



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Dendroctonus mexicanus*  
HOPKINS Y VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA TEMPERATURA Y  
HUMEDAD RELATIVA, EN SAN JUAN DEL ESTADO, ETLA, OAXACA

NICOLÁS LEAL OLIVERA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis titulada: Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkings y variación estacional de la temperatura y humedad relativa, en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca, realizada por el alumno: NICOLÁS LEAL OLIVERA, 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  
FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

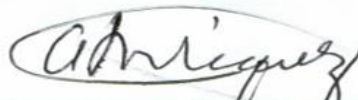
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



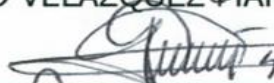
DR. ARMANDO EQUIHUA MARTÍNEZ

ASESOR



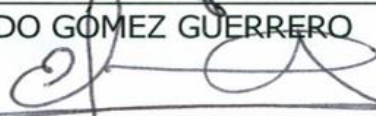
DR. ALEJANDRO VELÁZQUEZ MARTÍNEZ

ASESOR



DR. ARMANDO GÓMEZ GUERRERO

ASESOR



DR. JUAN FRANCISCO CASTELLANOS BOLAÑOS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para realizar mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad de realizar mis estudios.

Al Dr. Armando Equihua Martínez por dedicarme su tiempo, enseñanzas, consejos, paciencia y apoyo en todo momento. Gracias.

Al Dr. Alejandro Velázquez Martínez por brindarme su apoyo, asesorías, por sus sugerencias que fueron de gran ayuda para enriquecer el trabajo.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero por su gran apoyo incondicional para el enriquecer el presente trabajo. Gracias.

Al Dr. Juan Francisco Castellanos Bolaños por su apoyo: Consejos, sugerencias, experiencias. Gracias.

Al Dr. José Villanueva Díaz por el apoyo en la medición de muestras de crecimiento y acceso al laboratorio de Dendrocronología del INIFAP Gómez Palacio, Durango.

## DEDICATORIA

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento:

**Papa: Moisés**

**Mama: Paula**

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño esta tesis se las dedico a ustedes:

**Hermanos: Rosa, Elo, Reyna y Gerardo**

**Cuñados: Anastasio, German y Gil**

Dedico esta tesis a mis amigos, quienes fueron un gran apoyo emocional durante el tiempo en que escribía la presente:

**Margarito**

**Agustín**

**Maricela**

**Adolfo**

**German**

## CONTENIDO

Pág.

---

AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIA.....	ii
CAPITULO I. FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE <i>Dendroctonus mexicanus</i> HOPKINS Y VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA, EN SAN JUAN DEL ESTADO, ETLA, OAXACA.....	1
1.1. Resumen .....	1
1.2. <i>Abstract</i> .....	2
1.3. Introducción .....	3
1.4. Objetivo general .....	4
1.4.1. Objetivos Específicos .....	4
1.4.2. Hipótesis .....	4
1.5. Revisión de literatura.....	5
1.5.1. Situación forestal en México .....	5
1.5.2. Fitosanidad forestal en México .....	6
1.5.3. Distribución geográfica de <i>D. mexicanus</i> .....	8
1.5.4. Daño.....	9
1.5.5. Características generales de <i>D. mexicanus</i> .....	9
1.5.6. Descripción de los estados de desarrollo <i>D. mexicanus</i> .....	11
1.5.7. Ciclo biológico .....	11
1.5.8. Métodos de control.....	12
1.5.9. Control mecánico .....	13
1.5.10. Control químico.....	14
1.5.11. Feromonas.....	14

1.5.12.	Trampas Lindgren.....	15
1.5.13.	Enemigos naturales .....	16
1.5.14.	Factores climáticos .....	17
1.6.	Descripción del área de estudio .....	17
1.6.1.	Materiales y métodos .....	20
1.6.2.	Colocación de las trampas.....	20
1.6.3.	Cebado de las trampas .....	21
1.6.4.	Mantenimiento de las trampas .....	22
1.6.5.	Recolección de insectos .....	22
1.6.6.	Procesamiento de las muestras colectadas.....	22
1.6.7.	Obtención de datos climáticos .....	23
1.7.	Análisis de datos .....	24
1.7.1.	Fluctuación poblacional de <i>D. mexicanus</i> .....	24
1.8.	Resultados y discusión.....	25
1.8.1.	Fluctuación poblacional de <i>D. mexicanus</i> .....	25
1.8.2.	Comparación de poblaciones de <i>D. mexicanus</i> con factores climáticos..	29
1.9.	Conclusiones.....	31
1.10.	Literatura citada.....	32
CAPITULO II. RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y CRECIMIENTO EN ÁREA BASAL EN LOS ÚLTIMOS DOS SIGLOS EN SAN JUAN DEL ESTADO, ETLA, OAXACA.....		
2.1.	Resumen .....	39
2.2.	<i>Abstract</i> .....	40
2.3.	Introducción.....	41
2.4.	Materiales y métodos .....	42
2.4.1.	Descripción del área de estudio .....	42

2.4.2.	Muestreo de los núcleos de crecimiento .....	42
2.4.3.	Secado, montado y lijado de los núcleos de crecimiento.....	43
2.4.4.	Conteo y fechado de anillos .....	44
2.4.5.	Medición de los anillos de crecimiento.....	45
2.4.6.	Verificación del fechado .....	46
2.4.7.	Generación de cronologías .....	47
2.4.8.	Incremento en Área Basal (IAB) .....	47
2.4.9.	Análisis de la información climática .....	48
2.5.	Resultados y Discusión .....	48
2.5.1.	Cronologías y cofechado .....	48
2.5.2.	Incremento en Área Basal (IAB) .....	52
2.5.3.	Reconstrucción de la precipitación.....	53
2.5.4.	Relación factores climáticos con <i>D. mexicanus</i> .....	56
2.6.	Conclusiones .....	58
2.7.	Literatura citada.....	60

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Distribución geográfica de las especies de coníferas en México .....	6
Figura 1.2. Estados con superficies afectados por descortezadores en el periodo 1990-2012. ....	8
Figura 1.3. Distribución geográfica de <i>D. mexicanus</i> y sus especies de huésped en México basado en colectas del último siglo .....	9
Figura 1.4. Trampa Lindreng, ubicada en brotes de <i>Dendroctonus mexicanus</i> en San Juan del Estado. ....	16
Figura 1.5. Ubicación geográfica de las trampas Lindgren y sitios de muestreo de <i>Pinus teocote</i> y <i>Pinus oaxacana</i> , en el municipio San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. ....	18
Figura 1.6. Uso del suelo y vegetación del municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. ....	19
Figura 1.7. Tipos de climas del municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. ....	20
Figura 1.8. Ubicación de las trampas dentro de los brotes de <i>D. mexicanus</i> . ....	21
Figura 1.9. Frascos procesados con muestras de <i>Dendroctonus mexicanus</i> y las fechas de colecta. ....	23
Figura 1.10. Numero de insectos capturados con atrayente y sin atrayente en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. Las barras verticales representan desviación estándar. ....	25
Figura 1.11. Numero de <i>Dendroctonus mexicanus</i> capturados de febrero 2013 a febrero 2014 en diferentes sitios del municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. Las barras verticales representan la desviación estándar. ....	26
Figura 1.12. Fluctuación poblacional de <i>Dendroctonus. mexicanus</i> en el periodo enero 2013-febrero 2014 en el municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.	27



Figura 1.13. Numero de <i>D. mexicanus</i> por sitios colectados por fechas en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.....	28
Figura 1.14. Relación directa entre el número de <i>D. mexicanus</i> y temperatura máxima.....	30
Figura 2.1. Extracción de núcleos de crecimiento en <i>P. oaxacana</i> y <i>P. teocote</i> ...	43
Figura 2.2. <b>A)</b> Secado y montado y <b>B)</b> lijado de los núcleos de crecimiento. ....	44
Figura 2.3. Sistema de conteo, representación de micro anillos y anillos ausentes (Stokes y Smiley, 1996). ....	45
Figura 2.4. Sistema de medición de anillos de árboles integrado por un sistema de medición Velmex. ....	46
Figura 2.5. Cronología de <i>P. teocote</i> en San Juan de Estado, Etlá, Oaxaca.....	50
Figura 2.6. Cronología de <i>P. oaxacana</i> en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. ...	51
Figura 2.7. Incremento en Área Basal e Índice de Ancho de Anillo en <i>P. teocote</i> y <i>P. oaxacana</i> , en el municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.....	53
Figura 2.8. Reconstrucción de la precipitación en <i>P. teocote</i> en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.....	54
Figura 2.9. Superficies afectadas por <i>D. mexicanus</i> con factores climáticos.....	57
Figura 2.10. Porcentaje de la precipitación de enero-abril con respecto a la precipitación total y superficie afectada por descortezadores.....	58

## INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1. Variación del color del follaje en relación al desarrollo del descortezador .....	10
Tabla 2.1. Estadísticos generados por el programa COFECHA para la especie <i>P. teocote</i> y <i>P. oaxacana</i> .....	48
Tabla 2.2. Estadísticos generados por el programa COFECHA. ....	49

# **CAPITULO I. FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Dendroctonus mexicanus* HOPKINS Y VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA, EN SAN JUAN DEL ESTADO, ETLA, OAXACA**

**Nicolás Leal Olivera  
Colegio de Postgraduados, 2014.**

## **1.1. Resumen**

La dinámica poblacional de insectos en los bosques está relacionada con las variables climáticas; por esta razón, es importante conocer la forma en que se relacionan la variación poblacional de insectos con respecto al clima y proponer estrategias de prevención. En este trabajo se estudió la fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus Hopkins* con relación a la temperatura y humedad relativa. Se utilizaron 27 trampas Lindgren de multiembudo, cebadas con frontalina + alfa pineno y tres trampas sin atrayentes. Las colectas se realizaron mensualmente en el municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca en un bosque de pino (*Pinus teocote* y *Pinus oaxacana*) del 01 febrero 2013 al 28 de febrero 2014. Las mayores capturas se registraron en el mes de mayo de 2013, mientras que las menores fueron en noviembre 2013. Se encontró una correlación significativa entre el número de insectos y la temperatura máxima ( $r=57.5\%$ ,  $P<0.05$ ); mientras que la humedad relativa máxima no presentó correlación significativa ( $r=18.0\%$ ,  $P<0.53$ ) con el número de insectos.

Palabras claves. *Dendroctonus mexicanus*, Trampas Lindgren, Frontalina

**Population dynamics of *Dendroctonus mexicanus* Hopkins and seasonal variation of temperature and relative humidity in San Juan Estado, Etlá, Oaxaca**

**Nicolás Leal Olivera  
Colegio de Postgraduados, 2014.**

**1.2. Abstract**

The dynamics of the population of insects in forests is related climate variables; for this reason, is important to know the way that the populations of insects and climate are related to propose prevention strategies. This work studied the population dynamics of *Dendroctonus mexicanus* Hopkins in relation to climatic factors, the effect of temperature and relative humidity based on the capture of this pest was analyzed. 27 Lindgren traps were used, baited with alpha pinene and frontalin + three traps without attractants. The collections were made monthly in the town of San Juan State, Etlá, Oaxaca in a pine forest (*Pinus teocote* and *Pinus oaxacana*) from February 1, 2013 to February 28 2014. Higher catches were recorded in May 2013 while the lowest were in November 2013, a significant correlation between the number of insects was found with the maximum temperature ( $r=57.5\%$ ,  $P<0.05$ ); the maximum relative humidity variable did not show statistical correlation ( $r=18.0\%$ ,  $P< 0.53$ ) with the number of insects.

*Key words: Dendroctonus mexicanus, traps Lindgren, Frontalin.*

### 1.3. Introducción

Los insectos descortezadores de los géneros *Dendroctonus* e *Ips* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) son plagas importantes en bosques de coníferas. Anualmente en México mueren miles de árboles por ataques de estos insectos, ocasionando pérdidas económicas y ecológicas en gran magnitud (Saldaña, 1989; Díaz *et al.*, 2006). El descortezador *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, se distribuye en los climas templados y de transición, y es responsable de la muerte de bosques de pino en varias regiones de México y Centro América (Perry, 1951; Landaverde, 2001). La presencia de una plaga forestal puede tener varias causas, sin embargo, generalmente son los factores climáticos los que más influyen sobre los brotes de descortezadores. También existen otras causas relacionadas con la masa arbolada como son: la densidad, edad, el debilitamiento nutricional de la masa arbórea, estrés hídrico, la disminución de los enemigos naturales, la presencia de incendios y la falta de manejo silvícola en el bosque, entre otras (Romanyk y Kadahia, 2002).

El estado de Oaxaca ocupa un lugar importante por la diversidad de sus bosques; por su flora y fauna, y brindan servicios ambientales como son la regulación del ciclo hidrológico y del microclima, la conservación de la biodiversidad y la captura de carbono, entre otros; sin embargo, la provisión de estos servicios se puede poner en riesgo severamente el ataque de insectos descortezadores. La superficie afectada por estos insectos y por barrenadores en este Estado para el periodo 1995-2004, tuvo un promedio anual ligeramente superior a 1000 ha (SEMARNAT-CONAFOR, 2007). Para el periodo 2004-2009, el problema alcanzó niveles alarmantes al superar las 6,300 ha perturbadas de bosques de pino. El volumen de madera afectado en rollo total, fue cercano al millón de m<sup>3</sup> y un promedio de 152 m<sup>3</sup>/ha, y en particular, en el municipio de San Juan del Estado, se registró en el periodo 2004-2013 una superficie afectada por *D. mexicanus* de 925 ha y un volumen promedio 39,948.13 m<sup>3</sup> (Castellanos *et al.*, 2009).

Con base a lo anterior, se planeó el presente estudio con la finalidad de observar la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* y su relación con factores climáticos en un periodo de un año (2013), en el municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

#### **1.4. Objetivo general**

Determinar la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* y su relación con factores climáticos en los bosques de pino del municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

##### **1.4.1. Objetivos Específicos**

1. Estudiar la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* durante un año mediante el uso de trampas Lindgren cebadas con frontalina más alfa pineno.
2. Determinar la relación existente entre la fluctuación poblacional de la plaga, con la temperatura y humedad relativa del área de estudio.

