujando al intruso nuevamente hacia fuera del árbol. La tasa y duración del flujo de resina varía entre las especies de coníferas, e incluso entre los individuos de la misma especie, haciendo que sea difícil prever cuales árboles son más vulnerables al ataque. Recientemente se ha demostrado que la presión de exudación de la oleoresina (PEO) varía según la estación, hora del día, condiciones climáticas y edad del árbol. Midiendo la PEO, los investigadores descubrieron una estrecha correlación entre ésta y las relaciones hídricas en el árbol. De hecho, ahora se reconoce que la PEO es un criterio de la condición fisiológica de un árbol y es una medida cuantitativa efectiva de la resistencia del árbol a los descortezadores. Los árboles con una alta PEO son más resistente al ataque persistente de los mismos. Las grandes infestaciones de la plaga, por lo general están asociadas con las coníferas de mayor edad, muy grandes o demasiado maduras, con árboles pequeños o con los bosques expuestos a sequía o defoliación (Young, 1991).

El sistema de defensa adquirida o inducida, o bien defensa nueva, aparece en respuesta a una agresión producida por un agente exterior que se le puede calificar de activador (en inglés "elicitador"). Este activador puede ser un animal herbívoro o un organismo patógeno (Karban y Myers, 1989). Los agentes responsables de la agresión pueden ser variados. Pueden ser polisacáridos salidos de las membranas celulares dañadas, o bien enzimas liberadas por la planta o por el insecto herbívoro (Berryman, 1988; Lieutier y Berryman, 1988). La liberación de estos polisacáridos o de estas enzimas estimula a la planta atacada a producir defensas químicas que pueden actuar localmente o ser transportadas por la savia y actuar a distancia (Edwards y Wratten, 1983).



En la reacción hipersensible la parte subcortical del tronco invadido por el hongo es llenada de resina y rodeada de un tejido de reacción formado a partir del cambium. Esta reacción aísla la zona invadida por el hongo del resto del árbol. Simultáneamente los productos resinosos segregados tienen un papel inhibitor sobre el hongo y aparece un déficit en elementos nutritivos para el mismo hongo (Raffa y Berryman, 1983).

La reacción hipersensible, comprende un conjunto de cambios morfológicos e histológicos que llevan consigo la necrosis de los tejidos infectados así como la inactivación o la localización del agente infeccioso. Esta reacción es la primera que se manifiesta en el momento de los ataques por hongos patógenos. Termina con la producción de sustancias tóxicas, las fitoalexinas que bloquean el crecimiento del organismo patógeno (Fernández, 1990). Las sustancias responsables de la reacción hipersensible, que son conocidas en las plantas herbáceas; son probablemente las mismas en los árboles. Estas reacciones son particularmente importantes en el momento de los ataques de descortezadores vectores de hongos patógenos. Éstas existen también en algunos casos de ataque de otros insectos fitófagos. Las células atacadas son plasmolizadas y necrosadas y acumulan compuestos fenólicos. La zona necrótica formada alrededor del insecto impide acceder a las proteínas solubles que él busca para alimentarse (Rohfritsch, 1988).

#### **4.6. Cambio climático global y ataque de *D. adjunctus*.**

Las diversas acciones humanas son responsables de modificaciones conocidas bajo el nombre de “cambio climático global” porque afectan al conjunto de la biosfera. Las dos principales modificaciones son el aumento del contenido en CO<sub>2</sub> y ozono, de la atmósfera. La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumenta a la velocidad media de 0.5 % por año. Originará una elevación de la temperatura media sobre toda la tierra, modificará el régimen de lluvias y de la velocidad del viento, así como de la frecuencia de los acontecimientos climáticos excepcionales y tendrá profundas repercusiones sobre la abundancia y la repartición de los seres vivos. Los insectos responderán ciertamente muy rápido a causa de la brevedad de la duración de una

generación y de su movilidad (Watt *et al.*, 1996). Esto afecta al pulgón *Elatobium abietibum* que es, en Europa del noroeste, el principal enemigo de la *Picea* spp. y de la *Picea sitchensis*. Actualmente este pulgón está limitado en Gran Bretaña por los periodos de frío que reducen las poblaciones invernantes. Si el clima viene a ser más suave la mortalidad invernal disminuirá y los pulgones podrán multiplicarse más intensamente en la primavera y en el otoño. Dado que las piceas debilitadas por los pulgones son más sensibles a los ataques del escoltido *Dendroctonus micans*, pudiera esperarse un aumento de los daños de este último (Straw, 1995).

Los cambios climáticos podrán modificar el área de repartición de los árboles y de los insectos fitófagos. Muchos especialistas piensan que el efecto invernadero permitirá un aumento del número de especies de insectos parásitos y de la intensidad de sus ataques, más aún los árboles sufrirán un estrés y estarán en estado de menor resistencia (Mattson y Haack, 1987).

Las plantas sometidas a un continuo estrés hídrico o térmico, se encuentran repentinamente desplazados de su óptimo biológico y ven gravemente afectada su capacidad de resistencia al ataque de cualquier agente oportunista (Sanchez, 2000).

Los árboles debilitados por otros contaminantes como el ozono son más vulnerables a los ataques de descortezadores y de diversos agentes patógenos. Estas respuestas están ligadas a una perturbación del metabolismo de los árboles y en particular a un aumento de la relación aminoácidos/azúcares en el floema (Braun y Fluckiger, 1989).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Área de estudio

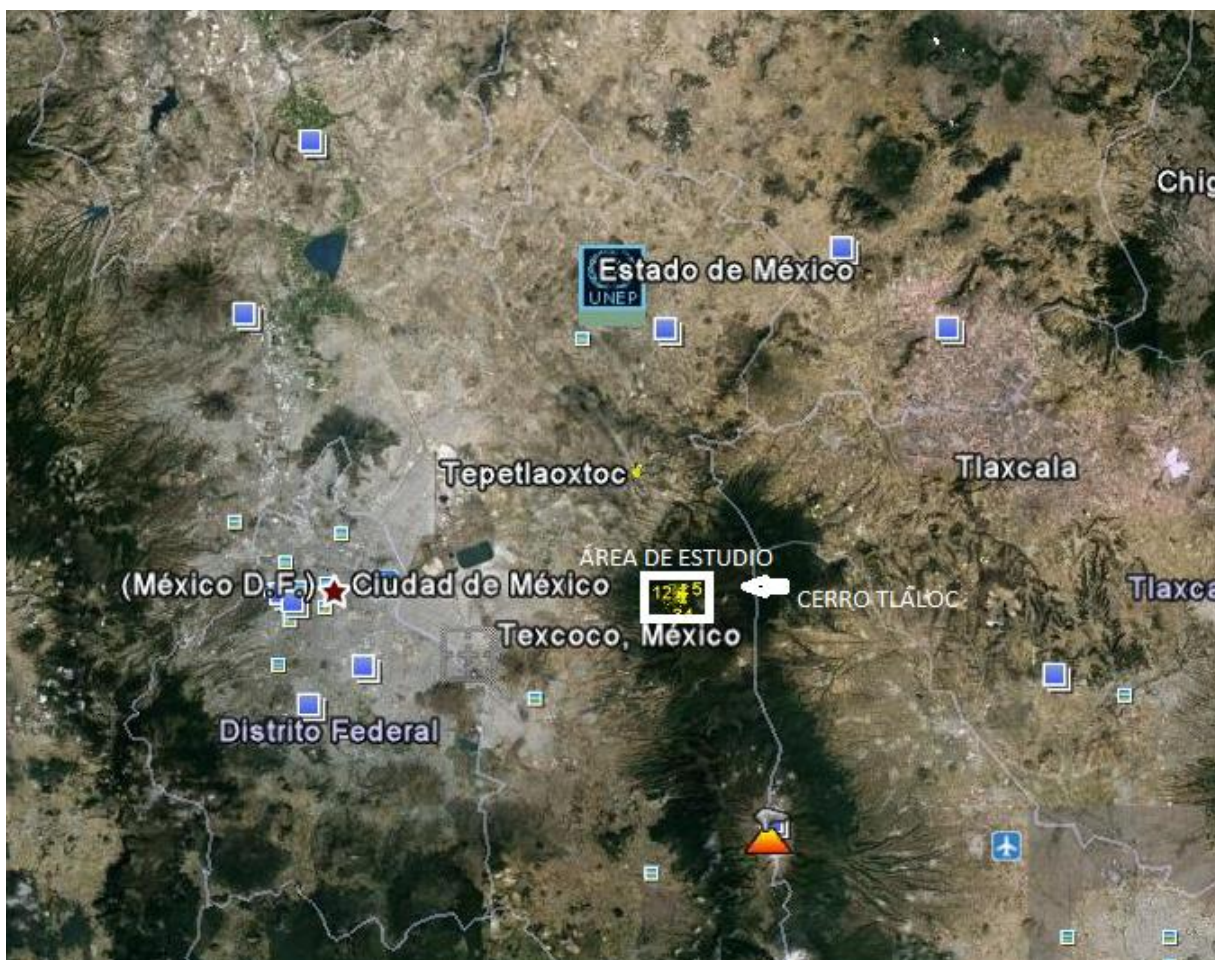
La porción alta de los ejidos de San Dieguito y Tequexquináhuac, Texcoco Edo. de México, ubicada en la exposición oeste de las faldas del Cerro Tláloc (Figura 1), fue elegida como área de estudio, debido a que presentó las condiciones requeridas para llevar a cabo el presente trabajo de investigación. Algunas de las características más relevantes de este lugar, es la presencia de bosque de *Pinus hartwegii* Lindl con árboles atacados por el descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford, características que se consideraron suficientes para poder llevar a cabo este trabajo de investigación en el lugar.

### 5.2. Descripción del área de estudio

**Localización.** El área de estudio se localiza sobre el declive oeste del cerro Tláloc , entre los 19° 23' 43" y 19° 28' 37" de latitud norte y entre los 98° 42' 43" y 98° 48' 37" de longitud oeste (Sánchez, 2003). Se ubica a una altitud entre los 3,400 y los 3,600 m.s.n.m.

**Clima.** A lo largo del declive occidental del cerro Tláloc, se distinguen tres subtipos climáticos: en las áreas planas más cercanas a los lomeríos el clima es C (w0) (w) b (i'); templado subhúmedo, con una precipitación media anual de 700 mm, con régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18 °C y con una oscilación térmica entre 5 y 7°C. En la zona de lomeríos, hacia las estribaciones de la Sierra de Río Frío el clima es C (w1) (w) b(i'); templado subhúmedo, con una precipitación media anual entre 800 y 900 mm, régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18°C y con una oscilación térmica entre 5 y 7°C. En las laderas montañosas el clima es de tipo C (w2) (w) b(i'); templado subhúmedo, con una precipitación media anual entre 900 y 1200 mm, régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 10 y 14 °C y con una oscilación térmica entre 5 y 7°C (Ortiz y Cuanalo, 1977). Tales fluctuaciones climáticas se deben principalmente a la influencia de la orografía. La niebla y el rocío son frecuentes y

persistentes y en ocasiones se presentan nevadas en las partes altas (García, 1968). A medida que se asciende por las laderas la temperatura disminuye en una proporción promedio de  $0.49^{\circ}\text{C}$  por cada 100 m de aumento en altitud. Por esta razón los climas varían de templados a fríos (García, 1968; Ortiz y Cuanalo, 1977).