##### **1.4.2. Hipótesis**

La temperatura y la humedad relativa influyen en la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

No existe relación de la temperatura y la humedad relativa con la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

## **1.5. Revisión de literatura**

### **1.5.1. Situación forestal en México**

En México, el 69% de la superficie del país (135 millones de ha) está cubierta por vegetación natural. México es un país particularmente forestal, en cuyo territorio se encuentra prácticamente todo tipo de vegetación terrestre natural conocidos. La vegetación natural ocupa una superficie aproximada de 138 millones de hectáreas (70.4 % del territorio), de la cual, el 47% está cubierta por bosques y selvas, mientras que el 41.2% corresponde a matorrales xerófilos, que es un ecosistema de tipo árido y semiárido. De la superficie forestal arbolada, los bosques templados cubren el 24.2% y las selvas el 22.8%, mientras que 11.8% corresponde a otros tipos de asociaciones de vegetación forestal (CONAFOR, 2012).

En nuestro país habitan, casi el 50% de las aproximadamente 100 especies de pinos registradas en el mundo, 21 de las cuales son endémicas (Styles, 1993), los cuales se encuentran localizados en un rango altitudinal de 1500 a 3000 msnm (Romeu, 1995) (Figura 1.1.).

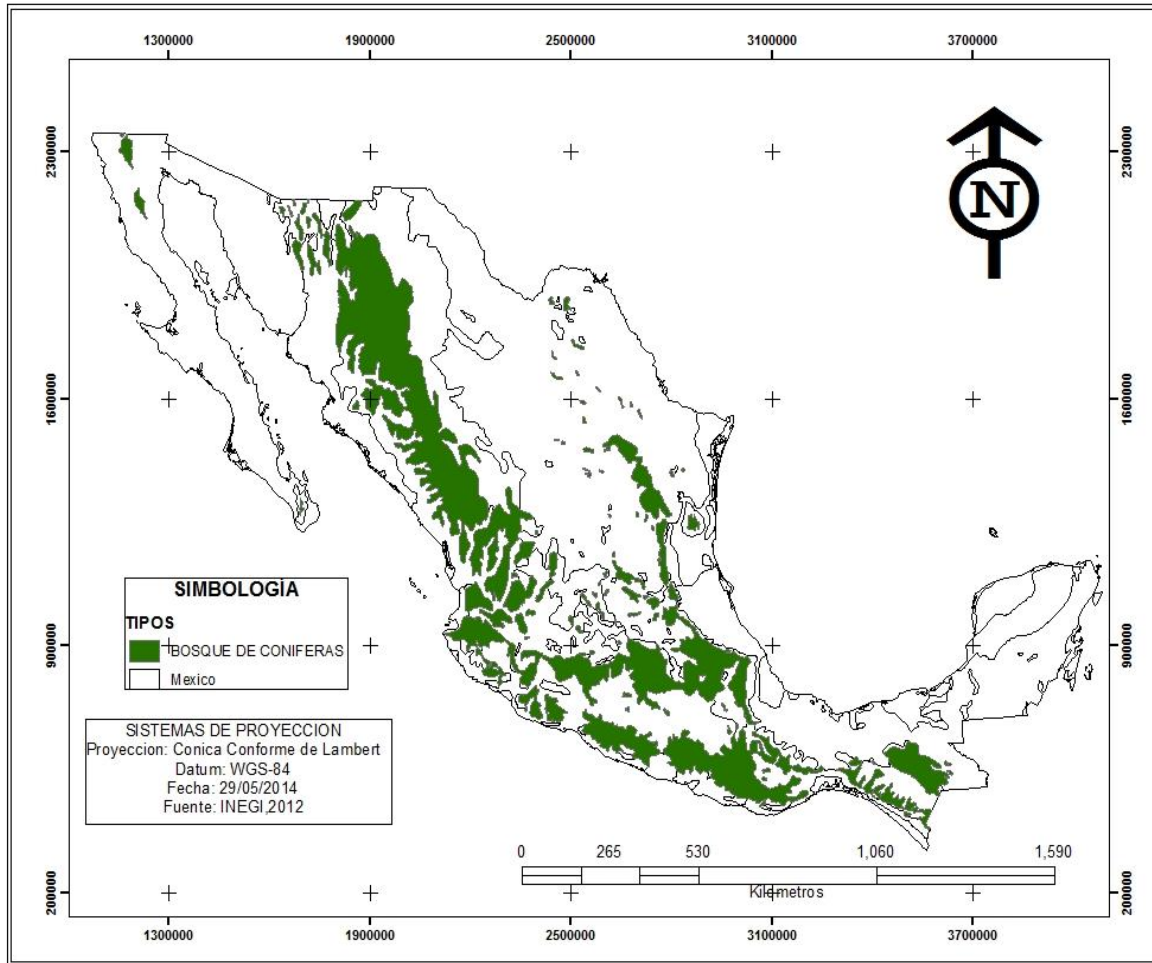


Figura 1.1. Distribución geográfica de las especies de coníferas en México, INEGI (2012).

### 1.5.2. Fitosanidad forestal en México

Las plagas forestales ocasionan daño de tipo mecánico o fisiológico a los árboles, como deformaciones, bajo crecimiento, debilitamiento e incluso la muerte; con un impacto ecológico, económico y social (CONAFOR, 2003, 2004; SEMARNAT, 2003). Estas son una de las principales causas de disturbios en bosques templados (Rodríguez, 1990). Actualmente se tiene un registro de 250 especies de insectos y patógenos afectando las coníferas (SEMARNAT, 2003).

Dentro de los factores naturales que facilitan el ataque de plagas están los fenómenos meteorológicos como las sequías, los huracanes y las nevadas, así



como otras conflagraciones naturales, como los incendios (Matthews *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2003; PNUMA, 2003). Sin embargo, las actividades humanas también facilitan el ataque. El aprovechamiento y pastoreo no regulados, el manejo silvícola deficiente, la introducción de especies de plagas y patógenos de otras regiones geográficas, así como los incendios, que predisponen a las masas arboladas al ataque por insectos o patógenos. La superficie afectada por plagas forestales puede indicar la presión que este factor ejerce sobre el estado de los recursos forestales nacionales.

En relación a la superficie afectada por plagas forestales, ésta no mostró una tendencia clara entre 1990 y 2010. Por otro lado, entre 1990 y 2002, la superficie afectada promedió 20,300 ha, mientras que, entre 2003 y 2010, este valor alcanzó 65,663 ha. De la superficie total diagnosticada entre 2003 y 2010, el mayor porcentaje correspondió a muérdagos (33.7%), seguido por descortezadores (28.9%), defoliadores (24.6%) y barrenadores (7.4%). Los estados con mayor superficie diagnosticada con plagas de descortezadores entre 1990 y 2012 fueron Durango (78656 ha), Oaxaca (74709 ha), Nuevo León (33200 ha), Guerrero (22589 ha), Chiapas (20024 ha). (Figura 1.2) (SEMARNAT, 2011,2013).

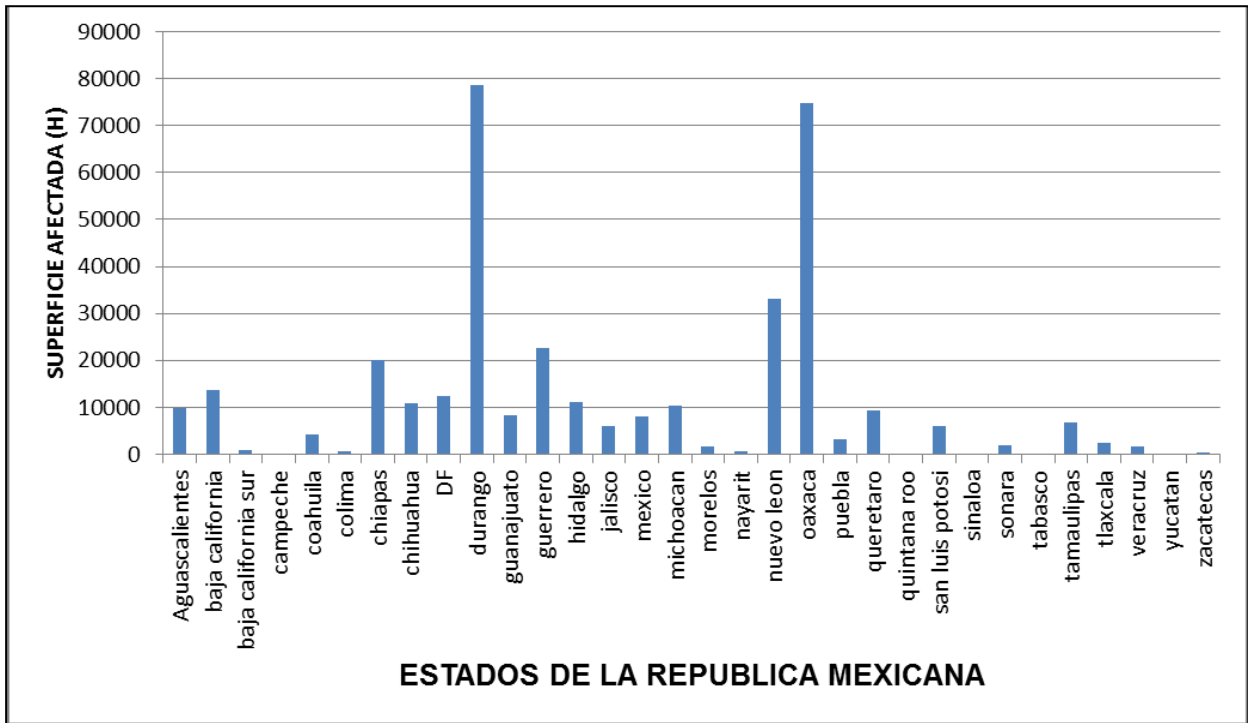


Figura 1.2. Estados con superficies afectados por descortezadores en el periodo 1990-2012. (SEMARNAT, 2011, 2013).

### 1.5.3. Distribución geográfica de *D. mexicanus*

*D. mexicanus* tiene una distribución geográfica que se extiende desde el Norte de México hasta Honduras (Wood, 1982). Recientemente registrada en el sur de los Estados Unidos (Moser *et al.* 2005). En México se distribuye en los estados de: Aguascalientes, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Cibrián *et al.*,1995). Según Salinas-Moreno *et al.*, (2010), es la especie con más amplia distribución en los bosques de México; sin embargo, los registros de colecta indican que es más común en el centro de México a lo largo de la Faja Volcánica Trasmexicana (FVT), (Figura 1.3).

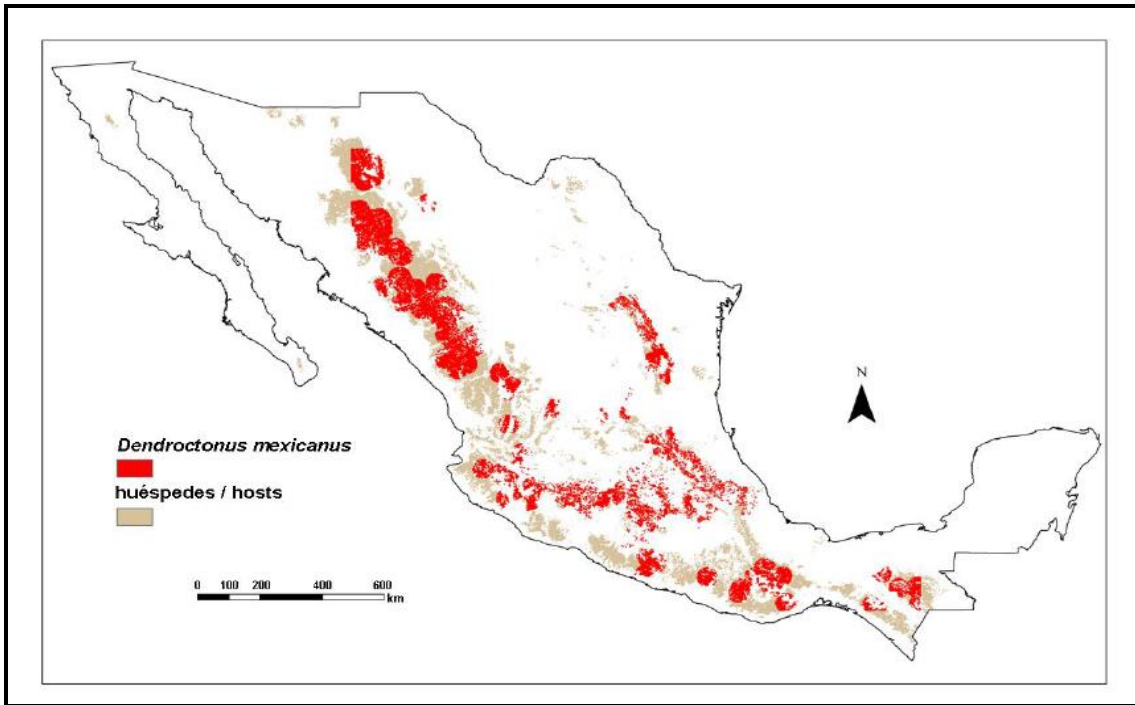


Figura 1.3. Distribución geográfica de *D. mexicanus* y sus especies de huésped en México basado en colectas del último siglo. Salinas-Moreno *et al.*, (2010).

#### 1.5.4. Daño

*D. mexicanus* es una de las especies más agresivas que causa mortalidad en grandes áreas boscosas del país, se estima que el impacto económico por depreciación de productos, puede ser superior al 80 %. Los brotes de esta plaga causan cambios en los planes de manejo, ordenación de bosques y plantaciones, además de deforestación y pérdidas económicas considerables (Salinas *et al.*, 2010).

#### 1.5.5. Características generales de *D. mexicanus*

En México y en Centro América, *D. mexicanus* es actualmente la plaga primaria responsable de la devastación de los bosques de pinos. Generalmente ataca bosques debilitados ya sea por incendios, por sequías prolongadas, por explotaciones maderables irresponsables o por resinaciones forzadas (Landaverde, 2001).

*D. mexicanus* ataca a varias especies de pinos como son: *Pinus hartwegii* Lindl., *P. herrerae* Martínez. *P. leiophylla* Schl., *P. devoniana* Martínez, *P. oocarpa* Schiede, *P. patula* Schl. Et Cham., *P. pinceana* Gordon, *P. teocote* Schl. Et Cham. (Perusquía, 1978), *P. ayacahuite* Ehrenb., *P. arizonica* Engelm., *P. cembroides* Zucc., *P. chihuahuana* Engelm., *P. cooperi* C.E. Blanco, *P. douglasiana* Martínez, *P. durangensis* Martínez, *P. engelmannii* Carr., *P. greggii* Engelm., *P. lawsonii* Roehl, *P. maximinoi* H.E. Moore, *P. montezumae* Lamb., *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. rudis* Endl. (Cibrián *et al.*, 1995), Marín y Ruiz (2006) reportan infestaciones en *P. radiata*, en la zona de estudio no se presentó en *P. oaxacana*.