*Figura 1. Localización geográfica del Cerro Tláloc al norte de la Sierra Nevada, Estado de México.*

La precipitación promedio anual oscila entre 900 y 1200 mm. La temperatura promedio anual varía entre los 10 y  $14^{\circ}\text{C}$ .

**Suelos.** Los suelos son incipientes, de textura gruesa en las proximidades del cono cinerítico del Tláloc y en el resto del área negros, profundos, muy ricos en materia orgánica y de textura media (migajones o francos; Sánchez, 2003).

**Vegetación.** Con base en fotografías aéreas y recorridos de campo Palma (1996) reporta seis tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de oyamel, pastizal, bosque de pino-oyamel-encino, bosque de pino-aile-encino y bosque de pino-encino. El principal uso del suelo en la porción baja de la cuenca es la agricultura de temporal siendo los cultivos más importantes: maíz, frijol, asociación maíz-frijol-calabaza, cebada y avena (Sánchez, 2003).

### 5.3. Diseño de muestreo

Este trabajo tiene como finalidad conocer la relación entre los factores del sitio y el ataque del descortezador *D. adjunctus* en árboles de *P. harwegii*, a través de las variables dependientes: número de pinos infestados, cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones, severidad del ataque y número de grumos por unidad de superficie de corteza, así como generar ecuaciones de regresión que señalen los factores que más explican el ataque de la plaga.

Por lo anterior, se decidió realizar un muestreo aleatorio en 40 sitios de forma circular de 0.1 hectárea cada uno. Dada la limitación de recursos financieros, esta fue la cantidad mínima de sitios que se consideró suficiente para hacer el análisis de regresión múltiple que permitió definir el grado y tipo de relación entre la incidencia de la plaga y cada uno de los factores del sitio incluidos en el estudio. Para esto se probaron cuatro modelos:

- 1).  $P_i = f(DAP, Ab, A, Ta, Hr, Hs, Pn, Ex, Pg, PA, MO, N, P, K, CIC, pH)$
- 2).  $P_{im} = f(DAP, Ab, A, Ta, Hr, Hs, Pn, Ex, Pg, PA, MO, N, P, K, CIC, pH)$
- 3).  $S_a = f(DAP, Ab, A, Ta, Hr, Hs, Pn, Ex, Pg, PA, MO, N, P, K, CIC, pH)$
- 4).  $G_c = f(DAP, Ab, A, Ta, Hr, Hs, Pn, Ex, Pg, PA, MO, N, P, K, CIC, pH)$

Donde:

$P_i$  = Número de pinos infestados.

$P_{im}$  = Cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones.

$S_a$  = Severidad del ataque (No. grumos/sitio).

Gc = Número de grumos por unidad de superficie de corteza (grumos/m<sup>2</sup>).

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm).

Ab = Área basal por hectárea (m<sup>2</sup>/ha).

A = Altitud (m.s.n.m.).

Ta = Temperatura ambiental (°C).

Hr= Humedad relativa (%).

Hs = Humedad del suelo (%).

Pn = Pendiente (%).

Ex = Exposición (azimut en grados).

Pg = Pedregosidad (%).

PA = Profundidad del horizonte A (cm).

M.O. = Concentración de materia orgánica en el suelo (%).

N = Concentración de N en el suelo (ppm).

P = Concentración de P en el suelo (ppm).

K = Concentración de K en el suelo (ppm).

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 gr de suelo).

pH = pH del suelo.

La forma y tamaño de los sitios de muestreo se eligió por las facilidades de delimitación en campo y por las ventajas para la toma de datos del sitio.

#### **5.4. Distribución de los sitios de muestreo en el área de estudio.**

Para definir la ubicación de los sitios de muestreo dentro del área de estudio, se empleó una carta topográfica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) con escala 1:50,000, sobre la cual se delimitó el área de estudio. Una vez delimitada el área de estudio, sobre esta se colocó una cuadrícula en acetato que subdividió el área de estudio en 200 áreas cuadradas más pequeñas. Cada una de las cuales representó un sitio probable de muestreo. El centro de cada cuadro se consideró como el centro de cada sitio. Luego a cada cuadro se le asignó un número del 1 al 200 en orden progresivo, de los cuales posteriormente fueron

seleccionados al azar los 40 sitios de muestreo mediante una lista de números aleatorios.

Posteriormente a cada uno de los sitios seleccionados de forma aleatoria, se les determinaron sus coordenadas a partir de las coordenadas de la carta topográfica de INEGI 1:50,000 (Cuadro 1). Esto sirvió para generar finalmente un plano con la distribución de los sitios de muestreo en el área de estudio (Figura 2).

### **5.5. Descripción de los sitios de muestreo.**

Cada uno de los 40 sitios de muestreo ubicados en el plano (Figura. 2 ), fueron localizados en campo para su descripción mediante el empleo de un GPS. Una vez ubicado en campo cada sitio, se localizó su centro y ahí se colocó una estaca de la cual se ató una cinta graduada con sus respectivas compensaciones por pendiente. De esta manera se delimitó un círculo con superficie de 1,000 m<sup>2</sup> que fue el área con la cual se trabajó en cada sitio.

Una vez ubicado y delimitado cada sitio en campo, en cada uno de estos se le determinó: la altitud (m.s.n.m.), temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), contenido de humedad en el suelo (%), pendiente del terreno (%), exposición del terreno en base a los cuatro puntos cardinales (Azimut en grados), pedregosidad dentro del perfil del suelo a 0.30 m de profundidad (%), profundidad del horizonte A1 (cm) y una muestra de suelo para determinar fertilidad (M.O., N, P, K, CIC, pH), mediante análisis de laboratorio. Además, en cada sitio se determinó la cantidad de *P. hartwegii* infestados por *D. adjunctus*, se evaluó la severidad al ataque estimando la cantidad de grumos por sitio mediante muestreo, se contó la cantidad de *P. hartwegii* muertos, se cuantificó la cantidad de tocones de *P. hartwegii*, se midió el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de todos los árboles de cada sitio incluyendo otras especies diferentes a *P. hartwegii* y a partir de la medición de esta última variable se pudo estimar el promedio del DAP por sitio para *P. hartwegii* y el área basal por hectárea de cada sitio, considerando el diámetro de otras especies.

Cuadro 1. Coordenadas de los 40 sitios de muestreo.

SITO	COORDENADAS		SITO	COORDENADAS	
	LATITUD	LONGITUD		LATITUD	LONGITUD
1	19° 25' 5.76"	98° 45' 16.77"	21	19° 24' 42.18"	98° 45' 20.65"
2	19° 25' 5.74"	98° 45' 3.4"	22	19° 24' 42.18"	98° 45' 16.81"
3	19° 25' 5.73"	98° 44' 55.78"	23	19° 24' 42.17"	98° 45' 13.76"
4	19° 25' 5.71"	98° 44' 38.50"	24	19° 24' 42.16"	98° 45' 7.04"
5	19° 25' 5.68"	98° 44' 23.45"	25	19° 24' 42.15"	98° 44' 55.82"
6	19° 25' 2.25"	98° 45' 16.78"	26	19° 24' 42.13"	98° 44' 42.28"
7	19° 25' 2.20"	98° 44' 45.51"	27	19° 24' 38.94"	98° 45' 31.39"
8	19° 25' 2.20"	98° 44' 42.25"	28	19° 24' 39.19"	98° 44' 54.32"
9	19° 25' 2.19"	98° 44' 34.64"	29	19° 24' 38.87"	98° 44' 38.55"
10	19° 24' 53.27"	98° 45' 16.89"	30	19° 24' 35.68"	98° 45' 24.22"
11	19° 24' 52.30"	98° 44' 34.65"	31	19° 24' 36.06"	98° 45' 14.07"
12	19° 24' 52.29"	98° 44' 27.35"	32	19° 24' 35.61"	98° 44' 34.68"
13	19° 24' 49.11"	98° 45' 16.80"	33	19° 24' 35.60"	98° 44' 27.38"
14	19° 24' 49.09"	98° 45' 3.43"	34	19° 24' 36.00"	98° 44' 23.50"
15	19° 24' 49.07"	98° 44' 49.13"	35	19° 24' 32.75"	98° 45' 22.51"
16	19° 24' 49.05"	98° 44' 34.66"	36	19° 24' 32.84"	98° 45' 19.94"
17	19° 24' 45.55"	98° 45' 7.00"	37	19° 24' 31.84"	98° 44' 55.60"
18	19° 24' 45.53"	98° 44' 56.13"	38	19° 24' 32.90"	98° 44' 27.38"
19	19° 24' 45.50"	98° 44' 34.67"	39	19° 24' 30.86"	98° 45' 22.93"
20	19° 24' 45.49"	98° 44' 27.36"	40	19° 24' 30.44"	98° 45' 19.77"



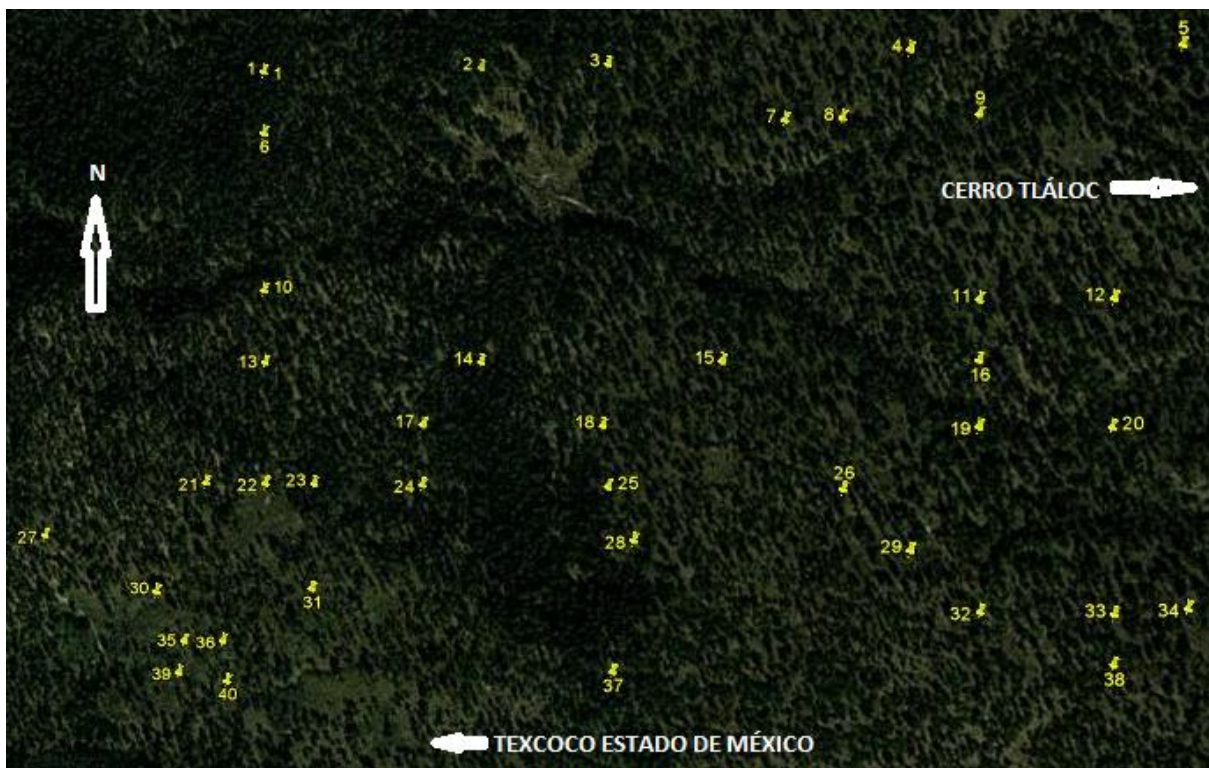


Figura 2. Distribución aleatoria de los 40 sitios muestreados dentro del área de estudio.

### 5.6. Procedimiento de evaluación de las variables en cada sitio.

El levantamiento de la información de campo por sitio de muestreo fue realizado en el periodo del 20 de abril al 15 de julio del año 2008. En ese periodo se obtuvo información de las variables siguientes:

1. Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).. El DAP se midió con cinta diamétrica con aproximación al mm. y sirvió para estimar el promedio del DAP de todos los individuos de *P. hartwegii* de cada sitio. Esta variable se midió en cm.

2. El área basal por hectárea (Ab/ha). El área basal por hectárea que es una medida de la densidad del arbolado, fue estimada en  $m^2/ha$  a partir del DAP. La densidad del arbolado se relaciona con las condiciones de competencia por recursos entre árboles, incluyendo el estado nutricional. Por tanto, la densidad puede afectar la incidencia de la plaga, por ello, esta variable fue estimada.

Como la densidad de población es dependiente del total de individuos existentes en cada sitio independientemente de la especie de que se trate, por este motivo el DAP fue medido de manera individual a todos los árboles que quedaron incluidos dentro de cada sitio de muestreo incluyendo otras especies diferentes a *P. hartwegii*, tales como oyamel.

Una vez obtenido el DAP de todos los individuos, se les calculó a cada uno su área basal, la cual se sumó entre todas las especies resultando un área basal total en una superficie de 1000 m<sup>2</sup>. A partir de este dato se estimó el área basal por hectárea.

3. Altitud (A). Con un altímetro se determinó el promedio de la altura de cada sitio, en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

4. Temperatura ambiental (Ta). Mediante el uso de “datalogers” marca Hobbo se hizo un monitoreo de la temperatura ambiental durante un periodo que cubrió del 18 de junio al 15 de julio. Debido a la falta de este tipo de aparatos, solamente se instalaron 11 de manera estratégica, en 11 sitios ubicados en línea recta imaginaria sobre un gradiente de altitud.

Los datalogers fueron colocados dentro de vasos de unicel con capacidad de 1 l. para protegerlos del sol y la lluvia. Los vasos fueron pintados de color café usando un color parecido al de la corteza de los árboles y fueron colocados a 5 m de altura sobre el fuste de los pinos para evitar posible robo. Así mismo, todos los instrumentos de medición fueron ubicados en una misma dirección (dirección sur), para que todos estuvieran bajo las mismas condiciones ambientales (radiación solar, viento, etc). Esta variable fue medida en °C.

5. Humedad relativa (Hr). Esta variable fue determinada con los mismos datalogers que fueron usados para medir temperatura ambiental, ya que estos tenían las dos funciones, a excepción de dos que no registraban humedad relativa, por lo que esta variable solamente se midió en nueve sitios con los nueve dataloger restantes. La humedad relativa se midió en % y la información se obtuvo en el periodo del 18 de junio al 15 de julio.

6. Contenido de humedad en el suelo (Hs). El contenido de humedad en el suelo se determinó a una profundidad de 30 cm mediante el uso de un reflectómetro basado en tiempo (TDR) que registró la lectura en % de humedad. Para estimar con mayor precisión este parámetro, se hicieron un total de cuatro muestreos por sitio en dos periodos diferentes, espaciadas por un periodo de 40 días aproximadamente, ya que este parámetro es muy variable con el tiempo. La idea inicial era que en cada una de las dos fechas programadas, este parámetro se evaluara en un solo día en los 40 sitios de muestreo, para que durante el tiempo que durara la evaluación no interfiriera algún factor meteorológico que pudiera modificar el estado actual del suelo en cada sitio de muestreo.

La primera evaluación se realizó a inicios de la temporada de lluvias y no se pudo concluir en un solo día. Se realizó los días 17 y 19 de mayo; sin embargo, el día 18 hubo precipitación por lo que los 11 sitios evaluados el día 19 presentaron una recarga de humedad mayor al resto de los sitios trabajados el día 17. El motivo por el que se realizó la evaluación en dos días fue porque el día 17 tuvo lugar una precipitación pluvial ininterrumpida que no permitió continuar trabajando.

La segunda evaluación se llevó a cabo iniciada la temporada de lluvias y al igual que la primera se llevó a cabo en dos días, el 28 y 30 de junio. El motivo por el cual se realizó en estas dos fechas, fue por el mal estado en que se encontraban los caminos de acceso a cada uno de los 40 sitios por efecto de la lluvia y porque había lluvia entre dos y tres veces durante el día.

7. Pendiente del terreno (Pn). La pendiente del terreno se refiere a la inclinación que tiene el terreno en relación a un plano horizontal y se midió con un clinómetro en %.

8. Exposición del terreno (Ex). Se determinó la orientación del terreno con respecto a los puntos cardinales. La medición se hizo mediante el uso de una brújula.

La posición del terreno se midió con valores de azimut en una escala en grados que vario de 0° a 360°. Con fines prácticos y de análisis, la exposición de la pendiente

del terreno se dividió en dos (exposición oriente y exposición poniente), agrupando los valores del azimut de 0 a 180° y de 181 a 360°, respectivamente.

9. Pedregosidad interna del suelo (Pg). En cada sitio de muestreo se marcaron aleatoriamente cuatro subsitios de 1 m<sup>2</sup> sobre la superficie del terreno y se excavaron a 30 cm de profundidad, que es el espesor de suelo que contiene la mayor cantidad de raíces absorbentes en la mayoría de las especies forestales (Pritchett, 1986). Por tanto, cada cepa excavada midió 0.30 m<sup>3</sup> de volumen (1 m x 1 m x 0.3 m). El volumen de la cepa representó el 100 % del volumen de la muestra, mientras que el volumen de piedras encontradas en la muestra representó la pedregosidad del sitio en %.

10. Profundidad del horizonte A. Las mismas cuatro cepas de 1 m<sup>2</sup> usadas para medir la pedregosidad interna del suelo, fueron excavadas a una mayor profundidad hasta descubrir en su totalidad al horizonte A y mediante una cinta métrica se midió en cm el espesor promedio de dicho horizonte a partir de la superficie del suelo mineral.

El horizonte A es el horizonte principal. Consiste de 1º) uno o más horizontes minerales superficiales de acumulación máxima de materia orgánica; 2º) horizontes superficiales o sub-superficiales que tienen colores más claros que el horizonte subyacente y el cual ha perdido minerales arcillosos, hierro y aluminio con la consecuente concentración de los minerales más resistentes; ó 3º) horizontes que pertenecen a las dos categorías anteriores (Ministerio de Agricultura y Cria, 1965).

El horizonte A y especialmente el horizonte A1 es el horizonte de actividad biológica máxima y está sujeto a las influencias más directas del clima, las plantas, los animales y las demás fuerzas del medio. En cierto sentido, el horizonte A protege al resto del suelo y en él tienen su origen muchas de las fuerzas formadoras del suelo (Ministerio de Agricultura y Cria, 1965).

11. Fertilidad del suelo. Se realizó análisis de laboratorio a 40 muestras de suelo provenientes de cada sitio, cada una de las cuales se formaron a partir de cuatro

submuestras, extraídas cada una de las cuatro cepas excavadas por sitio para determinar la profundidad del horizonte A y la pedregosidad interna del suelo. El procedimiento de preparación de cada submuestra consistió en extraer con un vaso de plástico del número 8 a una profundidad entre cero y 30 cm, una cantidad de suelo equivalente al volumen del vaso, la cual se vació en una bolsa de plástico junto con las otras tres submuestras obtenidas del sitio. La cantidad de suelo colocado en la bolsa de plástico fue igual en cada una de las cuatro submuestras, las cuales posteriormente fueron mezcladas hasta homogenizarlas perfectamente.

Las muestras sirvieron para caracterizar al suelo desde el punto de vista nutrimental y tener información referente a la disponibilidad de nutrimentos. Las muestras se analizaron químicamente en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados, para determinar las concentraciones de materia orgánica (%), nitrógeno (ppm), fósforo (ppm), potasio (ppm) y capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gr de suelo).

Esto permitió conocer el nivel de fertilidad del suelo de cada sitio en este periodo del año y a partir de esta información se pudo saber de posibles deficiencias nutrimentales que pudieran presentar los árboles, o si presentan un adecuado balance nutrimental, lo que pudiera influir en la incidencia o no de la plaga.

12. Potencial Hidrógeno. El pH se midió personalmente en las muestras de suelo de los 40 sitios y se determinó en unidades de pH mediante el empleo de un potenciómetro. Para ello se obtuvo una muestra de suelo del mismo tamaño para cada sitio, cada una de las cuales se colocó en un vaso de plástico del número 8. El método empleado fue el de pH en pasta saturada 1:2 (suelo-agua, V:V).

13. Número de pinos infestados (Ai). Un indicador de la severidad al ataque por sitio, es el número de pinos atacados por unidad de superficie de terreno (individuos m<sup>-2</sup>). Por tanto, esta variable se determinó mediante el conteo de los individuos de *P. hartwegii* de cada sitio de muestreo, que presentaron grumos de resina en su corteza a causa de la infestación por *D. adjunctus*.

14. Pinos muertos. Se registró la cantidad de individuos de *P. hartwegii* muertos por el ataque de *D. adjunctus*, estos fueron evaluados en número de pinos muertos/unidad de superficie. Los pinos muertos por el descortezador fueron identificados por la presencia de abundantes grumos de resina en su corteza, característicos del ataque de *D. adjunctus*.