Una de las principales reacciones de los pinos atacados por *D. mexicanus* como por otros descortezadores, son evidentes mediante la resina que segrega el árbol del lugar donde barrenó el insecto y se confirma por los grumos que sobresalen de la corteza (Saldaña, 1989). Otro síntoma se puede apreciar en el color del follaje como se muestra en el Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Variación del color del follaje en relación al desarrollo del descortezador (Rose, 1966).

Color del follaje	Estado de desarrollo
Verde normal	Adultos atacantes, huevecillos y larva I
Verde decolorado o amarillento	Larva I y II
Amarillento	Larva I, II y III
Amarillo rojizo	Larva II, III y IV
Café rojizo	Larva IV, pupa y adulto
Café oscuro	Pupa y adulto
Café oscuro o defoliado	Solo insectos secundarios

### 1.5.6. Descripción de los estados de desarrollo *D. mexicanus*

**Adulto:** el tamaño varía de 2.3 a 4.5 mm, con promedio de 3.3 mm (Cibrián *et al.*, 1995). Es 2.4 veces más largo que ancho de color café oscuro (Rodríguez, 1990), casi negra y brillante (Cibrián *et al.*, 1995), cabeza con frente convexa, con un par de elevaciones separadas por una ranura bien marcada que baja por la parte media de la cabeza; las elevaciones tienen en sus márgenes tubérculos frontales, evidentes en los machos y poco o nada desarrollados en las hembras; élitros con pelos largos en la mitad posterior del declive, estrías claramente impresas, con puntuaciones bien marcadas (Rodríguez, 1990; Cibrián *et al.*, 1995); declive elitral es convexo, las setas del declive son de más de dos tamaños y son moderadamente abundantes (Cibrián *et al.*, 1995).

**Huevecillo:** Ovalado, elíptico, de color blanco aperlado al principio y más cremoso al madurar y elástico, de 1 mm de longitud (Moreno, 1954; Cibrián *et al.*, 1995).

**Larva:** Presenta la cabeza bien esclerosada, con un aparato bucal fuerte, de tipo masticador; su cuerpo es cilíndrico, ápoda, de color blanco cremoso, con setas pequeñas casi no visibles.

**Pupa:** Son de tipo exaradas, de color blanco cremoso en un principio para después pasar a café claro y luego a café más oscuro.

### 1.5.7. Ciclo biológico

*D. mexicanus* presenta varias generaciones por año. El tiempo de generación (de huevo a huevo) varía de acuerdo a la temperatura y condiciones de desarrollo, desde 42 horas hasta 125 días, por lo que puede haber de 3 a 5 generaciones por año. La variación de números de ciclos por año depende de la altitud y los estados de desarrollo están sobrepuestos. En un ciclo de vida típico presentan los siguientes eventos: (Cibrián *et al.*, 1995).

Las hembras seleccionan al hospedante, en el cuales practican orificios entre la corteza hasta llegar al floema, entonces inician la emisión de feromonas de agregación que atraerá a machos y a hembras. Una vez que las hembras lograron

penetrar al floema, llegan a la zona de cambium e inician su alimentación; ellas liberan esporas de hongos manchadores del género *Ophiostoma sp.* Al arribar los machos se produce la cópula y poco después la hembra inicia la oviposición, para lo cual avanza entre el cambium y el floema, ya sea hacia arriba o hacia abajo del fuste. Los huevecillos permanecen en los nichos de oviposición de 5 a 19 días. Las larvas jóvenes se desplazan por túneles en el floema que ellas mismas practican, al pasar al segundo y tercer instar se desplazan más por la parte interna del floema; en el cuarto instar el desplazamiento está dirigido hacia la corteza externa en donde pupan. El estado larval requiere de 30 a 55 días. El estado de pupa dura de 10 a 14 días y se convierten en adultos que salen en busca de otros hospedantes. (Cibrián *et al.*, 1995).

#### **1.5.8. Métodos de control**

La lucha contra plagas se refiere a cualquier método que pueda dar lugar a la reducción de daños causados por ellas. Esta acción ha de estar justificada por razones biológicas y económicas, y los métodos a emplear deben ser adecuados a las circunstancias biológicas y económicas existentes (Romanyk y Kadhahia, 2002). La actual norma oficial NOM-019-SEMARNAT-2006 señala que los principales métodos de combate y control consisten en la remoción y destrucción de los insectos plaga, a través de actividades manuales y mecánicas como el derribo del arbolado, seccionado de fustes, descortezado de troncos y ramas; la quema, enterrado o abandono de corteza y ramas; y el control de residuos, y en algunos casos, la aplicación de insecticidas.

### **1.5.9. Control mecánico**

Este método se basa en la destrucción del mayor número posible de insectos, ya sea por la acción directa de algunas prácticas o complementado con la acción indirecta del medio ambiente que modifica y perturba la actividad fisiológica normal de un insecto a un grado que lo hace desfavorable para el desarrollo del mismo (Piña y Muñiz 1981). Los métodos más utilizados son los siguientes:

#### **a) Derribo y abandono**

Este método consiste básicamente en derribar los árboles con infestación actual, todos en dirección al centro del manchón, por lo general este método se utiliza donde los árboles derribados tienen dificultad para ser aprovechados, lugares de difícil acceso (Cibrián *et al.*, 1995).

#### **b) Derribo, troceo y descortezado**

Después de derribar los árboles infectados, se trocea y se quita la corteza, esta así puede quedar sin ningún tratamiento (Cibrián *et al.*, 1995). Según Rodríguez (1990), con el descortezado se provoca la intemperización de la corteza que trae como consecuencia la muerte de los insectos por falta de alimento, cambios en la temperatura, exposición a la luz y a otros organismos. En algunas ocasiones hay riesgo de que aquella parte de la población que se encuentra en la etapa de pre-adultos, pueda salir y volar hacia otros árboles, sin embargo, se asume que los insectos que pueden emerger de la corteza son solo una pequeña proporción del total de la población (Cibrián *et al.*, 1995).

#### **c) Derribo, descortezado y quema**

Esta práctica consiste en el derribo del arbolado plagado, eliminando la corteza, así como ramas afectadas y posteriormente quemarlas (Rodríguez 1990). Cabe mencionar que este método es muy efectivo, pero hay el riesgo de provocar

incendios, principalmente en el periodo de sequía, afectando un número mayor de árboles que ni los propios insectos.

#### **1.5.10. Control químico**

Es la eliminación de organismos perjudiciales o la prevención de daños que causan, mediante el uso de sustancias químicas, compuestos atrayentes o repelentes, con el fin de reducir la población de insectos que forman la plaga (Coulson y Witter, 1984, citado por Saldaña, (1989); Moreno, (1954). Según Cibrián *et al.*, (1995), la aplicación de productos químicos se puede hacer mediante un aspersor manual. Si las trozas no se descortezan, el insecticida se aplica a la corteza del fuste; el producto a utilizar debe tener persistencia moderada y baja toxicidad a vertebrados.

Es importante mencionar que anteriormente ya se han utilizado una gran cantidad de productos químicos para el control o eliminación de *D. mexicanus*, pero debido a que son de alta residualidad, desde hace algún tiempo se consideran como peligrosos para la conservación del equilibrio ecológico, por lo que su uso se ha restringido y en algunos casos se ha suspendido.

#### **1.5.11. Feromonas**

Las feromonas de insectos son químicos usados por los éstos para encontrar al sexo opuesto. Las feromonas sintéticas son utilizadas para romper el apareamiento al crear confusión en la búsqueda de los insectos del sexo opuesto, o son utilizadas para atraer insectos hacia las trampas. También se usan para detectar o monitorear las poblaciones de insectos o en algunos casos controlarlos (Jones y Lewis, 1981, Strom *et al.* 2001). Estas son sustancias químicas secretadas por un individuo hacia el ambiente, las cuales influyen en el comportamiento de otro individuo de la misma especie. Estas intervienen en muchas funciones conductuales como comportamiento sexual, ovoposición, alarma y defensa, formación de agregaciones, marcar el camino y otro tipo de



comunicación entre insectos sociales (Coulson y Witter, 1990 y Billings, *et al.* 1995).

El concepto feromonas puede ser definido como: sustancias químicas que son secretadas y liberadas a la atmósfera por un organismo o como metabolitos derivados de los propios alimentos ingeridos; en los insectos, estas sustancias son producidas por las glándulas exocrinas, que se encuentran en el intestino posterior, y recibidas como un mensaje por otros miembros de la misma especie, sobre los cuales inducen una reacción específica de comportamiento o un proceso de desarrollo (De León, 1983).

#### **1.5.12. Trampas Lindgren**

Lindgren (1983), describió a las trampas de embudos múltiples para escolítidos como una trampa eficiente, que consiste de una serie de embudos alineados verticalmente, con un frasco colector al centro. El mantenimiento mínimo requerido para esta trampa, permite una alta eficiencia para el trampeo, observación e investigación de escolítidos basada en feromonas.

Las trampas cebadas con atrayentes sexuales son para ayudar al monitoreo de poblaciones de insectos. Pueden usarse datos de captura de trampas para determinar su dinámica poblacional, comparar la actividad de la plaga de un año a otro o entre diferentes localidades geográficas. Los datos también pueden ayudar a determinar el éxito de esfuerzos de manejo, comparando las capturas antes y después. El monitoreo puede extenderse más allá de la plaga y de los estudios de la cuarentena; éstos pueden ser dirigidos a biodiversidad y otros problemas de ecología.

El uso de trampas cebadas con feromonas puede ayudar a determinar cuándo y dónde enfocar los esfuerzos para el control de adultos u otros estadios de desarrollo, mediante la conducción de los insectos a lugares predeterminados. Otro uso es la implementación de árboles trampa, los cuales pueden ser tratados mediante métodos mecánicos-químicos o con inyección de insecticidas sistémicos en el fuste (Figura 1.4.).



Figura 1.4. Trampa Lindreng, ubicada en brotes de *Dendroctonus mexicanus* en San Juan del Estado.

### 1.5.13. Enemigos naturales

El control de plagas mediante el uso de enemigos naturales es una manera eficaz de control dependiendo de la plaga. Thatcher (1961), menciona que el control biológico es el empleo de los enemigos naturales de los insectos. Así mismo, indica que los primeros intentos en el uso del control biológico de insectos forestales fueron hechos por Hopkins quien utilizó al *clerido* *Thanasimus formicarius* L. que fue importado de Europa al sureste de los Estados Unidos en un esfuerzo por controlar al escarabajo sureño de los pinos *Dendroctonus frontalis*.

El empleo de enemigos naturales como agentes de control biológico de descortezadores, no se ha enfocado aún de manera intensiva, sin embargo, se considera que ofrece importantes ventajas que podrían permitir en un futuro, llegar

a considerarlo como una alternativa dentro del manejo integrado de plagas para regular poblaciones de estos insectos (Pineda y Campos, 1987).

Rose (1966), menciona como enemigos naturales de *Dendroctonus mexicanus* a *Enoclerus sp.*, *Cymatodera sp.*, *Temnochila sp.*, individuos de la familia *Colydiidae*, *Tenebroides sp.*, entre otros.

#### **1.5.14. Factores climáticos**

Los factores climáticos, en muchos de los casos son los que determinan el incremento o la disminución de las plagas. Al referirnos a las condiciones de clima que regulan una determinada población de insectos, le damos mayor importancia a la temperatura, la humedad y la precipitación, ya que son los que determinan en múltiples casos la actividad y evolución de las plagas. Respecto a las plagas de insectos descortezadores del género *Dendroctonus*, debe dársele especial importancia al régimen de precipitación, ya que, según muchos autores, es el que ha determinado la aparición de las plagas y el incremento de las mismas (Moreno, 1954).

La fluctuación de poblaciones de escarabajos descortezadores se encuentran reguladas por las condiciones ambientales, por lo que estudios tendientes a esclarecer el grado de influencia son muy importantes (Flores, 1977).

#### **1.6. Descripción del área de estudio**

El estudio se realizó en la localidad de San Juan del Estado, del distrito de ETLA, Oaxaca, se localiza en la porción Valles Centrales del estado, entre las coordenadas 17° 16' 28.36" N de latitud norte y 96°47'38.10" longitud Oeste Figura (1.5.). Limita al norte con San Francisco Telixtlahuaca, San Juan Bautista Jayacatlán, San Miguel Aloapan y Santa María Yareni; al sur con Magdalena Apasco, San Francisco Telixtlahuaca, San Juan Bautista Guelache y Nuevo Zoquiapam. Se encuentra a una altitud sobre el nivel del mar que varía de 1700-2500 msnm, Cuenta con una extensión territorial de 94.42 Km<sup>2</sup> (Figura 1.5.).