15. Tocones de *P. hartwegii* por sitio. El número de tocones producto de las cortas de saneamiento por ataque del descortezador, fue registrado en campo. La identificación de los tocones de *P. hartwegii* atacados por los descortezadores, fue mediante un análisis que consistió en verificar a detalle la presencia de grumos de resina ocasionados por *D. adjunctus*.

El motivo por el que se cuantificó el número de tocones, fue para determinar la cantidad real de ataques, debido a que muchos pinos fueron atacados hace algunos años y al momento de realizar el estudio ya se habían talado.

16. Severidad del ataque (*Sa*). Un indicador de la severidad del ataque por pino, es la cantidad de grumos por superficie de corteza de cada individuo (ataques  $m^{-2}$ ). Sin embargo, en este caso la severidad del ataque se estimó en número de grumos/sitio. Para ello primero se determinó la cantidad de grumos por superficie de corteza entre 1.3 y 5.0 m de altura para cada *P. hartwegii* atacado por sitio. Esto se logró realizando un muestreo mediante un marcaje en la corteza de los pinos infestados dentro del área del fuste de mayor incidencia del descortezador, la cual consistió en marcar con pintura vinílica cuadros de muestreo de 0.25 x 0.25 m ( $0.0625 m^2$ ), a tres diferentes alturas a partir de la superficie del suelo (2.0, 3.5 y 5.0 m), en las cuatro direcciones de los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste), dando un total de 12 unidades de muestreo por árbol infestado.

Para lograr lo anterior, se construyó un marco de madera de 0.25 x 0.25 m, el mismo que fue colocado en el fuste a las alturas y direcciones de los cuatro puntos cardinales ya mencionados. Cada que se colocó el marco de madera sobre el fuste del pino, se le roció pintura vinílica por fuera del marco para que quedara marcado un cuadro de la misma dimensión sobre la corteza. Cuando hubo grumos de resina

ubicados en el interior de los cuadros marcado sobre la corteza de los pinos infestados por el descortezador, estos fueron contados para posteriormente calcular el promedio de grumos o ataques  $m^{-2}$  de corteza.

El proceso de cuantificación del número de grumos por pino, consistió en contar primero el número de grumos dentro de cada cuadro de muestreo, luego se sumaron tanto los grumos de cada cuadro de muestreo, como la superficie de cada cuadro, resultando una cantidad de grumos por cada  $0.75 m^2$  de corteza por pino. Posteriormente, se calculó la superficie de corteza entre 1.3 y 5.0 m de altura para cada pino infestado y luego se ponderó la cantidad total de grumos por pino a partir del número de grumos obtenido por cada  $0.75 m^2$  de superficie de corteza por árbol muestreado. Finalmente, la cantidad de grumos de todos los árboles infestados en cada sitio, fue sumada hasta obtener un total de grumos por sitio.

17. Grumos por unidad de superficie de corteza ( $G_c$ ). El número de grumos por unidad de superficie de corteza se evaluó en grumos/ $m^2$ . Para conocer esta variable, primero se calculó la cantidad de grumos entre 1.3 y 5.0 m de altura para cada *P. hartwegii* de cada sitio. Esto se logró mediante el procedimiento de muestreo descrito en la variable anterior.

Los grumos encontrados en cada una de las 12 muestras por árbol, se sumaron para dar una cantidad total de grumos en  $0.75 m^2$  de corteza por pino. Los grumos obtenidos en la superficie de  $0.75 m^2$  de corteza muestreada por pino, se extrapolaron a una superficie total de corteza entre 1.3 y 5.0 m de altura para cada pino, lo que dio como resultado un total de grumos por pino. Luego se sumaron los grumos de todos los *P. hartwegii* de cada sitio para así obtener el total de grumos por sitio. La superficie de corteza entre 1.3 y 5.0 m de altura para cada *P. hartwegii* en cada sitio, se calculó en base a una figura trapezoidal que es a la que mejor se ajustaría la corteza si se hiciera un corte vertical a lo largo del fuste y se extendiera la corteza en su totalidad.

Una vez realizado el cálculo anterior, se sumó la superficie de corteza de todos los pinos infestados de cada sitio, para así obtener la superficie de corteza por sitio.

Por último, el total de grumos por sitio se dividió entre la superficie total de corteza del mismo sitio, lo que dio como resultado el número de grumos por unidad de superficie de corteza en grumos/m<sup>2</sup>.

En el presente trabajo, todos los muestreos por árbol realizados en campo, así como el cálculo de la superficie total de corteza por pino, se realizó solo para un segmento de fuste entre 1.3 y 5.0 m de altura a partir de la superficie del suelo, por ser el área de mayor incidencia del descortezador y por cuestiones prácticas, ya que en alturas mayores a 5.0 m era muy complicado realizar mediciones que no tenían mucho caso debido a que era raro observar ataques por arriba de esas alturas así como por debajo de 1.30 m.

### **5.7. Análisis estadístico de la información de campo.**

Los cuatro modelos de predicción de los efectos de cada uno de los factores del sitio sobre la incidencia del descortezador *D. adjunctus* se obtuvieron a través del procedimiento STEPWISE del paquete estadístico SAS versión 6.12 (1996).

El grado de asociación entre las variables exposición del terreno y humedad del suelo, se analizó mediante regresión múltiple a través del coeficiente de correlación.

En la selección del modelo final se consideró un número de variables del sitio que representaran un alto valor de R<sup>2</sup> asociado con el menor valor residual de la suma de cuadrados.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron cuatro modelos de predicción del efecto de los factores del sitio sobre el ataque del descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford, para un bosque natural de *Pinus hartwegii* Lindl. En cada uno de los cuatro modelos de predicción obtenidos, se indican los factores del sitio que más influyen en el ataque del descortezador *D. adjunctus*, así como el tipo de relación existente entre ambos (positiva o negativa).

### 6.1. Factores del sitio y número de pinos infestados.

La relación conjunta de los factores del sitio con el número de *P. hartwegii* infestados, se estudió a través del análisis de regresión múltiple, incluyendo en el modelo general todos los factores medidos en campo y laboratorio.

El modelo de regresión múltiple que indica los factores del sitio que están más estrechamente correlacionados con el número de pinos infestados, es el siguiente:

$$P_i = 29.338 - 0.06256 E_x - 0.4149879 \text{ CIC} \quad \text{Modelo 1}$$

Donde:

$P_i$  = Número de pinos infestados.

$E_x$  = Exposición del terreno (azimut en grados).

CIC = Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g de suelo).

El modelo 1, señala que los factores del sitio que más se relacionan con el ataque del descortezador, a través del número de pinos infestados, son la exposición del terreno y la CIC. Los valores de significancia estadística y coeficientes de determinación de estas dos variables se muestran en el Cuadro 2. El resto de las variables independientes fue eliminado por el procedimiento STEPWISE al explicar menos del 15 % de la variación en el número de pinos infestados.

Cuadro 2. Significancia y coeficientes de determinación de las variables exposición y capacidad de intercambio catiónico.

<b>VARIABLE</b>	<b>SIGNIFICANCIA (%)</b>	<b>R<sup>2</sup> (acumulada)</b>
Exposición del terreno (azimut en grados)	0.0249	0.75
CIC (meq/100 gr. De suelo)	0.0207	0.38

### **Exposición del terreno .**

La exposición del terreno es uno de los factores del sitio que mayor influencia tuvo en el número de pinos infestados con un valor de significancia mayor a 95 % ( $\alpha=0.048$ ). El modelo 1 señala que este factor tiene una correlación negativa con el número de pinos plagados; es decir, al aumentar el valor del azimut disminuye la cantidad de pinos atacados y viceversa. Para fines de análisis las exposiciones del terreno se dividieron en exposiciones norte y exposiciones sur (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de pinos infestados en exposiciones norte y sur.

<b>EXPOSICIÓN DEL TERRENO</b>	<b>AZIMUT (grados)</b>	<b>SITIOS EVALUADOS</b>	<b>PINOS INFESTADOS</b>
NORTE	0	2	8
NOROESTE	315	6	6
SURESTE	135	1	1
SUROESTE	225	13	17
OESTE	270	18	16

En el Cuadro 3, se puede ver que en las exposiciones sur hubo mayor cantidad de pinos infestados en comparación con las exposiciones norte. Esto se puede deber a que la orientación del terreno ejerce influencia sobre la radiación e insolación que recibe la superficie del terreno (García, 2002), A su vez, la radiación solar e insolación influyen en la temperatura edáfica, en la evapotranspiración y por lo tanto en el balance de agua en el suelo. Por lo tanto, las zonas que tengan una orientación

hacia el sur están expuestas a recibir una mayor radiación solar, mientras que las que están de cara al norte serán más frías y con tendencia a ser más húmedas. Por eso, cuando se expone un árbol a condiciones en las que el agua está cada vez menos disponible como en las exposiciones sur, el primer proceso que se retrasa es la transpiración y a medida que se seca el suelo se reduce la hidratación del protoplasma, se produce pérdida de turgencia y cierre estomatal, lo que limita la entrada de CO<sub>2</sub> y por lo tanto la tasa de fotosíntesis (Daniel, et al., 1982), como consecuencia los árboles que se encuentran en estado de deficiencia fisiológica son más atractivos para los escolítidos (Dajoz, 2001). Por otro lado, la mayor escasez de agua en el suelo de las laderas con orientación al sur, también puede beneficiar a los microorganismos que viven en simbiosis con los insectos fitófagos, ya que las coníferas estresadas por sequía tienen en una zona cortical, un contenido en glucosa y fructosa más elevado que los árboles normales. Esto por ejemplo, favorece el crecimiento del hongo *Ceratocystis minor*, un simbionte externo del Escolítido americano *D. frontalis*. El crecimiento rápido del hongo patógeno facilita la colonización del árbol por el escolítido, reduciendo la producción de resina (Dajoz, 2001). Esto explica porque en las laderas con orientación al sur hubo mayor *P. hartwegii* infestados por *D. adjunctus*, que en las exposiciones al norte.

### **Capacidad de intercambio catiónico.**

Al igual que la variable anterior, la CIC tuvo un efecto negativo en el número de pinos infestados; es decir, al aumentar el valor de la CIC disminuye la cantidad de individuos atacados y al aumentar su valor sucede lo contrario.

La explicación a este comportamiento se basa en la idea de que *D. adjunctus* solo ataca árboles débiles (Rudinsky, 1962), por lo que este comportamiento del descortezador debe estar relacionado con el nivel de fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los árboles. Esto se puede deber a que la CIC es una medida de la cantidad de cationes que pueden ser adsorbidos o retenidos por un suelo (California Plant Health Association, 2004), por lo tanto el intercambio catiónico es una reacción importante en la fertilidad del mismo (Donahue et al., 1987). De hecho varios autores, han demostrado que la capacidad del suelo para intercambiar cationes es el

mejor índice de la fertilidad del suelo (Tamhane et al., 1986). Por tanto, los suelos minerales con una CIC alta tienden a ser más fértiles que los que poseen una CIC baja, ya que la probabilidad de que los nutrientes se pierdan por lixiviación es baja, debido a que el suelo posee una mayor capacidad para almacenarlos y suministrarlos a las plantas (California Plant Health Association, 2004).

Por esta razón, cuando aumentan los valores de la CIC en el suelo, esto indica que los árboles deben estar mejor nutridos y por lo tanto más sanos y vigorosos, lo que los hace menos atractivos para los descortezadores. Razón por la cual, en el modelo 1 al aumentar el valor de la CIC disminuye la cantidad de pinos infestados y viceversa.

## **6.2. Factores del sitio y cantidad de pinos infestados, incluyendo pinos muertos y tocones.**

Con respecto a las variables dependientes: número de pinos infestados y cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones, se aclara que de estas dos variables que en apariencia debieran ser una sola, esta última se considera ser más precisa por considerar no solo pinos infestados vivos sino también pinos infestados muertos, así como tocones con rastros de grumos. Sin embargo, fueron evaluadas de forma separada para observar el efecto de los factores del sitio en cada una. Esta idea surgió en campo al momento de evaluar el número de pinos infestados, ya que de inicio únicamente se había considerado cuantificar los *P. hartwegii* vivos que presentaran grumos de resina a causa de *D. adjunctus*. No obstante, se detectó que en algunos sitios de muestreo, además de observarse pinos vivos con grumos, también había pinos muertos y tocones con presencia de grumos, lo cual indicaba que estos dos últimos también deberían ser considerados en la evaluación, ya que finalmente tanto los pinos vivos como los muertos y los tocones, todos fueron infestados, solamente que en diferente momento.

En relación a los tocones aunque no todos presentaron grumos, se considero que todos fueron atacados por el descortezador y que todos son producto de las cortas de saneamiento que forman parte de los tratamientos sanitarios que cada año se

vienen realizando en este lugar como medida de control de la plaga, ya que así lo hizo saber el técnico forestal encargado de esta zona, el Ing. Francisco Cruz de SETIFOR (Servicio Técnico Forestal, comunicación personal).

En el proceso para obtener el modelo de regresión múltiple que indica los factores del sitio que más influencia tienen en la cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones, se emplearon 16 variables independientes, de las cuales el procedimiento STEPWISE de SAS, únicamente seleccionó las variables que a continuación se presentan en el modelo obtenido:

$$\begin{aligned} \text{Pim} = & 1.57985297 + 1.04038431 \text{ Pn} - 0.08469305 \text{ Ex} + 17.79220426 \text{ Pg} \\ & + 10.14989577 \text{ N} - 0.29435535 \text{ P} + 7.87164219 \text{ K} \end{aligned} \quad \text{Modelo 2}$$

Donde:

Pim = Cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones

Pn = Pendiente del terreno (%).

Ex = Exposición del terreno (Azimut en grados).

Pg = Pedregosidad interna del suelo (%).

N = Concentración de Nitrógeno en el suelo (ppm).

P = Concentración de Fósforo en el suelo (ppm).

K = Concentración de Potasio en el suelo (ppm).

El modelo 2, indica que los factores del sitio que más se relacionan con el ataque del descortezador, a través de la cantidad de árboles infestados incluyendo pinos muertos y tocones, son: la pendiente y exposición del terreno, la pedregosidad interna del suelo y las concentraciones de N, P y K en el suelo. Los valores de significancia estadística y coeficientes de determinación de estas variables se muestran en el Cuadro 4. El resto de las variables independientes fue eliminado por el procedimiento STEPWISE al explicar menos del 15 % de la variación en la cantidad de pinos infestados.

Cuadro 4. Significancia y coeficientes de determinación de las variables: pendiente, exposición, pedregosidad interna, nitrógeno, fósforo y potasio.

VARIABLE	SIGNIFICANCIA (%)	R <sup>2</sup> (acumulada)
Pendiente del terreno	0.0017	0.87
Exposición del terreno	0.0046	0.97
Pedregosidad interna del suelo	0.0006	0.37
Concentración de N en el suelo	0.0264	0.99
Concentración de P en el suelo	0.0709	0.99
Concentración de K en el suelo	0.0135	0.99

#### **Pendiente del terreno.**

En el modelo 2, la pendiente del terreno tuvo un efecto positivo en el número de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones. Al aumentar la pendiente en la ladera aumentó el número de individuos infestados y viceversa. Esto se debe a que la pendiente al igual que la orientación del terreno, ejerce influencia sobre las radiaciones que recibe la superficie del terreno. Además la pendiente ejerce una influencia significativa en la repercusión de la reserva de agua en el suelo. Es evidente que, a igualdad de cubierta vegetal, cuando mayor es la pendiente mayor es la escorrentía superficial y, en consecuencia, menor es la infiltración en el suelo (García, 2002). La pendiente acelera la erosión ya que aumenta la velocidad del agua que corre (Tamhane, 1986). El agua que corre sobre la superficie lleva casi siempre partículas sólidas y produce erosión. Asimismo, desde el punto de vista del agua infiltrada, este movimiento del agua tiende a hacer que las zonas pendientes se sequen más, que las áreas niveladas (Buol, et al. 1988). En el proceso de erosión existe pérdida de nutrimentos que varía según los diferentes nutrimentos. El fósforo se pierde principalmente con las partículas coloidales, en cuya superficie están adsorbidos, mientras el nitrógeno en forma de nitrito o nitrato es soluble, por lo que se elimina en disolución a través de la escorrentía sin que exista ningún desplazamiento del suelo (Hudson, 2006). La pérdida del suelo, la degradación de su estructura y el

arrastre de materia orgánica y nutrimentos, llevan a la pérdida del espesor del perfil cultural y al descenso de la fertilidad (Morgan, 1997). Por lo que los suelos de las planicies, son más fértiles que los suelos en las laderas (López, 2004).

Las anteriores alteraciones de la nutrición predisponen desfavorablemente a las plantas a los ataques de diversos parásitos (Bovey, 1989). Además, los efectos de la sequía ocasionada en las altas pendientes, ejerce en las coníferas modificaciones de los terpenos de la resina y descenso del poder de exudación de las oleorresinas, por lo que los árboles son atacados cuando presentan una presión de exudación de las oleoresinas inferior a la normal (Dajoz, 2001). Ambas modificaciones proporcionan para los descortezadores una mejora en las cualidades nutritivas del vegetal y una mayor atracción hacia los árboles, en particular a causa del color amarillo de las hojas (Cates y Alexander, 1982).

Entre mayor sea la pendiente más se intensifican las alteraciones fisiológicas en los pinos. De acuerdo con las leyes de la hidráulica, un aumento cuádruple en el grado de declive duplica la velocidad de agua en curso. Esta velocidad doble puede aumentar cuatro veces la fuerza de erosión y 32 veces la capacidad de arrastre (Tamhane, 1986).

Lo anterior explica porqué al aumentar la pendiente del terreno se incrementó el número de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones, y viceversa.

### **Exposición del terreno.**

En el modelo 2, este factor tuvo un efecto negativo sobre la cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones; es decir, al aumentar el valor del azimut disminuye la cantidad de pinos infestados y viceversa. No obstante, con fines de análisis las orientaciones del terreno se dividieron en exposiciones norte y exposiciones sur (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones en exposiciones norte y sur.

<b>EXPOSICIÓN DELTERRENO</b>	<b>AZIMUT (grados)</b>	<b>SITIOS EVALUADOS</b>	<b>PINOS INFESTADOS</b>
NORTE	0	2	22
NOROESTE	315	6	15
SURESTE	135	1	4
SUROESTE	225	13	52
OESTE	270	18	75

En el Cuadro 5 se puede ver que la cantidad total de árboles infestados incluyendo pinos muertos y tocones, es mayor en las exposiciones sur que en las exposiciones norte. La explicación a este resultado es la misma que fue expuesta en el modelo 1 para esta misma variable.

#### **Pedregosidad interna del suelo.**

Como se observa en el modelo 2, la pedregosidad interna del suelo tuvo un efecto positivo en el número de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones, lo que quiere decir que al aumentar el porcentaje de pedregosidad dentro de los horizontes del suelo también hubo un aumento en el número de pinos infestados y a la inversa.

Para entender este comportamiento del descortezador, se puede partir del concepto de profundidad del suelo que puede ser definida como el espesor del material edáfico favorable para la penetración de las raíces de las plantas (Ortiz, 1987). Por lo cual, un incremento en la profundidad casi siempre va asociado con una mayor cantidad de nutrientes, una gran capacidad de retención de agua y a una reducción de los riesgos de caída por el viento (Daniel, et al., 1982). Por lo tanto, las plantas necesitan una profundidad favorable para el buen desarrollo de sus raíces (Ortiz, 1987), debido a que las raíces absorben nutrientes y agua del suelo y los transportan desde donde fueron absorbidos hasta los tallos (Department of soil Science,



University of Reading, 1992). De hecho, la salud y el vigor del sistema radicular es fundamental para la salud y el vigor general del árbol (Daniel, et al., 1982).

Sin embargo, cuando la profundidad del suelo es limitada por barreras físicas (Ortiz, 1987), tales como rocas en el perfil del suelo, esto reduce la profundidad efectiva en lo relativo a los nutrientes y al agua disponible (Daniel *et al.*, 1982). Estas afectaciones tienen graves consecuencias en el desarrollo de los árboles, primero porque se restringe físicamente la propagación de la raíz, en especial la penetración profunda de la raíz, también se reduce el volumen del suelo en contacto con las raíces de las plantas y el total de nutrimentos absorbidos por las raíces (Tamhane et al., 1986). Consecuencia de lo anterior, las alteraciones de la nutrición predisponen desfavorablemente a las plantas a los ataques de diversos parásitos (Bovey, 1989).

Por otro lado, al reducirse la infiltración del agua por la presencia de barreras físicas como la pedregosidad al interior del suelo, el descenso en el contenido de agua en el árbol genera una reducción de la presión de exudación de las oleoresinas. En general, una presión de exudación de las oleoresinas inferior a la normal, hace que los árboles sean más atacados por los descortezadores (Dajoz, 2001).

Esto explica porque en el modelo 2 a medida que incrementa la pedregosidad interna del suelo también incrementa la cantidad de pinos muertos y tocones, aunque también sucede lo contrario.

### **Concentración de nitrógeno en el suelo.**

La concentración de N en el suelo de acuerdo al modelos 2, tuvo un efecto positivo en el número de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones, debido a que al aumentar la concentración de este nutrimento en el suelo, también aumentó el número de pinos infestados, y viceversa.

Lo anterior se puede deber a que muchos *P. hartwegii* del área de estudio pueden estar pasando por un constante estrés a causa de diversos factores que fueron observados en el área de estudio, tales como: incendios, sequía, fractura de ramas,

heridas causadas por los rayos y por resinación, entre otros (White, 1984). Cuando los pinos se encuentran en constante estrés por diversos factores, esto genera la movilización de compuestos nitrogenados en forma soluble; por tanto, los pinos estresados y enriquecidos en nitrógeno soluble (en particular aminoácidos que son las unidades estructurales de las proteínas), son más atacados por los insectos fitófagos que los pinos normales (White, 1984). Por tanto, los pinos estresados y ubicados en suelos con mayor concentración de nitrógeno pueden tener mayor capacidad de producir compuestos nitrogenados solubles y ser más susceptibles al ataque de *D. adjunctus*.