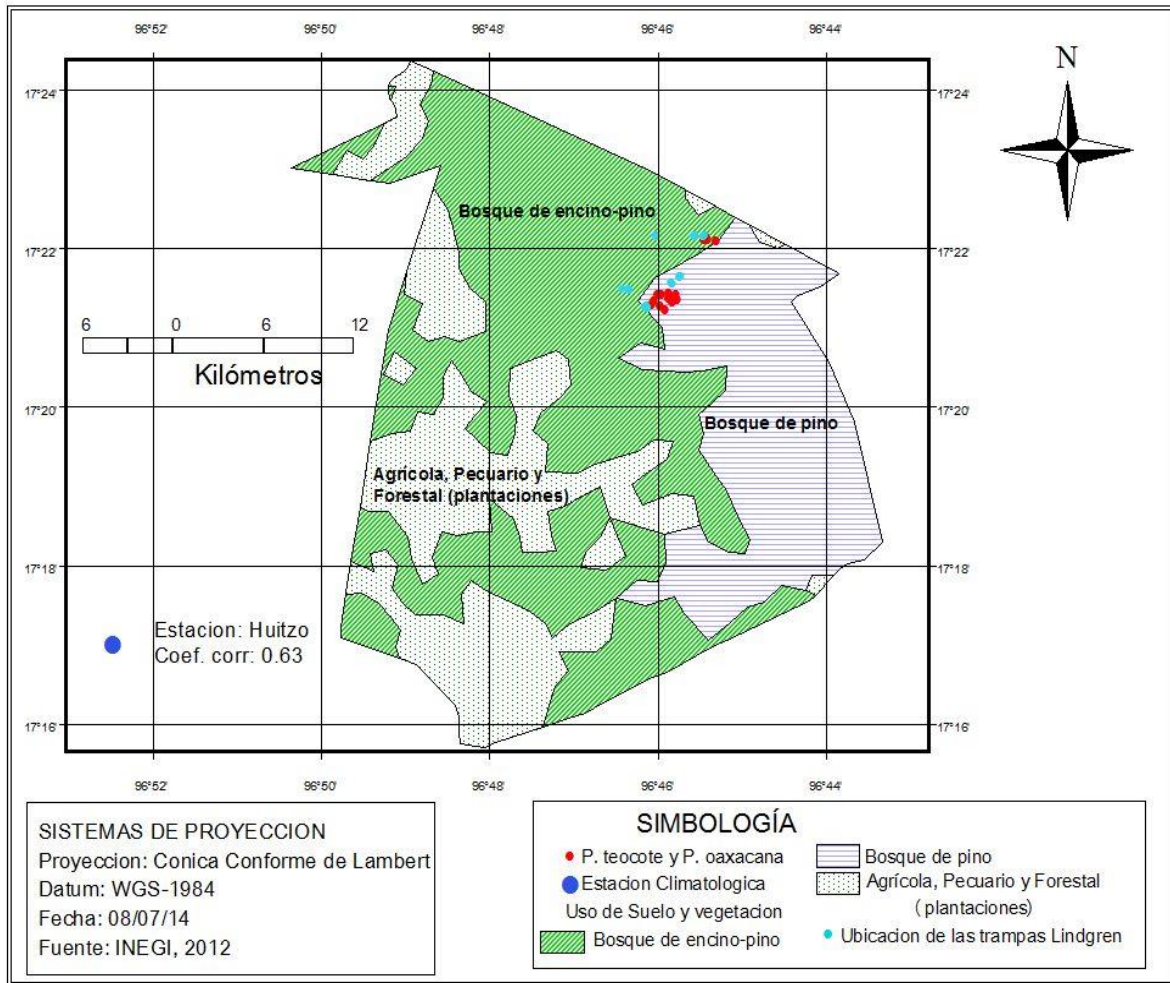


Figura 1.5. Ubicación geográfica de las trampas Lindgren y sitios de muestreo de *Pinus teocote* y *Pinus oaxacana*, en el municipio San Juan del Estado, ETLA, Oaxaca.

Dentro de la comunidad de San Juan del Estado, existe una mayor superficie con vegetación de bosques de encino, posteriormente le sigue las áreas destinadas al uso agrícola y pecuario y por último el área ocupada por coníferas, destacando: *Pinus teocote* Schiede *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus leiophylla* Schiede y *Pinus patula* Schiede como se muestra en la (Figura 1.6.).



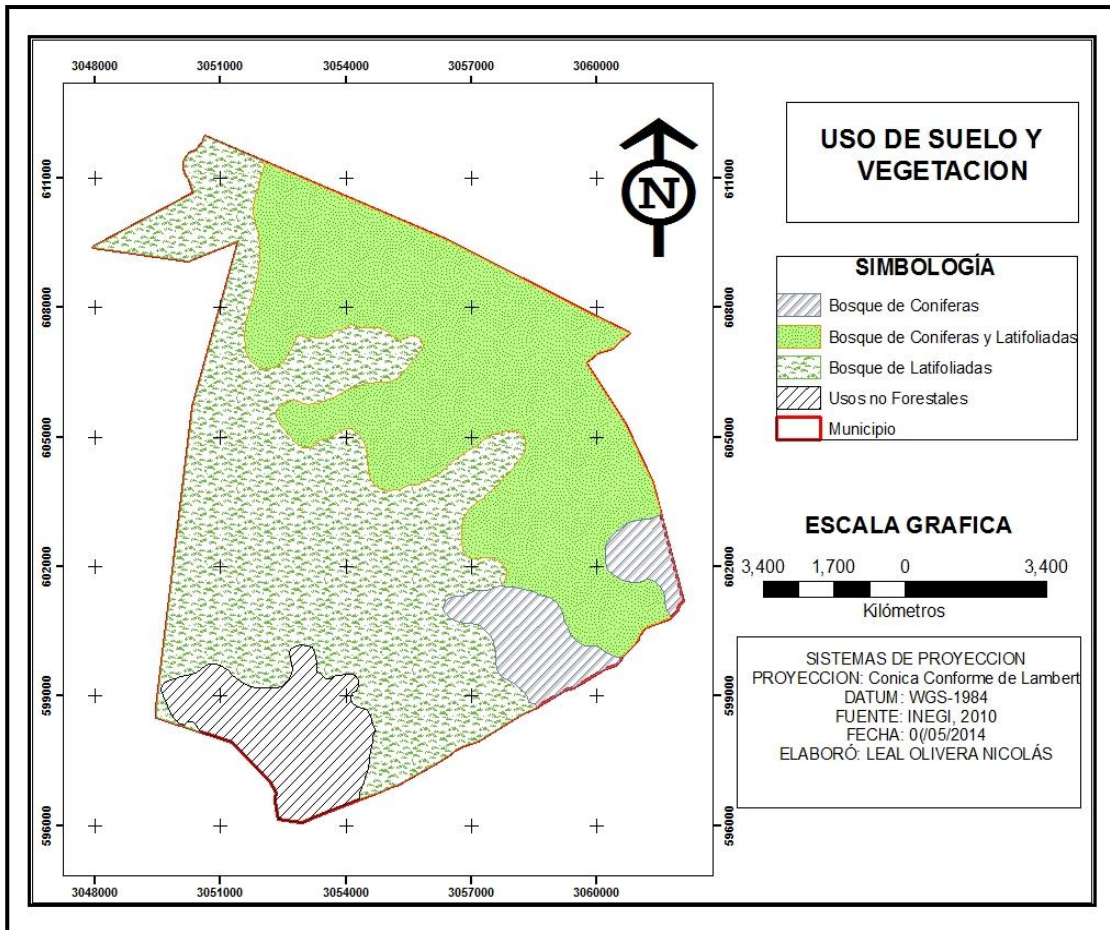


Figura 1.6. Uso del suelo y vegetación del municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

En la localidad destacan climas templados, de tipo (A) C (wo), templado subhúmedo con una temperatura media anual de 18.9 y 22 °C y la del mes más frío de -3°C la temperatura empieza a descender a partir de octubre hasta mediados de marzo, siendo los meses más fríos diciembre y enero (Köppen modificado por García 1973) (Figura 1.7.). Con una precipitación media anual de 585 a 745 mm, con una mayor incidencia en septiembre. El 80 % de estas lluvias ocurren en el período del mes de mayo a octubre con una disminución entre julio y agosto y en el mes de abril hay precipitaciones alrededor de los 50 mm. Existen principalmente suelos de tipo Cambisol eútrico, Luvisol vertico y Regosol eutrigo INEGI (2010).

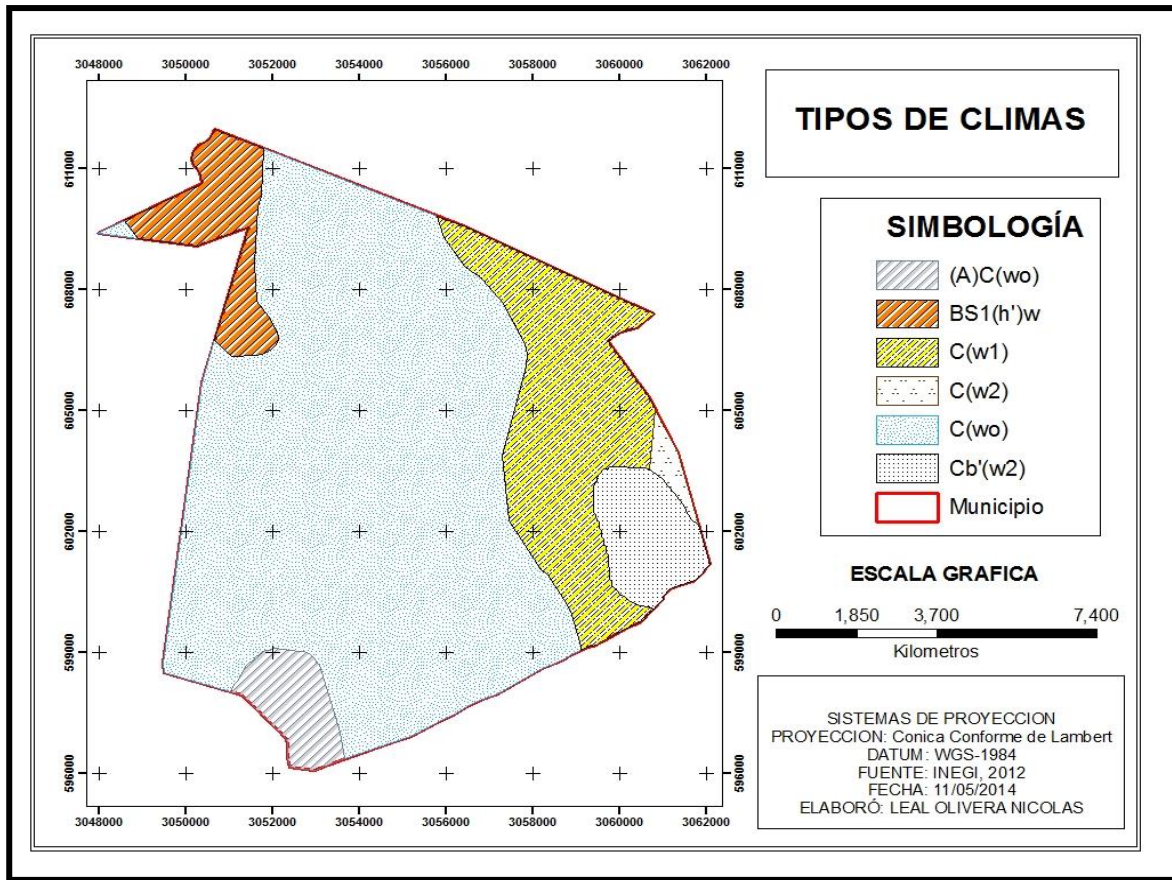


Figura 1.7. Tipos de climas del municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

### 1.6.1. Materiales y métodos

### 1.6.2. Colocación de las trampas

Se utilizaron trampas multiembudo Lindgren®, de 12 unidades y como atrayentes feromonas (Alfa pineno + frontalina). Una vez que se identificó el área afectada por *D. mexicanus*, se definieron 9 brotes en cada uno de los rangos altitudinales: 1900-2000, 2000-2100 y 2200-2300, dentro de cada rango se colocaron 9 trampas dando un total de 27 trampas, más tres trampas de testigo (sin feromona). Las trampas se colocaron en árboles no hospederos u hospederos muertos, para evitar que los insectos atacaran al arbolado vivo. La altura de las trampas estuvo alrededor de 1.50 metros sobre el suelo. Las trampas se

aseguraron de las ramas de los árboles con el alambre ubicado en la parte superior de las mismas y con cordón para evitar que estas se cayesen. Las trampas se colocaron completamente al azar, con el fin de que no se favoreciera alguno de los tratamientos por estar en una posición determinada. Entre cada una de estas existió como mínimo una separación de 20 metros (Figura 1.8.).

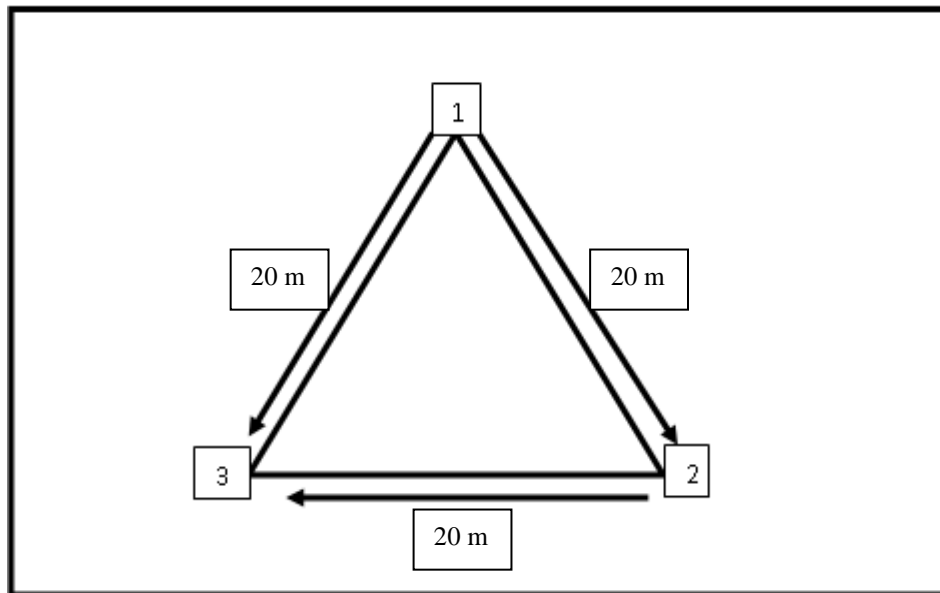


Figura 1.8. Ubicación de las trampas dentro de los brotes de *D. mexicanus*.

### 1.6.3. Cebado de las trampas

En cada una de las trampas se colocaron feromonas que fueron (Alfa pineno + frontalina), dichas feromonas se colocaron en la parte media de las trampas distribuidas en cada brote como sigue: **T1** Alfa pineno + frontalina, **T2** Alfa pineno + frontalina, **T3** Alfa pineno + frontalina y **T4** testigo. La frontalina, se colocó en el sexto embudo de la trampa contándolos de arriba hacia abajo. Se sujetó con los plásticos que vienen de cada lado de esta. La feromona viene en un sobre de plástico. Alfa pineno, se colocó de igual forma en el sexto embudo donde se ubicó la frontalina. Dentro de cada vaso colector se agregó una banda plástica de insecticida Vapona (Diclorvos) para que los insectos atraídos al caer en las trampas mueran y no escapen nuevamente.

#### **1.6.4. Mantenimiento de las trampas**

El periodo estimado de liberación de la frontalina es de aproximadamente 30-45 días, por lo tanto se debió renovar en todas las trampas que la contenían, pasado este tiempo. El insecticida Vapona (Diclorvos) se cambió cada mes, puesto que se estima que en este tiempo es cuando deja de actuar contra los insectos.

#### **1.6.5. Recolección de insectos**

Una vez establecidas las trampas en el área de estudio, se revisaron mensualmente durante un año, dicha actividad consistió en vaciar el vaso colector con muestras de insectos a frascos de 250 ml con alcohol al 70 % para evitar su descomposición. Posteriormente las muestras se llevaron al laboratorio de Entomología Forestal del Colegio de Postgraduados, para ser analizados e identificados. Para la identificación de los insectos colectados, se ocuparon claves taxonómicas de Wood (1982).