Además, las altas concentraciones de nitrógeno en los suelos, pueden estar ejerciendo un efecto antagónico con el potasio, ya que los excesos relativos de nitrógeno impiden la absorción de potasio por parte del árbol (Bovey, 1989), lo cual puede estar ocasionando un estrés nutrimental por deficiencia de potasio en los pinos, lo que conlleva a producir más compuestos nitrogenados solubles y por lo tanto un incremento en el número de pinos atacados. Razón por la cual al aumentar la concentración de nitrógeno en el suelo también aumentó el número de pinos infestados y al disminuir esta misma concentración, sucedió lo contrario.

### **Concentración de fósforo en el suelo.**

La concentración de fósforo en el suelo se relacionó negativamente con el número de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones; es decir, al disminuir la concentración de fósforo en el suelo aumentó el número de pinos infestados.

El fósforo existe en todas las células vivas. Las plantas lo utilizan para sintetizar ácidos nucleicos (DNA y RNA) y muchos otros compuestos vitales. Por medio de los enlaces ricos en energía (ATP y ADP), interviene en el almacenamiento y la transferencia de la energía química que se utiliza en los procesos de crecimiento y reproducción (California Plant Health Association, 2004). El fósforo en la planta interviene en la formación de las nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos. Tiene una importancia vital en: la división celular; la respiración y fotosíntesis; síntesis de azúcar, grasas y proteínas; la acumulación de energía (en los

compuestos ATP Y NADP) en los fenómenos de fosforilación; la regulación del pH de las células (sus ácidos y sus sales de “metal fuerte” forman soluciones “Buffer” que regulan el pH de las soluciones celulares), etcétera. Este nutrimento se acumula principalmente en: los tejidos activos (síntesis, respiración), los meristemas (puntos de división celular), semillas y frutos (Rodríguez, 1992). El fósforo estimula el crecimiento de las plántulas y la formación de la raíz. Acelera la maduración y promueve la producción de semillas (California Plant Health Association, 2004).

La carencia de este nutrimento produce grandes trastornos fisiológicos en las plantas (Rodríguez, 1992), por lo que los árboles que se encuentran en estado de deficiencia fisiológica son más atractivos para los descortezadores (Dajoz, 2001).

Una deficiente de fosforo también ocasiona un desarrollo débil, tanto del sistema radicular como de la parte aérea. Normalmente las hojas son de menor tamaño que en circunstancias normales, con los nervios poco pronunciados y coloración anormal: tonalidad azul verdosa con tintes bronceados y púrpuras (Ruano, 2003). Una reducción del crecimiento, en particular una disminución en el tamaño de las hojas, las yemas y los anillos anuales de crecimiento, proporcionan, para los insectos, una mejora de las cualidades nutritivas del vegetal y una mayor atracción hacia las plantas (Dajoz, 2001).

Así mismo, los fosfatos pueden ser la causa de numerosas deficiencias. Su presencia en cantidades excesivas en el suelo determina una fijación, bajo una forma inasimilable, de hierro, cobre y cinc. Así mismo, su exceso también impide la absorción del potasio. Por tanto, debe tenerse en cuenta que las alteraciones de la nutrición predisponen desfavorablemente a las plantas a los ataques de diversos parásitos (Bovey, 1989).

Esto explica porque al disminuir la concentración de fósforo en el suelo aumentó el número de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones.

### **Concentración de potasio en el suelo.**

La concentración de potasio en el suelo se relacionó positivamente con la cantidad de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones; es decir, al aumentar la concentración de potasio en el suelo, incrementó el número de pinos infestados.

Al potasio se le puede relacionar con la resistencia de las plantas a ciertas enfermedades y ataque por plagas (Pritchett, (1986), por lo que el modelo 2 debería indicar que a medida que incrementa la concentración de potasio en el suelo el ataque del descortezador debería disminuir; sin embargo, señala lo contrario.

El comportamiento del descortezador con respecto a la concentración de potasio en el suelo, puede deberse al efecto antagónico que ejerce el exceso de potasio en el suelo frente al magnesio, lo que provoca una deficiencia relativa de este último (Teuscher y Adler, 1987; Bovey, 1989). El magnesio forma parte de la molécula de clorofila, molécula que produce la síntesis de los hidratos de carbono a partir de la energía lumínica y el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, y constituye el 2.7 % del peso total de esta molécula (Rodríguez, 1992). Por tanto, una carencia de este elemento en la planta, además de provocar una disminución en la fotosíntesis, produce clorosis general en la planta por la falta de clorofila (Rodríguez, 1992), lo que a su vez origina un amarillamiento de las hojas (Dajoz, 2001). Estas modificaciones generan estrés en los árboles y una mayor atracción por los insectos descortezadores, en particular a causa del color amarillo de las hojas (Dajoz, 2001). Esto explica la relación positiva entre la concentración de potasio en el suelo y la cantidad de pinos infestados, incluyendo pinos muertos y tocones.

### **6.3. Factores del sitio y su efecto en la severidad del ataque.**

El análisis de los factores del sitio y su efecto en la severidad del ataque se estudió por medio del análisis de regresión múltiple, que incluyó en el modelo general todas las variables independientes medidas tanto en campo como en laboratorio.

El modelo de regresión múltiple que indica los factores del sitio que están más correlacionados con la severidad del ataque, es el siguiente:

$$Sa = 363.65177808 + 0.03259532 Ab - 1.42514542 Ex$$

Modelo 3

Donde:

Sa = Severidad del ataque (No. de grumos/sitio).

Ab = Área basal por hectárea (m<sup>2</sup>/ha).

Ex = Exposición del terreno (azimut en grados).

En el modelo 3, se puede ver que los factores del sitio que más se relacionan con el ataque del descortezador, a través del número de grumos por sitio, son el área basal y la exposición del terreno. Los valores de significancia estadística y coeficientes de determinación de estas variables independientes se muestran en el Cuadro 6. El resto de las variables independientes fue eliminado por el procedimiento STEPWISE al explicar menos del 15 % de la variación en la severidad del ataque.

Cuadro 6. Significancia y coeficientes de determinación de las variables área basal por hectárea y exposición del terreno.

VARIABLE	SIGNIFICANCIA (%)	R <sup>2</sup> (acumulada)
Área basal por hectárea	0.1057	0.69
Exposición del terreno	0.0504	0.51

### Área basal por hectárea.

El área basal por hectárea que es una medida de la densidad del arbolado, incluyó mediciones de todas las especies existentes en casa sitio y tuvo un efecto positivo en la severidad del ataque; es decir, a mayor área basal por hectárea mayor severidad del ataque.

Esto se puede deber a que una mayor área basal por hectárea, indica mayor número de individuos en el sitio. Esto trae como consecuencia la posible reducción de la producción fotosintética, una mayor proporción de la respiración respecto a la fotosíntesis y, lo que tal vez es la causa principal, la limitación de la cantidad de agua y nutrientes absorbidos por cada individuo, debido a la falta de desarrollo radicular

(Daniel, 1982). Cualquiera de estos tipos de competencia disminuye el vigor de los pinos y aumenta su vulnerabilidad ante las plagas. Lo que explica la relación positiva entre el área basal por hectárea y la severidad al ataque.

### **Exposición del terreno.**

Como se muestra en el modelo 3, este factor tuvo un efecto negativo sobre la severidad del ataque; es decir, al aumentar el valor del azimut disminuye la severidad del ataque y viceversa. Al igual que en los modelos anteriores, para un mejor análisis las orientaciones del terreno se dividieron en exposiciones norte y en exposiciones sur (Cuadro 7).

Cuadro 7. Severidad del ataque en exposiciones norte y sur.

<b>EXPOSICIÓN</b>	<b>AZIMUT (grados)</b>	<b>SITIOS EVALUADOS</b>	<b>GRUMOS/SITIO</b>
NORTE	0	2	205.73
NOROESTE	315	6	19.59
SURESTE	135	1	27.13
SUROESTE	225	13	397.31
OESTE	270	18	147.21

En el Cuadro 7, se puede observar que el total de grumos por sitio es mayor en las exposiciones sur que en las exposiciones norte. El análisis de estos resultados es el mismo que se presentó en el modelo 1 para esta variable.

### **6.4. Factores del sitio y número de grumos por unidad de superficie de corteza.**

Los factores del sitio y su relación con el número de grumos por superficie de corteza en árboles de *P. hartwegii*, se estudió a través del análisis de regresión múltiple, que incluyó todas las variables independientes consideradas en este estudio.

El modelo de regresión múltiple obtenido mediante el procedimiento STEPWISE de SAS, que indica los factores del sitio que están más correlacionados con el número de grumos por superficie de corteza, es el siguiente:

$$G_c = 7.86093885 + 0.00348115 A_b - 0.46845201 C_{IC} \quad \text{Modelo 4}$$

Donde:

$G_c$  = Número de grumos por unidad de superficie de corteza.

$A_b$  = Área basal por hectárea ( $m^2/ha$ ).

$C_{IC}$  = Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 gr. de suelo).

Al igual que en los tres modelos anteriores, en el modelo 4, se observa que los factores del sitio que más se relacionan con el ataque del descortezador, a través del número de grumos por unidad de superficie de corteza, son: el área basal por hectárea y la CIC. Los valores de significancia estadística y coeficientes de determinación de estas variables independientes se muestran en el Cuadro 8. El resto de las variables independientes fue eliminado por el procedimiento STEPWISE al explicar menos del 15 % de la variación en el número de grumos por superficie de corteza.

Cuadro 8. Significancia y coeficientes de determinación de las variables área basal por hectárea y capacidad de intercambio catiónico.

Variable	Significancia (%)	R <sup>2</sup> (acumulada)
Área basal por hectárea	0.0026	0.54
Capacidad de intercambio catiónico	0.0213	0.82

### Área basal por hectárea.

El área basal por hectárea incluyó mediciones de todas las especies existentes en casa sitio y como se puede ver en el modelo 4, esta variable tuvo un efecto positivo en el número de grumos por unidad de superficie de corteza; es decir, a mayor área basal por hectárea mayor cantidad de grumos por unidad de superficie de corteza.

La causa de este resultado se puede deber a que los rodales densos producen pinos débiles que son más susceptibles al ataque de plagas, por la alta competencia de recursos entre árboles. La lucha entre los árboles que componen el bosque, se establece no solo por la conquista de las sustancias nutritivas existentes en el suelo o por la apropiación de la humedad, sino también por luz (Vidal, 1947). Razón por la cual a mayor área basal por hectárea mayor cantidad de grumos por unidad de superficie de corteza.