#### **1.6.6. Procesamiento de las muestras colectadas**

Después de haber realizado las colectas de campo, se llevó el registro de las poblaciones del descortezador y de los depredadores, que consistió en contar cada uno de los insectos atrapados en cada una de las trampas. El proceso comenzó por sacar los insectos de los frascos con alcohol y vaciarlos en una charola de disección para realizar la separación de la basura, de los descortezadores y de los enemigos naturales. Es importante mencionar que en la charola solo se vació un frasco, y después de terminar con ese, se lavaba dicha charola y se proseguía con los otros frascos para evitar confusiones con los tratamientos, las repeticiones y la fecha de colecta. Posteriormente, con la ayuda de una pinza entomológica se realizó la inspección y separación de los insectos capturados. Todos los insectos se colocaron dentro de un frasco de vidrio limpio y con alcohol al 70%, y se etiquetó con su respectivo tratamiento, repetición y fecha de colecta (Figura 1.9.).



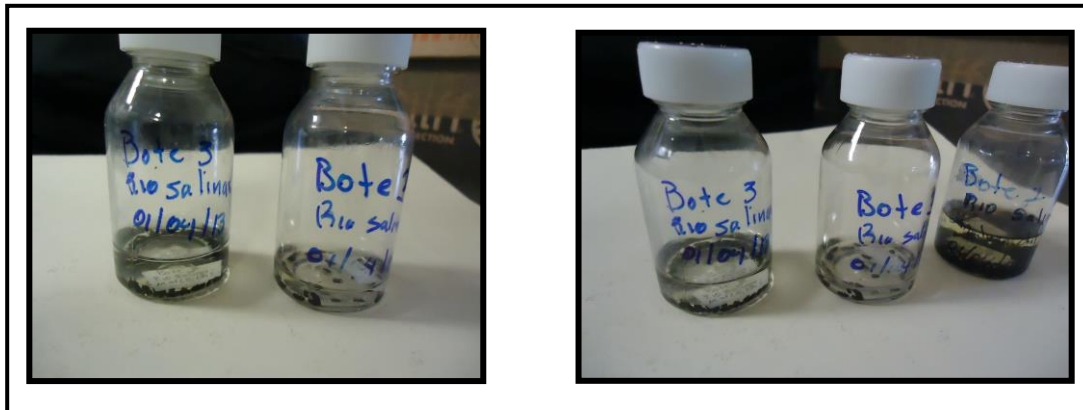


Figura 1.9. Frascos procesados con muestras de *Dendroctonus mexicanus* y las fechas de colecta.

Posteriormente se separaron de cada uno de los frascos a los descortezadores de nuestro interés *D. mexicanus* de todos los demás (que incluyen a enemigos naturales, otros descortezadores e insectos que no son de nuestro interés), y se contabilizaron ambos después de haber sido identificados. Esto se hizo con ayuda de una caja de petri, del microscopio y de guías taxonómicas, así como de especialistas en la identificación de este tipo de insectos.

El número de ejemplares de cada especie de interés, de cada una de las colectas, se registró en un formato de datos en Excel. Después de haber contabilizado a los insectos, estos se depositaron nuevamente en frascos con alcohol al 70% y se etiquetaron, para posibles dudas y aclaraciones posteriores.

#### **1.6.7. Obtención de datos climáticos**

Para poder conocer las variables climáticas, temperatura máxima, humedad relativa máxima, precipitación del área de estudio, se colocaron dentro de cada rodal datalogers® para conocer datos diarios del área de estudio, éstos tuvieron un periodo de colección de datos de un año (2013). Por otra parte también se buscó información climática con datos históricos del municipio de interés, dicha información climática se extrajo del Extractor Rápido de Información climática (ERIC III. IMTA 2009).

## **1.7. Análisis de datos**

### **1.7.1. Fluctuación poblacional de *D. mexicanus***

Para la determinación de la fluctuación poblacional de *D. mexicanus*, se contabilizó el número de insectos capturados por trampas y por fechas de colecta, posteriormente se elaboraron gráficas de fluctuación, tanto del número total de individuos del descortezador de manera mensual y anual. Estos datos permitieron determinar en qué momento este descortezador vuela con mayor cantidad y frecuencia.

Al tener los datos del número de individuos de *D. mexicanus*, se graficaron junto con los valores climáticos medios mensuales, con la finalidad de compararlos y verificar si existe una relación entre sí; se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar si los variables de climas influyen o se ven afectados en la dispersión de *D. mexicanus*.

Se utilizaron datos históricos con superficies plagadas de *D. mexicanus* (2004-2013), que fueron proporcionados por el asesor técnico de la comunidad, con la finalidad de hacer una mejor interpretación de los datos. Los datos de superficies afectadas se usaron para determinar si existe una relación con la temperatura máxima y la precipitación, que se mencionan en el capítulo II.

## 1.8. Resultados y discusión

### 1.8.1. Fluctuación poblacional de *D. mexicanus*

Las capturas fueron más altas y significativas en las trampas con atrayentes ( $33\pm 9.33$ ), comparadas con las trampas sin atrayentes ( $3\pm 1.33$ ) (Figura 1.10.). Coincidiendo con lo reportado por Sánchez *et al.*, (2005), que la frontalina + alfa pineno son efectivos como atrayentes para la colecta de *D. mexicanus*. En el sitio Rio Salinas se capturaron más insectos que el resto de los sitios (La Uva, El Sombrero y Llano de Ocote).  $P > 0.05$ ) como se muestra en la (Figura 1.11.).

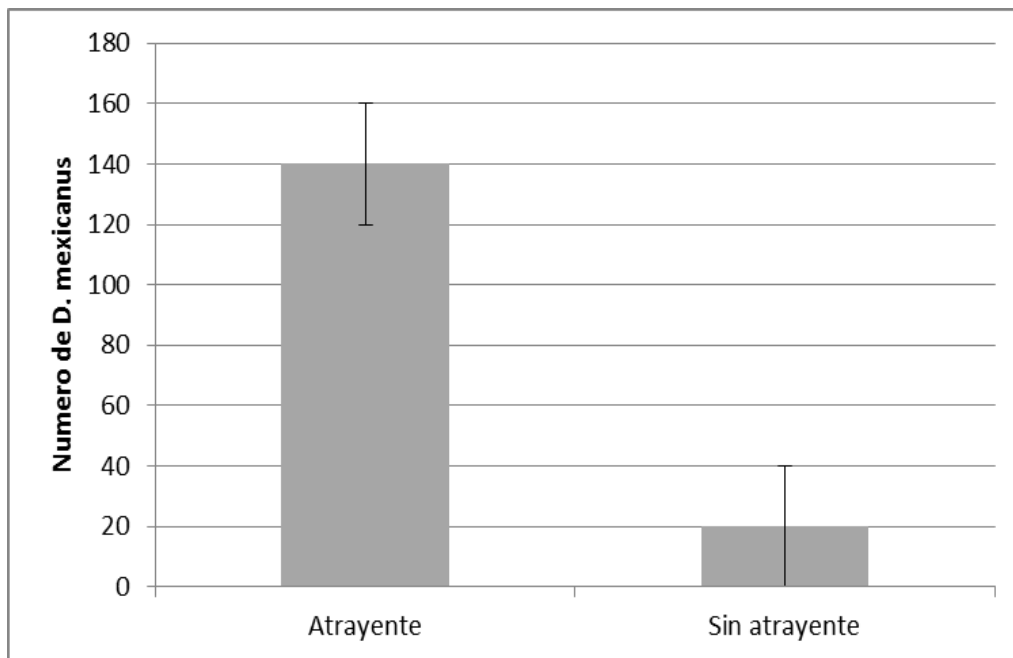


Figura 1.10. Numero de insectos capturados con atrayente y sin atrayente en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. Las barras verticales representan desviación estándar.

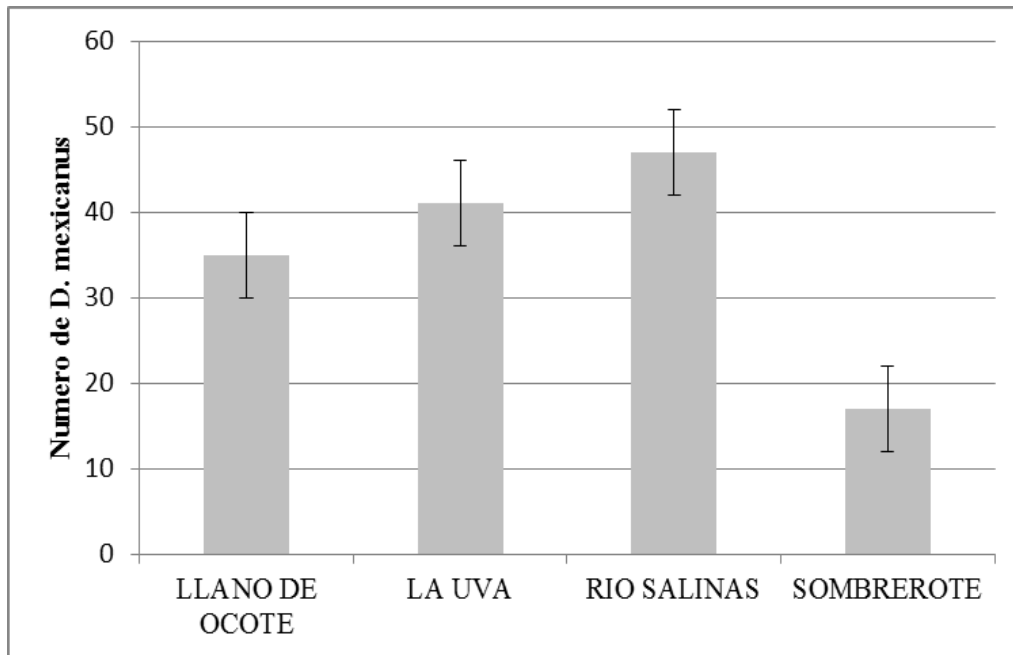


Figura 1.11. Numero de *Dendroctonus mexicanus* capturados de febrero 2013 a febrero 2014 en diferentes sitios del municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. Las barras verticales representan la desviación estándar.

Se determinó la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* para el municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca encontrándose un mayor número de *D. mexicanus* en mayo 2013, coincidiendo con los reportado por Sánchez *et al.*, (2007) posteriormente disminuyó paulatinamente para el mes de noviembre 2013 siendo éste en el cual se presentó la densidad más baja. En diciembre 2013 aumento ligeramente la población y decae en enero 2014. Para los meses de febrero, marzo y abril 2014 aumento nuevamente la población del descortezador repitiéndose el ciclo (Figura 1.12.). Cabe señalar que en noviembre de 2013 se realizó el saneamiento forestal en base a la NOM-SEMARNAT-019-2006, esto, posiblemente incidió a que en dicho mes, se redujo el número de insectos atrapados, sin embargo, al siguiente mes de diciembre-2013, aumentó (Figura 1.12.).

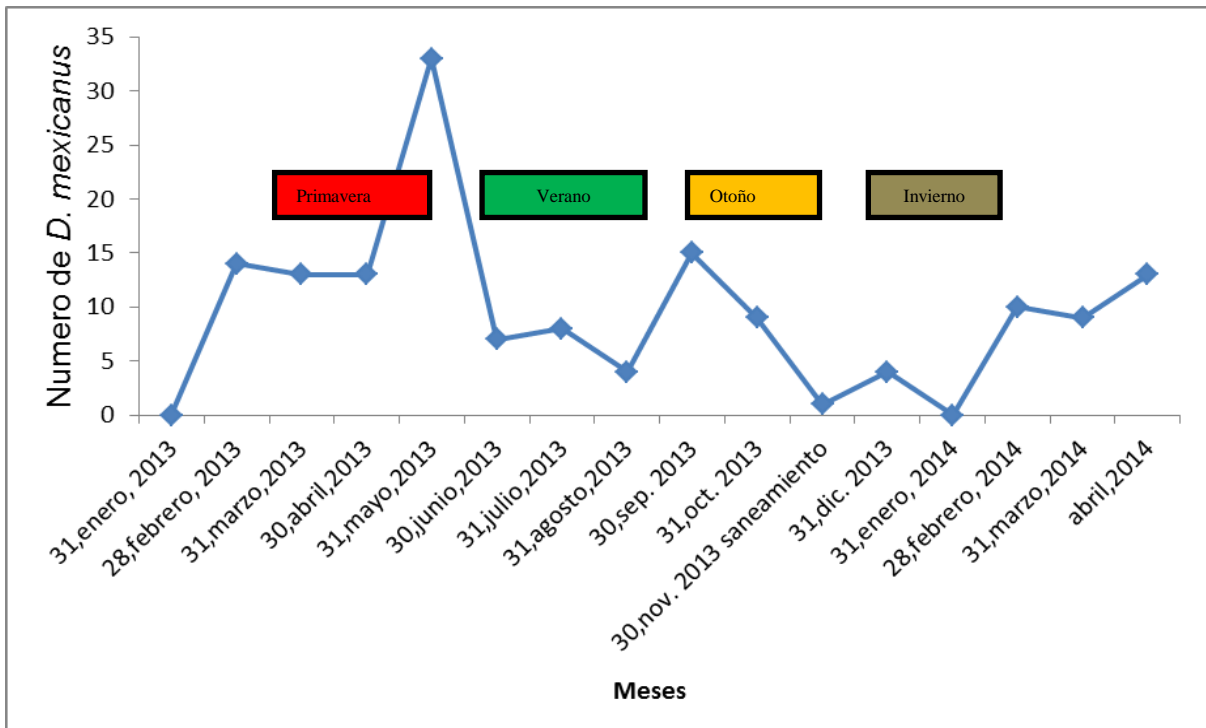


Figura 1.12. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus. mexicanus* en el periodo enero 2013-febrero 2014 en el municipio de San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

De los sitios bajo estudio, los sitios que presentaron mayor número de insectos de *D. mexicanus* fueron Llano de Ocote, Río Salinas y El Sombrerote, notándose en número de insectos distribuidos en casi todas las fechas de colecta. Es importante mencionar que los sitios donde se encontró un mayor número de insectos, se encontraban en condiciones de temperaturas más elevadas y en temperaturas más bajas. Bentz y Schen (2007) mencionan la altitud como una de las variables importantes en la variación y ciclos de vida de los descortezadores.