### **Capacidad de intercambio catiónico.**

Como se puede observar en el modelo 4, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) tiene un efecto negativo en el número de grumos por superficie de corteza, ya que al disminuir el valor de la CIC aumento el número de grumos por superficie de corteza.

La CIC es una medida importante en la fertilidad y la productividad potencial de los suelos (California Plant Health Association, 2004). La materia orgánica que sirve como un depósito de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas (Tamhane, 1986), tiene una CIC alta, por lo que los valores de la CIC se deben, en parte, a diferencias en el contenido de materia orgánica. Por tanto, los suelos minerales con una CIC alta tienden a ser más fértiles que los que poseen una CIC baja, ya que la probabilidad de que los nutrientes se pierdan por lixiviación es baja, por lo que el suelo posee una mayor capacidad para almacenarlos y suministrarlos a las plantas (California Plant Health Association, 2004).

Por este motivo a menor valor de la CIC habrá una menor fertilidad en el suelo y por lo mismo habrá problemas de deficiencia nutrimental para los pinos. Como consecuencia, cuando los pinos están menos nutridos, eso los mantiene estresados y débiles, lo que a su vez los hace más atractivos y menos resistente al ataque por *D. adjunctu*, ya que este descortezador se desarrolla mejor en árboles decadentes o que atraviesan por una etapa de debilitamiento (Romanyk *et al.*, 2003).



### 6.5. Orden de influencia de los factores del sitio en la incidencia de *D. adjunctus* en base al número de variables dependientes afectadas.

Las variables del sitio que fueron seleccionadas por el procedimiento STEPWISE de SAS en cada uno de los cuatro modelos obtenidos y presentados en los puntos anteriores, ejercen cada una diferente grado de influencia sobre el ataque del descortezador, por lo que en este punto fueron ordenadas en orden decreciente empezando con la de mayor efecto. Esto con la finalidad de saber que factor favorece más la presencia de la plaga en un bosque y cuáles son los subsecuentes y en base a eso poder programar de manera más detallada y oportuna el manejo forestal que habrá de darse a los bosques de *P. hartwegii*, con respecto al descortezador.

Un criterio para saber cuál es el factor del sitio que ejerce mayor efecto en el ataque de *D. adjunctus* y cuáles son los factores subsecuentes en orden decreciente, es conociendo en cuantos de los cuatro modelos obtenidos, aparecieron cada una de estas variables. Con base en este criterio dichos factores fueron ordenados en forma decreciente iniciando con el de mayor efecto, tal como sigue: exposición del terreno; CIC; área basal por hectárea; concentraciones de fósforo, nitrógeno y potasio en el suelo; pendiente del terreno y pedregosidad interna del suelo.

La exposición del terreno es el factor del sitio que más influencia tuvo en la incidencia del descortezador *D. adjunctus*, debido a que su efecto se manifestó en tres de los cuatro modelos obtenidos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Exposición del terreno en tres modelos obtenidos.

<b>FACTOR DEL SITIO</b>	<b>MODELO EN QUE FUE SELECCIONADO</b>
Exposición del terreno	Modelo 1
Exposición del terreno	Modelo 2
Exposición del terreno	Modelo 3

La CIC y el área basal por hectárea ambas variables ocuparon el segundo lugar en importancia en cuanto a su influencia en la incidencia del descortezador *D. adjunctus*, debido a que su efecto se manifestó en dos de los cuatro modelos obtenidos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Capacidad de intercambio catiónico y área basal por hectárea en dos modelos obtenidos.

<b>FACTOR DEL SITIO</b>	<b>MODELO EN QUE FUE SELECCIONADO</b>
Capacidad de intercambio catiónico	Modelo 1
Capacidad de intercambio catiónico	Modelo 4
Área basal por hectárea	Modelo 3
Área basal por hectárea	Modelo 4

En relación a las variables independientes: concentraciones de fósforo, nitrógeno y potasio en el suelo, así como pendiente del terreno y pedregosidad interna del suelo, estas variables en conjunto ocuparon un tercer lugar en cuanto a su influencia en la incidencia del descortezador *D. adjunctus*, al ser seleccionadas únicamente en uno de los cuatro modelos obtenidos (Cuadro 11).

Cuadro 11. Fósforo, nitrógeno, potasio, pendiente del terreno y pedregosidad interna del suelo, seleccionados en un solo modelo.

<b>FACTOR DEL SITIO</b>	<b>MODELO EN QUE FUE SELECCIONADO</b>
Concentración de fósforo	Modelo 2
Concentración de nitrógeno	Modelo 2
Concentración de potasio	Modelo 2
Pendiente del terreno	Modelo 2
Pedregosidad interna del suelo	Modelo 2

## 7. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los cuatro modelos obtenidos, que indican la forma en que se relacionan los factores del sitio con el ataque de *D. adjunctus*, en un bosque natural de *Pinus hartwegii* Lindl del Cerro Tláloc en Texcoco Estado de México, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Existe relación entre los factores del sitio y el ataque del descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford, en rodales naturales de *P. hartwegii*.
2. Los factores del sitio tales como: CIC, exposición y pendiente del terreno, pedregosidad interna del suelo, área basal y las concentraciones de N, P y K, son los factores que más influyen en el ataque del descortezador *D. adjunctus*.
4. Los factores del sitio que más influyen en el ataque del descortezador *D. adjunctus*, por número de pinos infestados son: la exposición del terreno y la CIC.
5. Los factores del sitio que más se relacionan con el ataque del descortezador *D. adjunctus* a través del número de pinos infestados incluyendo pinos muertos y tocones son: la pedregosidad interna del suelo, la pendiente y exposición del terreno, y las concentraciones de N, P y K en el suelo.
6. Los factores del sitio que más influyen en la severidad al ataque del descortezador *D. adjunctus* son: el área basal y la exposición del terreno.
7. Los factores del sitio que más influyen en el ataque por el descortezador *D. adjunctus* a través del número de grumos por unidad de superficie de corteza son: el área basal y la CIC.
8. La exposición del terreno es el factor del sitio que más influencia tuvo en la incidencia del descortezador *D. adjunctus*, debido a que su efecto se manifestó en tres de los cuatro modelos obtenidos.

## 8. RECOMENDACIONES

Es recomendable que en estudios posteriores además de realizar análisis nutrimentales de suelos en laboratorio, también se determine el estado nutrimental actual de los pinos a través de análisis foliares, para poder saber con mayor precisión qué cantidad de los nutrimentos del suelo están absorbiendo y aprovechando los pinos y de esa manera evaluar con mayor exactitud el efecto de cada nutrimento en la incidencia del descortezador *D. adjunctus*.

Así mismo, se sugiere que además de realizar análisis de suelos y foliares para determinar concentraciones de los macronutrimentos primarios (N, P, K), también se realicen para los macronutrimentos secundarios (Ca, Mg, S), ya que estos últimos nutrimentos por la importancia de sus funciones en el metabolismo de los pinos, pueden complementar de manera significativa el análisis del efecto nutrimental de los pinos en la incidencia de *D. adjunctus*.

Hacer un estudio más detallado del efecto de la exposición del terreno en el ataque de *D. adjunctus* en bosque natural de *P. hartwegii*.

Por último, se sugiere que todas las mediciones de campo para determinar contenido de humedad en el suelo, se realicen en temporada de estiaje y durante un solo día cada repetición, para evitar posibles alteraciones por fenómenos meteorológicos inesperados, tales como lluvias intermedias que a través de recargas de humedad adicionales al suelo, puedan alterar los resultados de cada evaluación, como pudo haber ocurrido en este caso.

## 9. LITERATURA CITADA

- Abrahamson, L. P., H. M. Chu, and D. M. Morris, 1967. Symbiotic interrelationship between microbes and ambrosia beetles. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 60 (5): 1107-10.
- Barras, S. J. 1973. Reduction of Progeny and Development in the Southern Pine Beetle Following Removal of Symbiotic Fungi. *Can. Ent.* 105: 1295-1299.
- Barras, S. J. and T. Perry. 1972. Fungal Symbionts at the Prothoracic Mycangium of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae). *Z. Agrew, Ent.* 71:95-104.
- Baule, H., y C. Fricker. 1970. *The Fertilizer Treatments of Forest Trees*. BLV Verlagsgesellschaft mbH, Munich. 260 p.
- Berryman, A. A. Towards a unified theory of plant defense. In: W. J. Mattson, J. Levieux, C. Bernard-Dagan. 1988. Mechanisms of woody plant defenses against insects. Search for pattern. Springer, Berlin, 39-55.
- Bovey R. 1989. *La Defensa de las Plantas Cultivadas*. 2da Edición. Ed. OMEGA. Barcelona. pp 18-27.
- Braun, S. y W. Fluckiger. 1989. Effect of ambient ozone and acid mist on aphid development. *Environ. Pollut.*, 56: 177-187.
- Buol, S. W.; F. D. Hole; R. J. McCracken. 1988. *Génesis y Clasificación de Suelos*. Ed. Trillas. México. Pg. 144
- California Plant Health Association. 2004. *Manual de Fertilizantes para cultivos de alto rendimiento*. Ed. Limusa. México. Pg 13-15.
- Cates, R. G. y R. Alexander. Host resistance and susceptibility. In: J. B. Mitton, K. B. Sturgeon, (1982). *Bark beetles of North American Conifers*. University of Texas Press, Austin, 212-263.
- Chamberlin, W. J. 1958. *The Scolytoidea of the north west*. Oregon State College Corvallis pp. 1-208.
- Chansler, J. F. 1967. Biology and life history of *Dendroctonus adjunctus* (Coleoptera: Scolytidae) *Ann. Ent. Soc. Amer.* 60(4). pp 760-767.
- Christiansen, E. y A. Ericsson. 1986. Starch reserves in *Picea abies* in relation to defense reaction against a bark beetle transmitted blue-stain fungus, *Ceratocystis polonica*. *Canad. J. For. Res.*, 16: 78-83.
- Christiansen, E.; R. H. Wering. y A. A. Berryman. 1987. Resistance of conifers to bark beetle attack: searching for general relationships. *Forest Ecology and Management*, 22: 89-106.