Se mostró una baja densidad de captura durante los meses de enero-2013, junio-2013, julio-2013, agosto-2013 y noviembre-2013, esto concuerda con lo reportado por Cuellar *et al.*, (2012), que indican que durante los periodos de lluvia, la densidad de insectos es baja o también ocurre que la misma precipitación, acelera el proceso de voltinismos a las feromonas provocando una reducción de la atracción hacia los descortezadores (Equihua y Burgos, 2002). Moser *et al.*,

(2005) y Villa (1992), encontraron para el Norte y Centro México que *D. mexicanus* puede monitorearse con frontalina + alfa pineno. Para el presente estudio, en las trampas con atrayente (frontalina + alfa pineno) la mayor colecta del descortezador fue durante la primavera, coincidiendo con lo reportado por Sánchez *et al.*, (2007), es decir, altas recolectas de *D. mexicanus* durante abril y mayo (Figura 1.13.).

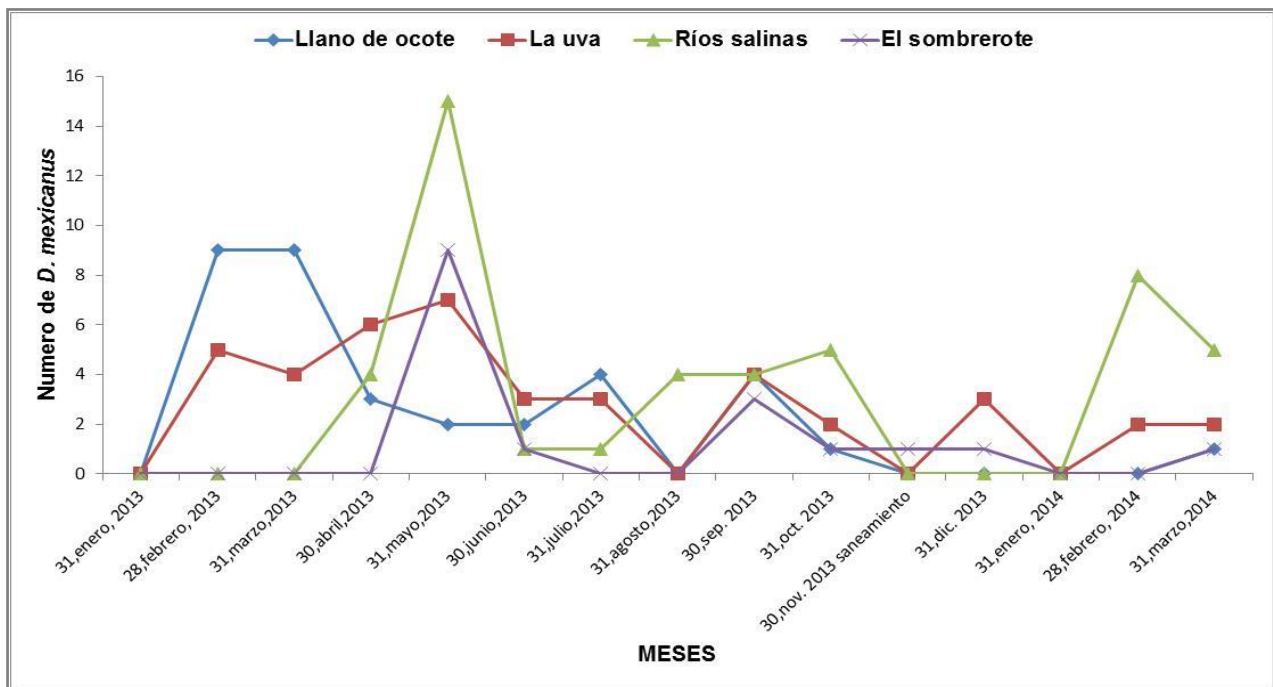


Figura 1.13. Numero de *D. mexicanus* por sitios colectados por fechas en San Juan del Estado, Etna, Oaxaca.

### 1.8.2. Comparación de poblaciones de *D. mexicanus* con factores climáticos

Se comparó la población de *D. mexicanus* con los datos climáticos Temperatura máxima, Humedad Relativa máxima y Precipitación media, asimismo, se correlacionaron con el número total de *D. mexicanus* colectado en el sitio estudiado. No se encontró una relación estadísticamente significativa entre la precipitación media con el número total de insectos: ( $r=0.04$ ,  $P=0.88$ ) humedad relativa máxima ( $r=0.18$ ,  $P=0.53$ ). No obstante, si se encontró correlación significativa con la temperatura máxima ( $r=0.56$ ,  $P=0.03$ ). Esta última relación se describe por una ecuación lineal similar al modelo de Cuellar *et al.*, (2012) para relacionar el número de especímenes de *D. mexicanus* y la temperatura máxima.

$$Y=(A+B*X)$$

Dónde:

Y= Numero de insectos

A= -26.13

B= 1.63

X= Relación temperatura máxima

De acuerdo a la hipótesis planteada en la presente investigación, la variable que mejor explico el cambio poblacional de *D. mexicanus* fue la temperatura máxima, de acuerdo a la relación lineal, el número de insectos está en función de la temperatura máxima, al aumentar la temperatura aumenta el número de *D. mexicanus*. En la (Figura 1.14.) se muestra una relación lineal directa entre el número de *D. mexicanus* y la temperatura máxima, la mayoría de los insectos se encontraron a una temperatura de 18° a 24°C.

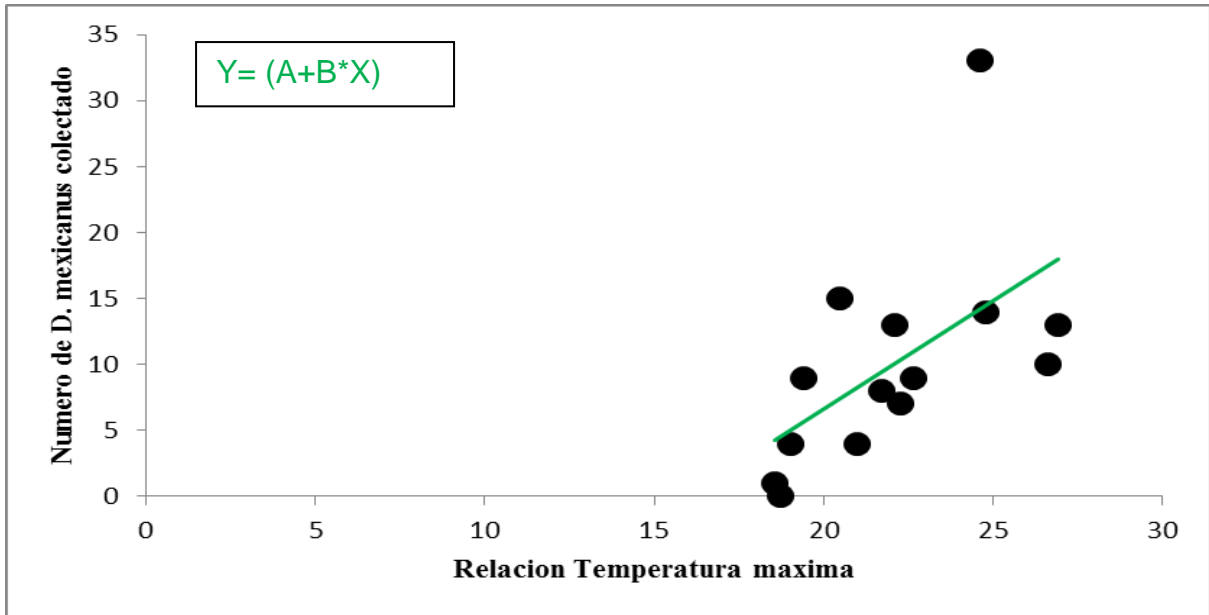


Figura 1.14. Relación directa entre el número de *D. mexicanus* y temperatura máxima.

Diversos autores han encontrado que la temperatura juega un papel importante en la dispersión, reproducción, sobrevivencia de los insectos descortezadores (Sarah *et al.*, 2001; Bentz *et al.*, 2010). En el presente estudio no se encontró una buena correlación entre el número de *D. mexicanus* y precipitación, sin embargo, si se aprecia una correlación directa con la temperatura máxima. Bentz *et al.*, (2001) encontraron que la temperatura influye de manera significativa en el periodo de emergencia en *D. ponderosae*.

La temperatura determina el momento de desarrollo de cada etapa de la vida debajo de la corteza (Hansen y Bentz 2003, Powell y Logan, 2005). Esta también juega un papel durante la emergencia de adultos de los árboles y el vuelo del escarabajo (Logan y Bentz 1999, Hansen *et al.*, 2001 y Werner *et al.*, 2006). Una vez que las temperaturas de verano aumentan aproximadamente de 16 a 18 °C, los adultos de nuevo desarrollo de la mayoría de las especies, comienzan un breve período de maduración y luego se alimentan a través de la corteza y vuelan a un nuevo árbol, sincronizando su aparición para atacar a sus nuevos huéspedes



en el bosque (Bentz, 2009). En el presente estudio se encontró una interacción entre el número de insectos con la temperatura máxima reportándose para el mes de mayo-2013, en cual es donde hay una elevada temperatura, estos resultados reafirman que los insectos descortezadores son dependientes del factor temperatura en todo el ciclo del escarabajo.

El aumento constante de las temperaturas combinado con árboles estresados por factores como la sequía o la misma edad del arbolado, sin duda aceleran el ciclo de vida de los insectos descortezadores con posibilidades de extender sus rangos a mayores altitudes y latitudes (Bentz *et al.*, 2010). En los últimos 20 años en el estado de Oaxaca, el aumento de brotes de insectos descortezadores se ha intensificado (CONAFOR, 2007). Los insectos descortezadores tienen la capacidad de acumular compuestos crioprotectores, como el glicerol, que le permite sobrevivir a bajas temperaturas durante el otoño (Régnière y Bentz 2007).

## **1.9. Conclusiones**

Las trampas Lindgren con (frontalina + alfa pineno) fueron efectivas para la captura de *D. mexicanus*, las mayores capturas se obtuvieron en el mes de mayo-2013, cuando las temperaturas fueron altas. De los cuatro sitios de estudio el que presento una mayor captura de *D. mexicanus* fue el sitio Rio Salinas para el mes de mayo-2013. No se encontró una correlación entre el número de *D. mexicanus* con la precipitación sin embargo, con temperatura máxima, si hubo una correlación significativa. Los resultados obtenidos de la presente investigación son sin duda muy importantes para el municipio de San Juan del Estado en la toma de decisiones en acciones de saneamientos, teniendo las herramientas necesarias para poder contrarrestar esta fuerte problemática de *D. mexicanus* no solo para el municipio, si no para otras regiones en el estado.

## 1.10. Literatura citada

- Billings, R. F.; Berisford, C. W.; Salom, S. M.; and T. L. Payne. 1995. Applications of semiochemical in the management of southern pine beetle infestation: current status of research. In: Salomon, S. M.; and K. R. Hobson. Eds. Application of semiochemical for management of bark beetle infestations. Proceedings of an informal conference. 1993. December 12-16; Indianapolis, In. Gen. Tech. Rep. Department of Agricultura, Forest Service. Intermountain research Station. 30-38.
- Bentz BJ, Logan JA, Vandygriff JC. 2001. Variations de la duree du developpement et de la taille des adultes en fonction de la latitude chez *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *The Canadian Entomologist* 133: 375-387.
- Burgos, S. A. y Equihua M. A. 2007. Platypodidae y Scolytidae (Coleoptera) de Jalisco, Mexico. *Dugesiana* 14: 59-82.
- Bentz B.J., Schen-Langenheim G. 2007. The mountain pine beetle and whitebark pine waltz: Has the music changed? Proceedings of the Conference Whitebark Pine: A Pacific Coast Perspective. (17 June 2010; [www.fs.fed.us/r6/nr/fid/wbpine/papers/2007-wbp-impacts-bentz.pdf](http://www.fs.fed.us/r6/nr/fid/wbpine/papers/2007-wbp-impacts-bentz.pdf)).
- Bentz B. 2009. Bark Beetle Outbreaks in Western North America: Causes and Consequences. Bark Beetle Symposium.
- Barbara J. Bentz, Jacques Régnière, Christopher J. Fettig, E. Matthew Hansen, Jane L. Hayes, Jeffrey A. Hicke, Rick G. Kelsey, Jose F. Negrón and Steven J. Seybold. 2010. Climate Change and Bark Beetles of the Western United States and Canada: Direct and Indirect Effects. *BioScience*, 60:602-613.
- Coulson, R. N. y J. A. Witter. 1990. *Entomología Forestal: ecología y control*. Ed. Limusa. México. 622 p.
- Cibrián, T. D., J. T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yates III y J. Flores L. 1995. *Insectos forestales de México/Forest insects of Mexico*. UACH. SFFS-SARH. Forest Service-USA. Natural Resources, Canada y Comisión

- Forestal de América del Norte-FAO. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. 453 p.
- Castillo, M., P. Pedernera y E. Peña. 2003 Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. XIX (3 y 4).
- CONAFOR 2003. Programa Nacional de Sanidad Forestal.
- CONAFOR 2004. México implementa una técnica avanzada para monitorear al insecto descortezador.
- CONAFOR. 2012. Logros y perspectivas del desarrollo forestal en México. 250 p.
- Castellanos-Bolaños J. F., O. Maldonado-Arango, F. Piñeiro-Márquez, J. Hernández-Hernández, M. Gómez-Cárdenas. 2009. Condición de los bosques afectados por insectos descortezadores en el estado de Oaxaca, México. Memoria de resúmenes. XV Simposium Nacional de Parasitología Forestal. Oaxaca, México. 28-31.
- Cuellar, R. G., Equihua M., A. Estrada, E., Mendez M. T., Villa C. J. & Romero. N J. 2012. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (coleoptera: curculionidae: scolytinae) atraídos a trampas en el noreste de México y su correlación con variables climáticas. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 13.
- De León, Y. L. E. 1983. Las feromonas en los insectos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L. 28 p.
- Delgado, S.C. 2000. Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos. En Roig, (ed). Dendrocronología en América Latina. Mendoza (Argentina), EDIUNC.79-102.
- Díaz, N. V., G. Sánchez. M. y N. Gillette. 2006. Respuesta de *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) a dos isómeros ópticos de berverona. Centro de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Agrociencia 40: 349-354.
- Diario Oficial de la Federación. México. 23 de julio de 2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Norma Oficial Mexicana

- NOM-019-SEMARNAT-2006, Que establece los lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores.
- Equihua, M., A. y A. Burgos S. 2002. Scolytidae, En J. Llorente B. y J. J. Morrone (eds.), Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen III. CONABIO, México, D.F. 539-558 p.
- Flores, L. J. 1977. Estudio de la fluctuación de poblaciones del complejo de escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytidae) en la sierra madre oriental, Nuevo León en 1976-1977. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, N. L. 109 p.
- Fetting, C. J., T. De Gomez, K. E. Gibson, C.P. Dabney, and R. R. Borys. 2006. Effectiveness of permethrin plus C and carbaryl for protecting individual, high-value pines from bark beetle attack. *Arboriculture and Urban Forestry*. 32: 247-252.
- Fetting, C. J., K. D. Klepzing, R. F. Billings, A. S. Munson, T. E. Nebeker, J. F. Negrón, y J.T. Nowak. 2007. The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. *Forest ecology and management*. 238: 24-53.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM. 35-58 p.
- Hansen EM, Bentz BJ, Turner DL. 2001. Temperature-based model for predicting univoltine brood proportions in spruce beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Canadian Entomologist* 133: 827–841.
- Hansen EM, Bentz BJ. 2003. Comparison of reproductive capacity among univoltine, semivoltine, and re-emerged parent spruce beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Canadian Entomologist* 135: 697–712.
- INEGI, 2012. Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía. Carta de Uso de Suelo y Vegetación.

- Jones, D. A. and Lewis, W. J. 1981. semiochemicals: their role in pest control. Nordlund, (Eds.) John Wiley and Sons, Nueva York, NY. 306 p.
- Lindgren, B. S. 1983. A Multiple funnel trap for scolytid beetles (Coleoptera). Canadian Entomologist. 115: 299-302 p.
- Logan JA, Bentz BJ. 1999. Model analysis of mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) seasonality. Environmental Entomology 28: 924–934.
- Landaverde, T. R. A. 2001. Los escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus* Erickson: Plaga de las pináceas en Centro América. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. Dirección Técnica de Sanidad Vegetal. San Salvador, El Salvador. 31 p.
- Moreno, N. H. 1954. Biología y control del *Dendroctonus mexicanus* Hopk. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Mex. 73 p.
- Matthews, E., R. Payne, M. Rohweder y S. Murray. Pilot Analysis of Global Ecosystems. Forest Ecosystems. WRI. Washington, D. C. 2000. Disponible en: <http://www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-forest-ecosystems>.
- Moser, J. C., B. A. Fitzgibbon and K. D. Klepzing. 2005. The Mexican pine beetle *Dendroctonus mexicanus*: First record in the United States and cooccurrence with the southern pine beetle *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae or Curculionidae: Scolytinae). Entomological News 116: 235-243.
- Marín, R. A. y M. Ruiz E. 2006. Control químico de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins en el predio Las Cruces, Chapingo, México. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 34 p.
- Perry, J. P. 1951. Especies de Escarabajos de la Corteza del Pino en México Central. Unasylla - Vol. 5, No. 4. Depósito de documentos de la FAO. <http://www.fao.org/docrep/x5361s/x5361s04.htm>. Consultado el 23 de Octubre de 2008.

- Piña, L. I. y Muñiz, V. R. 1981. Los escolítidos como plagas forestales. Monografía III. Laboratorios nacionales de fomento industrial, México, D.F.
- Pineda, T. Ma. C. y Campos, B. R. 1987. Muestreo de enemigos naturales de *Dendroctonus frontalis* Zimm (Coleoptera: Scolytidae) utilizando trampas de feromonas en rodales de *Pinus oocarpa* en Uruapan, Michoacán, México. IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal y IV Reunión sobre plagas y enfermedades forestales. Durango, Durango, México.
- PNUMA GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente 2003. Oficina regional para América Latina y el Caribe. México.
- Powell JA, Logan JA. 2005. Insect seasonality: Circle map analysis of temperature-driven life cycles. *Theoretical Population Biology* 67: 161–179.
- Rose, CH. W. E. 1966. The biology and ecology of *Dendroctonus valens* Lec.; and the biology, ecology and control of *Dendroctonus frontalis* (= *mexicanus*) Zimm. in central Mexico (Coleoptera: Scolytidae). Doctoral Thesis. University of Massachusetts. 243 p.
- Rodriguez, L. R. 1990. Plagas forestales y su control en México. Dirección de difusión cultural. Colección de cuadernos universitarios: serie agronomía. No. 17. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 217 p.
- Reeve, J. D., M. P. Ayres, and P. L. Lorio, Jr. 1995. Host suitability, predation, and bark beetle population dynamics. 339-357 in N. Cappuccino and P. W. Price, editors. *Population dynamics: New approaches and synthesis*. Academic Press, San Diego, CA.
- Romeu E. 1995. Los pinos de México, record mundial de diversidad. En línea: <http://maph49.galeon.com/biodiv2/pino.html>.
- Romanyk, N., y D. Cadahia. 2002. Plagas de insectos en las masas forestales. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 336 p.
- Régnière, J. & Bentz B. 2007. Modeling cold tolerance in the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae*. *Journal of Insect Physiology* 53: 559–572 p.
- Saldaña, T. J. 1989. Evaluación de tres insecticidas en la prevención de ataques de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera; Scolytidae) en *Pinus*

- leiophylla* Schiede & Deppe. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Méx. 90 p.
- Styles, B. T. 1993. Genus *Pinus*: a Mexican purview. En: P. T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa (eds.), *Biological diversity of Mexico: origin and distribution*. Oxford University Press, New York. Pp. 397-420.
- Sarah L. Shafer, Patrick J. Bartlein and Robert S. 2001. Potential Changes in the Distributions of Western North America Tree and Shrub Taxa under Future Climate Thompson Source: *Ecosystems*, Vol. 4, No. 3. pp. 200-215.
- Strom, B. L., R. A. Goyer and P. J. Shea. 2001. Visual and olfactory disruption by the western pine beetle to attractant baited traps. *Entomol. Experimentalis et Applicata* 100: 63-67.
- SEMARNAT. 2002. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. México.
- Sánchez S., J. A.; L. M. Torres E. y G. Sánchez M. 2005. Evaluación de feromonas para la atracción de *D. mexicanus* Hopkins en la sierra de Galeana, N.L. México. XIII Simposio Nacional de Parasitología Forestal. Morelia, Mich. México. 23 p.
- Sanchez Martinez, G. L., M. Torres, I. Vazquez-Collazo, E. Gonzalez-Gaona y R. Narvaez-Flores. 2007. Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Aguascalientes, Mex., INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Pabellon. 107 p. (Libro Tecnico No. 4, Campo Experimental Pabellon).
- SEMARNAT-CONAFOR. 2007. Programa Estratégico Forestal del Estado de Oaxaca 2007-2030. 250 p.
- SEMARNAT, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo. Enero 2008 y Julio y octubre 2010 y abril 2011.
- Salinas-Moreno, Y., Vargas M. C. F., Zúñiga, G., Víctor, J., Ager, A. y Hayes, J. L. 2010. Atlas de Distribución Geográfica de los Descortezadores del Género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional, Comisión Nacional Forestal. México, 90 p.

- Thatcher, T. O. 1961. Forest Entomology. Burgess Publishing Co., Colorado State University. USA.
- Villa C. J. 1992. Atrayentes químicos en escabajos descortezadores *Dendroctonus mexicanus* y *D. adjunctus* (Col: Scolytidae). Ciencia Forestal 17 (71): 103-122.
- Wood, S.L. 1982. The bark and Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), A Taxonomic Monograph. Great Basin Nat. Memoirs, Number 6, Idaho: Brigham Young University. 1359 p.
- Werner RA, Holsten EH, Matsuoka SM, Burnside RE. 2006. Spruce beetles and forest ecosystems in south-central Alaska: A review of 30 years of research. Forest Ecology and Management 227: 195–206.



## CAPITULO II. RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y CRECIMIENTO EN ÁREA BASAL EN LOS ÚLTIMOS DOS SIGLOS EN SAN JUAN DEL ESTADO, ETLA, OAXACA

### 2.1. Resumen

Las series dendrocronológicas permiten conocer la variabilidad climática local, y son una alternativa cuando se dispone de poca información climatológica que limita el análisis histórico de su variabilidad. El objetivo del presente estudio fue desarrollar cronologías de anillos de crecimiento en *Pinus teocote* y *Pinus oaxacana*, para un periodo de 200 años (1820-2013), en el municipio de San Juan de Estado, ETLA, Oaxaca. Se obtuvo una correlación significativa entre el Índice de Ancho de Anillo (IAA) y el Incremento en Área Basal (IAB) para las dos especies. El IAB que se observó para las dos especies fue decreciente al paso de los años en ciertos periodos. Se reconstruyó la precipitación durante los últimos 194 años. En la reconstrucción se detectaron sequías en los periodos 1820, 1830, 1840, 1850-1875, 1880-1900, 1910, 1925-1935, 1950, 1958-1990 y 2003-2012, durante la reconstrucción de la precipitación se detectaron periodos húmedos para los años de 1845, 1877-1880, 1953 y 1940. Los años con temperaturas máximas del mes de mayo de 28 °C y con precipitación de enero a abril menor a 20 mm, son los que presentaron mayor superficie afectada.

Palabras clave: Cronologías de anillos de crecimiento, *Pinus teocote*, *Pinus oaxacana*, Sequias.

## **2.2. Abstract**

Dendrochronological series provide insight into climate variability, being an alternative when scarce climatological information is available. The aim of this study was to develop tree ring chronologies for *Pinus teocote* and *Pinus oaxacana*, for the last 200 years (1820-2013), in the town of San Juan Estado Etlá, Oaxaca. Significant correlation between ring width index (RWI) and basal area increment (BAI) for the two species was found. The IAB observed for both species showed periods of high and low tree growth. Tree ring chronologies allowed the reconstruction of the local precipitation for the last 194 years. The drought periods detected were for the years: 1820, 1830, 1840, 1850-1875, 1880-1900, 1910, 1925-1935, 1950, 1958-1990 and 2003-2012; and the wet periods were for the years 1845, 1877-1880, 1953 and 1940. Years with maximum temperature in May of 28 °C and with precipitation from January to April lower than 20mm showed larger areas affected by bark beetles.

*Key words:* Tree ring chronologies, *Pinus teocote*, *Pinus oaxacana*, Droughts.

### 2.3. Introducción

La reconstrucción de la precipitación local es importante porque permite conocer su variación en el tiempo y proponer estrategias para el manejo de recursos hídricos y forestales (Cerano *et al.*, 2009). No siempre es posible estudiar la variación de la precipitación a partir de datos directos. En México, los registros climáticos procedentes de estaciones meteorológicas cubren en el mejor de los casos 80 años; sin embargo, existen fuentes naturales indirectas que registran variación en el tiempo como por ejemplo los anillos de los árboles. Las aplicaciones de la dendrocronología se encuentran la reconstrucción de eventos y parámetros climáticos tales como: precipitación, temperatura, sequías y periodos lluviosos del pasado (Villanueva, 2008). Los estudios dendrocronológicos en conjunto con el clima están ganando importancia debido a su potencial para estudiar fenómenos como el cambio climático global, brotes de plagas, impacto de patrones de circulación atmosférica y su efecto en el ciclo hidrológico, y en la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos, de alto impacto en actividades productivas y para consumo humano en el norte de México (Villanueva *et al.*, 2007 y Cerano *et al.*, 2009). La mayoría de los estudios dendrocronológicos es especies del genero *Pinus* y *Pseudotsuga* se han realizado en el norte del país (Santillan *et al.*, 2010) y se requieren mayores estudios para en centro y sur de México (Correa-Díaz *et al.*, 2014).

A pesar de que se cuenta con un potencial biológico de especies sensibles al clima, existen pocos estudios dendrocronológicos, entre los más recientes se encuentran los realizados para la región del norte - centro del país (Stahle *et al.*, 2000). Para el sur se tiene poca información dendrocronológica y menos estudios relacionados con variables climáticas (Villanueva *et al.*, 2000; González *et al.*, 2005 y Ortega, 2012). Los bosques de *Pinus teocote* y *Pinus oaxacana* constituyen ecosistemas naturales importantes en la región de Valles Centrales de Oaxaca y, debido a la poca información dendrocronológica para el sur de México, y en especial en el estado de Oaxaca, la presente investigación tiene como

objetivos: 1) Desarrollar series dendrocronológicos en anillos de crecimiento de *Pinus teocote* y *Pinus oaxacana*, 2) Analizar la tendencia en el Incremento en Área Basal y 3) Reconstrucción de la precipitación para los últimos 200 años para el municipio de San Juan del Estado, ETLA, Oaxaca, 4) Relacionar las superficies afectadas por descortezadores entre 2004 y 2013 con relación a la precipitación anual.

## **2.4. Materiales y métodos**

### **2.4.1. Descripción del área de estudio**

El estudio se realizó en un bosque de pino, *Pinus teocote* Schiede y *Pinus oaxacana* Mirov. en el Municipio de San Juan del Estado, ETLA, Oaxaca. La precipitación media anual es de 585 a 745 mm, con mayor incidencia en septiembre. El 80 % de estas lluvias ocurren a finales del mes de mayo a octubre con una disminución entre julio y agosto y en el mes de abril hay precipitaciones alrededor de los 50 mm (INEGI, 2012). Presenta una temperatura media anual de 18.9 y 22 °C y la del mes más frío de -3°C la temperatura empieza a descender a partir de octubre hasta mediados de marzo, siendo los meses más fríos diciembre y enero (Köppen modificado por García 1973) descritos en el capítulo I (Figura 1.5.).

### **2.4.2. Muestreo de los núcleos de crecimiento**

Para desarrollar las cronologías se partió de un muestreo selectivo de árboles. Se escogieron sitios con las dos especies representativas del lugar, *P. oaxacana* y *P. teocote*.

Para la obtención de los núcleos de crecimiento se utilizó un taladro “Pressler” marca Haglöf modelo BS009, con diámetro interno de 12mm. La altura de extracción fue a la altura de pecho (1.30 m sobre el nivel del suelo). De cada árbol seleccionado se extrajeron dos muestras (Figura 2.1.).



Figura 2.1. Extracción de núcleos de crecimiento en *P. oaxacana* y *P. teocote*.

#### **2.4.3. Secado, montado y lijado de los núcleos de crecimiento**

Después de obtener los núcleos de madera, se procedió a prepararlas para su análisis en laboratorio: Las muestras se dejaron al aire libre bajo sombra para obtener un secado rápido y uniforme, de esta forma se evitó la pudrición de la muestra por exceso de humedad. Posteriormente, los núcleos se montaron en molduras de madera con pegamento, las cuales a su vez se fijaron con cinta adhesiva (Figura 2.2. **A**). Los núcleos se colocaron de tal forma que los anillos estuvieran de forma vertical para mayor visibilidad al microscopio (Stokes y Smiley, 1968). El lijado y pulido de los núcleos de crecimiento, consistió en utilizar lijas de diferentes grados de granos, que variaron desde el número grueso hasta el más fino (Figura 2.2. **B**).