- Cibrián, T. D., R. Campos B., M. E. Guerrero A., C. Pineda T. 1980. Dispersión de *Dendroctonus adjunctus* Blandf. (Col.: Scolotydae ) en la Estación Zoquiapán, México. Sociedad Mexicana de Entomología. México. 154 p.
- Cibrián, T. D. et al. 1986. Insectos de conos y semillas de las coníferas de México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/U.S. Department of Agriculture, Forest Service. South Eastern Forest Experiment Station. 110 p.
- Cibrián, T. D., J. T. Méndez. M., R. Campos B., O. Yates H., J. Flores L. 1995. Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. Pg. 282-285.
- Cibrián, T. D., D. Alvarado R., S. E. García D. 2007. Enfermedades Forestales en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. Pp 282-295
- Coulson, N. R. 1979. Population Dynamics of Bark Beetles. *Ann. Rev. Entomol-* 24: 417-447.
- Dajoz, R. 2001. Entomología Forestal, los insectos y el bosque. Ediciones Mundi-Prensa. España. 548 p.
- Daniel, T. W.; J. A. Helms; F. S. Backer. 1982. Principios de silvicultura. 2da. edición en ingles. Ed. McGRRAW-HILL. México, D.F. 311-312
- Donahue, L. R.; R. W. Miller; J. C. Shickluna. 1987. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S. A. México. Pg. 113
- Eamus, D. y Jarvis, P. G. (1989). The direct effects of increase in the global atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on natural and commercial temperate trees and forests. *Adv. Ecol. Res.* **19** : 1-55.
- Edwards, P. J. y D. Wratten. 1983. Wound induced defenses in plants and their consequences for patterns of insect grazing. *Ecología*, **59** : 88-93.
- Eguiluz P. T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis de Ing. Agr. Esp. En Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 571 p.
- Eguiluz P. T. 1985a. Descripción botánica de los pinos mexicanos. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 45 p.
- Eguiluz P. T. 1985b. Descripción botánica de los pinos mexicanos. F.A.O. México. 45 p.

- Fernandes, G. W. 1990. Hypersensitivity: a neglected plant resistance mechanism against herbivores. *Environ. Entomol.*, 19:1.173-1.182.
- García, E. 1968. Los climas del valle de México. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de agricultura. Chapingo, Estado de México. 63 p.
- García, H. J. y R. García del C. 1982. Edafología y Fertilización Agrícola. Ed. AEDOS. España. Pg. 110.
- García, S. J. 2002. Manual de repoblaciones forestales. Tomo I. Ed. MUNDI-PRENSA: Madrid, España. 2da. Edición. Pg. 60-61
- Graham, K. 1967. Fungal-Insect Mutualism in Trees and Timber. *Ann. Rev. Ent.* 12:105-126.
- Hernández M., H. 1985. Variación natural de *Pinus hartwegii* Lindl: Dimensiones transversales de las traqueadas en un transecto altitudinal de Zoquiapan. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. U. A. Ch. Chapingo, México. 59 p.
- Hudson, Norman. 2006. Conservación del suelo. Ed. REVERTE. Barcelona, España. Pg. 26-241.
- Jardel, E. J. 2006. Viejos y nuevos problemas en el sector forestal en México. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara. <http://www.ejardel@cucsur.udg.mx>
- Karban, R. y J. H. Myers. 1989. Induced plant responses to herbivory. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 30 : 331-348.
- Kinney, K. K.; R. L Lindroth; S. M. Jung y E. V. Nordheim. 1997. Effects of CO<sub>2</sub> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> availability on deciduous trees phytochemistry and insect performance. *Ecology*, **78**: 215-230.
- Langstrom, B.; C. Hellqvist; A. Ericsson, y R. Gref. 1992. Induced defense reaction in Scots pine following stem attacks by *Tomicus piniperda*. *Ecography*, 15: 318-327.
- Lerdau, M.; M. Litvak y R. Monson. 1994. Plant chemical defense: monoterpenes and the growth-differentiation balance hypothesis. *TREE*, 9: 58-62.
- Lieutier, F. y A. A. Berryman. Elicitation of defensive reactions in conifers. In : W. J. Mattson, J. Levieux, C. Bernard-Dagan. 1988. *Mechanisms of woody plant defenses against insects. Search por pattern* . Springer, Berlin, 313-319.

- Lieutier, F. y A. A. Berryman. 1988b. Preliminary histological investigations of the defense reactions of three pines to *Ceratocystis clavigera* and two chemical elicitors. *Canad. J. For. Res.*, 18: 1.243-1.247.
- Look, E. M. 1950. The pines of México and British Honduras. L. S. Gray Co., South Africa. Pp 12-133.
- Lopez-Lopez M. A. 2004. Growth, nutrient, and water status of montezuma pine as affected by alder in the state of Hidalgo, Mexico. Tesis PHD. Universidad del Estado de Colorado, EEUU. 118 p.
- Matsson, W. J. y J. Haack, R. A. 1987. The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *Biosciencie*, 37: 110-117.
- Ministerio de Agricultura y Cria. 1965. Manual de Levantamiento de Suelos. Traducción del Soil Survey Manual U. S. Dept. Agriculture. Caracas Venezuela. Pg. 239.
- Moller, A. P. 1995. Leaf-mining insects and fluctuating asymmetry in elm *Ulmus glabra* leaves. *J. Anim. Ecol.*, 64; 697-707.
- Morgan, R. P. C. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España.
- Musálen, S. M. A. y M. A. Solís P. 2000. Monografías de *Pinus Hartwegii*. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Centro. México. p. 71.
- Nelson, M. R. 1934. Effect of the blue stain fungi in southern pines attacked by bark beetles. *Phytophatol. Z.* 7: 327-53.
- Ogaz, I. B. y Cibrian, T. D. 1980. Biología de *Gnathotrichus sulcatus* (Le Conte) en *Pinus hartwegii* Lindl., bajo dos condiciones climáticas diferentes. In Memoria del Primer Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. Uruapan, Michoacán, México 137-148 p.
- Ortiz, V. B. y C. A. Ortiz S. 1987. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pg. 82
- Ortiz S., C. A. y H. E. Cuanalo de la C. 1977. Levantamiento Fisiográfico del área de Influencia de Chapingo. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Estado de México. 83 p.
- Palma, T.A. 1996. Tipología del uso forestal de la tierra de la región norte de la Sierra Nevada y su cartografía. Tesis. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 103 p.
- Pritchett, W. L. 1986. Suelos Forestales. Ed. LIMUSA. México, D. F. 634 p.



- Raffa, K. F. y A. A. Berryman. 1983. Physiological aspects of lodgepole pine wound responses of the southern pine beetle to a fungal symbiont of the mountain pine beetle -*Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Canad. Ent.*, **115**:723-734
- Rey C., J. A. 1975. Estudio de suelos de la Estación de Enseñanza, Investigación y Servicios Forestales de Zoquiapan. Bol. Téc. del Depto. de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. 1(4):1-63.
- Rodríguez, L. R. 1990. Plagas Forestales y su Control en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Rodríguez, S. F. 1992. Fertilizantes, Nutrición Vegetal. Ed. AGT EDITOR, S. A. México, D. F. Pg. 89-90
- Rohfritsch, O. A resistance response of *Picea excelsa* to the aphid *Adelges abietis* (Homoptera: Aphidoidea). In: W. J. Mattson, J. Levieux, C. Bernard-Dagan, (1988). Mechanisms of woody plant defenses against insects: search for pattern, Springer, Berlin, 253-266.
- Rolling, M. P. y W. H. Kearby. 1977. Influence of tree diameter aspect on the behaviour of Scolytids infesting black oaks. *Canad. Ent.*, **109** : 1.235-1.238.
- Romanyk, N. y D. Cadahia. 2003. Plagas de insectos en las masas forestales. Ed. Mundi-Prensa. Sociedad Española de Ciencias Forestales. pp. 75-82.
- Ruano, M. J. R. 2003. Viveros Forestales, manual de cultivo y proyectos. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pg. 36
- Rudinsky, J. A. 1962. Ecology of Scolytidae. *Ann. Rev. Entomol.* 7. pp 327-348.
- Rzedowski, J. 1983. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Sánchez, G. P. 2000. Cambio Climático. El cambio climático y la salud de los montes. Ministerio de Medio Ambiente. España.  
[http://www.forestales.net/archivos/forestal/pdfs%2032/cambio\\_climatico.html](http://www.forestales.net/archivos/forestal/pdfs%2032/cambio_climatico.html)
- Sánchez, G. A. y L. López M. 2003. Clasificación y Ordenación de la Vegetación del Norte de la Sierra Nevada, a lo Largo de un Gradiente Altitudinal. Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica 74(1): 47-71.
- Santillán, P. J. 1991. Silvicultura de las coníferas de la Región Central. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. U. A. Ch. Chapingo, México 305 p.
- Schonherr, J. S. (1977). Importance of visual stimuli in the host selection of bark beetles (*Dendroctonus ponderosae* and *Ips montanus*). *Comportement des*

- insects et milieu trophique: 187-193. Colloques internationaux du CNRS n.º 265.
- SEMARNAT. 2002. Programa Nacional de Sanidad Forestal 2002. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. Pp. 117-128.
- Solórzano I., F. 1987. Efecto de algunos factores ambientales en la germinación de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl., bajo condiciones controladas. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. U. A. Ch. Chapingo, México. 81 p.
- Straw, N. A. 1995. Climate change and the impact of green spruce aphid, *Elatobium abietinum* (Walker) in the UK. *Scottish Forestry*, 49: 134-145.
- Tamhane, R. V.; D. P. Motiramani y P. Bali. 1986. Suelos, su química y fertilidad en zonas tropicales. Ed. DIANA. México, D.F. Pg. 304-305
- Teuscher, H. y R. Adler. 1987. El suelo y su fertilidad. Ed C. E. C. S. A. México. Pp 510
- Vidal, J. J. 1947. El árbol en el campo, su cultivo y aprovechamiento. Ed. Buenos Aires. Argentina. Pg. 56
- Wargo, P. M. 1996. Consequences of environmental stress on oak: predisposition to pathogens, *Ann. Sci. For.* 53: 359- 368.
- Watt, A. D.; J. B. Whittaker y M. Docherty, *et al.*, The impact of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on insect herbivores. In: R. Harrington , N. E. Stork. 1996. *Insects in a changing environment. 17<sup>th</sup> Symposium of the Royal Entomological Society.* Academic Press, London, 197-217.
- White, T. C. R. 1974. A hypothesis to explain outbreaks of looper caterpillars, with special reference to populations of *Selidosoma suavis* in a plantation of *Pinus radiata* in New Zealand. (*Ecología*, 16 : 279-301.
- White, T. C. R. 1984. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. (*Ecologia*, 63: 90-105.
- Whitney, S. H. 1971. Assotiation of *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae) with Blue Stain Fungi and Yeasts during Brood Development in Lodgepole Pine. *Can. Entomol.* 103: 1495-1503.
- Wood, S. L. 1963. A revision of the bark beetle Genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera Scolytidae). *The Great Basin Naturalist* No. 23. (1-2). Pp. 1-117.
- Worrell, R. 1983. Damage by the spruce hark beetle in South Norway 1970-80: A survey, and factors affecting its occurrence, *Norsk Inst. Skogforsk*, **38** (6) :1-34.

- Wright, L. C.; A. A. Berryman y B. E. Wickman. 1984. Abundance of the fir engraver, *Scolylus ventralis*, and the Douglas-fir beetle *Dendroctonus pseudotsugae*, following tree defoliation by the Douglas-fir tussock moth, *Orgyia pseudotsugata*. *Canad. Ent.*, **116** : 293-305.
- Young, Raymond A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Ed. LIMUSA. México.