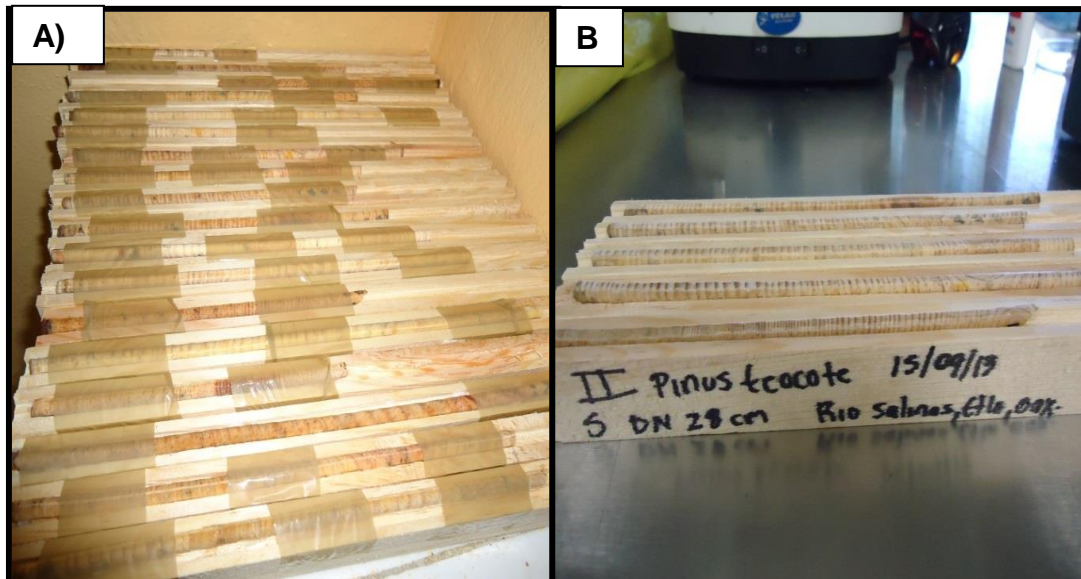


Figura 2.2. **A)** Secado y montado y **B)** lijado de los núcleos de crecimiento.

El análisis de los núcleos de crecimiento se realizó en el Laboratorio de Dendrocronología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta (CENID-RASPA) localizado en Gómez Palacio, Durango, México donde se procedió a fechar las muestras de acuerdo a las técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968).

#### **2.4.4. Conteo y fechado de anillos**

Para este proceso se utilizó un microscopio con aumento de 10 a 20X, donde se contaron los anillos de crecimiento de todas las muestras obtenidas en campo. El fechado de las muestras se realizó tomando como referencia el año de muestreo (el anillo inicial después de la corteza), fechando al año exacto de su formación. Al contar cada diez anillos se coloca un punto indicando una década, cada cincuenta anillos se colocan dos puntos y cada cien años tres puntos (siglo), este proceso se realizó en todas las muestras, iniciando desde la médula hasta la corteza. Los anillos falsos son muy comunes al trabajar con crecimiento anuales especies de *Pinus*, para señalarlos, se colocó una línea en forma diagonal cruzando el falso anillo, también se presentaron otras dificultades a la hora de fechar los anillos perdidos, para lo cual, para indicar la presencia de uno de ellos, se colocaron dos

puntos alineados en ángulo, los cuales indican que ese año está ausente en la muestra (Stokes y Smiley, 1968) (Figura 2.3.)

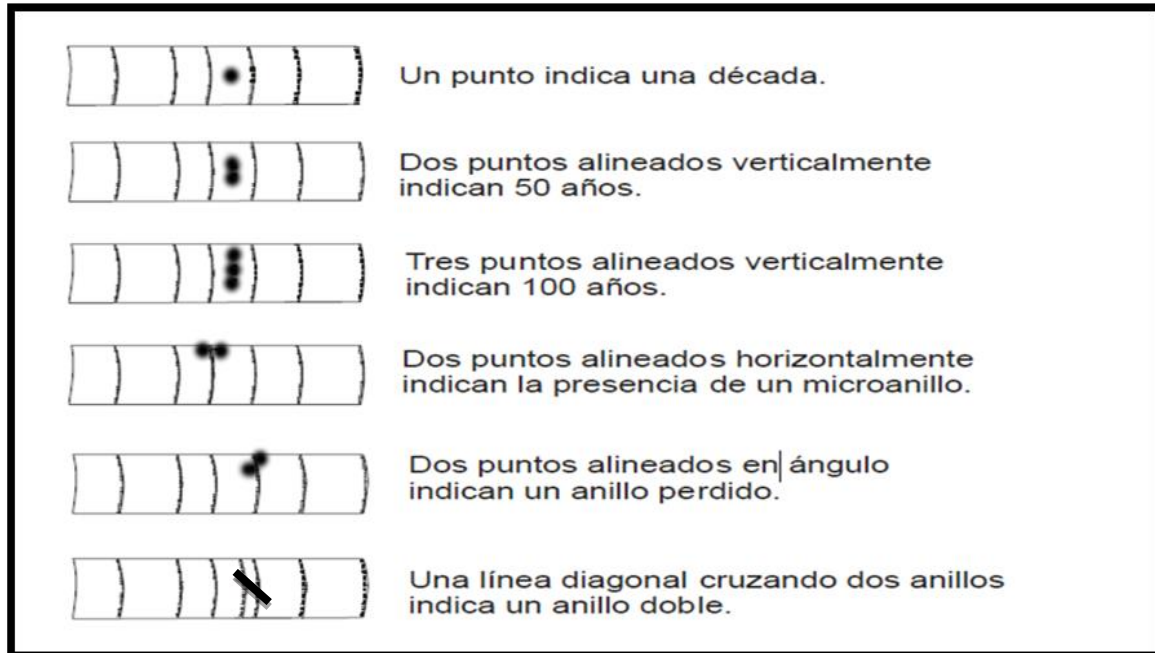


Figura 2.3. Sistema de conteo, representación de micro anillos y anillos ausentes (Stokes y Smiley, 1996).

#### 2.4.5. Medición de los anillos de crecimiento

Una vez fechados los núcleos de crecimiento, se procedió a medir individualmente los anillos de crecimiento anual total con un sistema de medición VELMEX, equipo compuesto por una platina deslizante y un codificador lineal, que tiene una precisión de 0.001 mm. Este sistema se integra a una computadora (Robinson y Evans, 1980) y a un estereoscopio con retícula graduada en el ocular para ubicar los límites de cada anillo de crecimiento (Figura 2.4.).



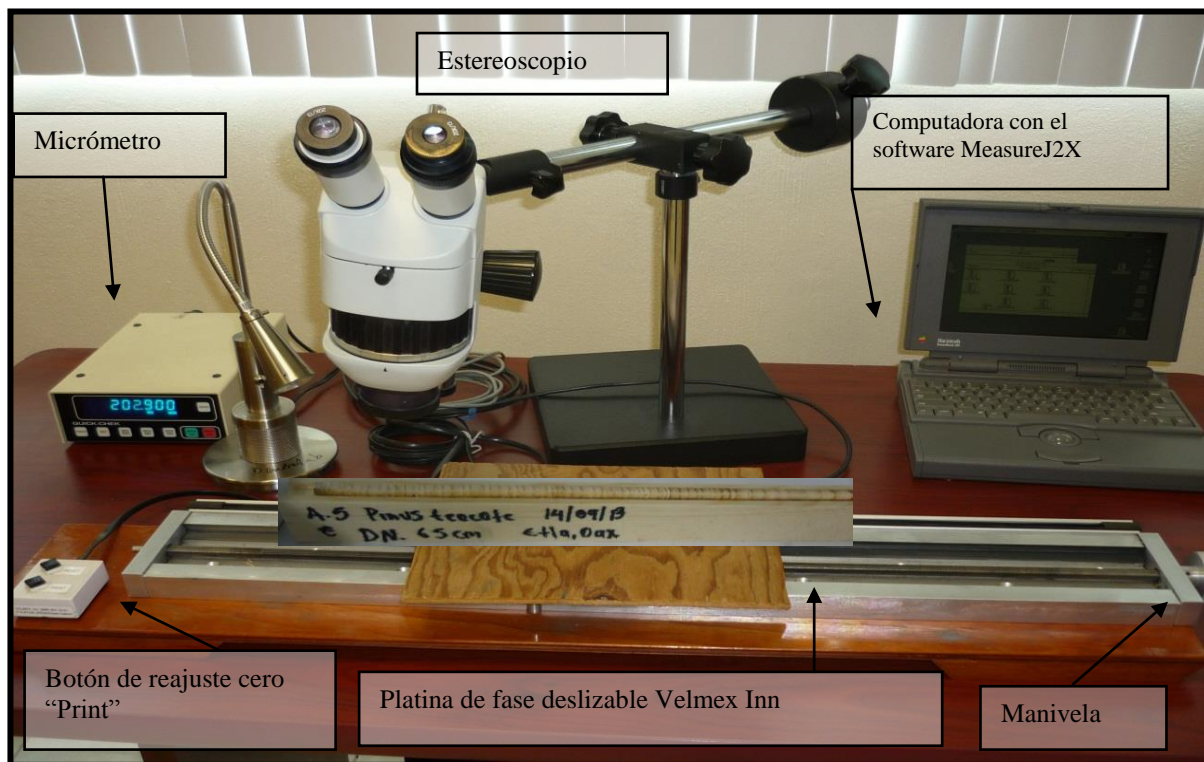


Figura 2.4. Sistema de medición de anillos de árboles integrado por un sistema de medición Velmex.

#### 2.4.6. Verificación del fechado

Después de generada la base de datos de ancho de anillo, se verificó la calidad del fechado, la respuesta climática y la exactitud de la medición de cada anillo con el programa COFECHA (Holmes, 1983). El programa COFECHA a través de los archivos de medición de cada serie de crecimiento, compara estadísticamente el fechado de cada muestra, al correlacionar segmentos de 50 años con traslapes de 25 (Holmes 1983). Paquete que se encuentra disponible en la Librería de Programas Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL).



#### 2.4.7. Generación de cronologías

La generación de índices dendrocronológicos se realizó a través del programa ARSTAN (Cook y Holmes, 1984). El programa realiza la estandarización de las series individuales de cada núcleo de crecimiento, las tendencias biológicas y las geométricas (el área del fuste se incrementa con la edad y el crecimiento anual tiende a disminuir al distribirse en una mayor superficie) no relacionadas con clima, se removieran con el programa ARSTAN. El procedimiento consiste ajustar una curva exponencial negativa o línea recta a los valores de ancho de anillo y luego al dividir cada valor de medición entre el valor estimado por la curva, esto genera una nueva variable de índices normalizados (cronologías) con media 1 y varianza homogénea (Cook, 1987). La nueva variable de índices normalizados, es más apropiada estadísticamente para realizar la variación del crecimiento radial a través del tiempo.

#### 2.4.8. Incremento en Área Basal (IAB)

Se calculó el Incremento en Área Basal en *P. teocote* y *P. oaxacana*, considerando sólo aquellos árboles que resultaron significativos para la construcción del Índice de Ancho de Anillo ( $p=0.01$ ), muestras que se tomaron de árboles con sección transversal de fuste circular y a una altura de 1.30 m (DAP). El IAB se calculó con la ecuación descrita abajo. Posteriormente, el IAB se correlacionó con el IAA.

$$IAB = \pi (R^2 - R_{n-1}^2)$$

Dónde:

$IAB$ = Incremento en Área Basal en ( $\text{cm}^2/\text{año}^{-1}$ )

$\pi = 3.1416$

$R$ = Radio del árbol (cm)

$n$ =año de formación del anillo

#### 2.4.9. Análisis de la información climática

Para relacionar los índices de crecimiento con la precipitación, se buscaron estaciones cercanas al área de estudio. La estación empleada fue Huitzo del municipio de ETLA, Oaxaca. Se extrajo información de la base de datos de (IMTA 2009) ERIC III versión 2.0.

### 2.5. Resultados y Discusión

#### 2.5.1. Cronologías y cofechado

De un total de 29 árboles muestreados con dos virutas de crecimiento cada uno, fue posible fechar 23 árboles, equivalente a un 70 % de la muestra total. En el 30% restante, no fue posible realizarlo debido a algunos problemas de pudrición y muestras rotas. Para asegurar que el fechado fuera estadísticamente viable entre muestras, se verificó que mediante el análisis con COFECHA el valor de inter-correlación fuera mayor a 0.32 ( $p < 0.01$ ) como lo sugiere Holmes (1983).

Se generó una serie de índices dendrocronológicos de 194 años (1820-2013), mostrando una correlación entre series de 0.55, dicho valor supera el límite de confiabilidad (0.32); lo que indica que *P. teocote* y *P. oaxacana* son especies que captan una señal determinada con relación a los factores ambientales (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Estadísticos generados por el programa COFECHA para la especie *P. teocote* y *P. oaxacana*.

Numero de virutas	46
Serie maestra	1820-2013
Correlación entre series	0.55
Sensibilidad promedio	0.30

El resumen de los estadísticos obtenidos de la cronología estándar y residual del programa ARSTAN se presenta en la Tabla 2.2. El programa generó tres cronologías que corresponden a la estándar, residual y Arstan, por ser las más comunes en la reconstrucción de variables climáticas.

Tabla 2.2. Estadísticos generados por el programa COFECHA.

	Estándar	Residual	Arstan
Sensibilidad media	0.309	0.2284	0.2106
Desviación estándar	0.79	0.2123	0.2300
Autocorrelación de primer orden	0.5823	0.0526	0.2966
Periodo	1820-2013	1820-2013	1820-2013
Número total de años	194	194	194

La cronología para *P. teocote* desarrollada para el municipio de San Juan de Estado, tuvo un lapso de tiempo de 194 años (1820-2013) donde, se observaron periodos por debajo de la media; el primer periodo en 1820-1830, 1855-1875, 1883-1903, 1910, 1925-1935, 1950, 1960, 1965-1988 y 1998-2012. Los años a destacar que presentan valores muy bajos en el IAA son 1930, 1910, 1970 1830 (Figura 2.5). Se distinguen en la misma figura valores por arriba de la media, abarcando el periodo 1937-1948. Entre los años con valores altos de IAA se encuentran 1840, 1880, 1920 y 1947, 1954, 1965 y 1993.

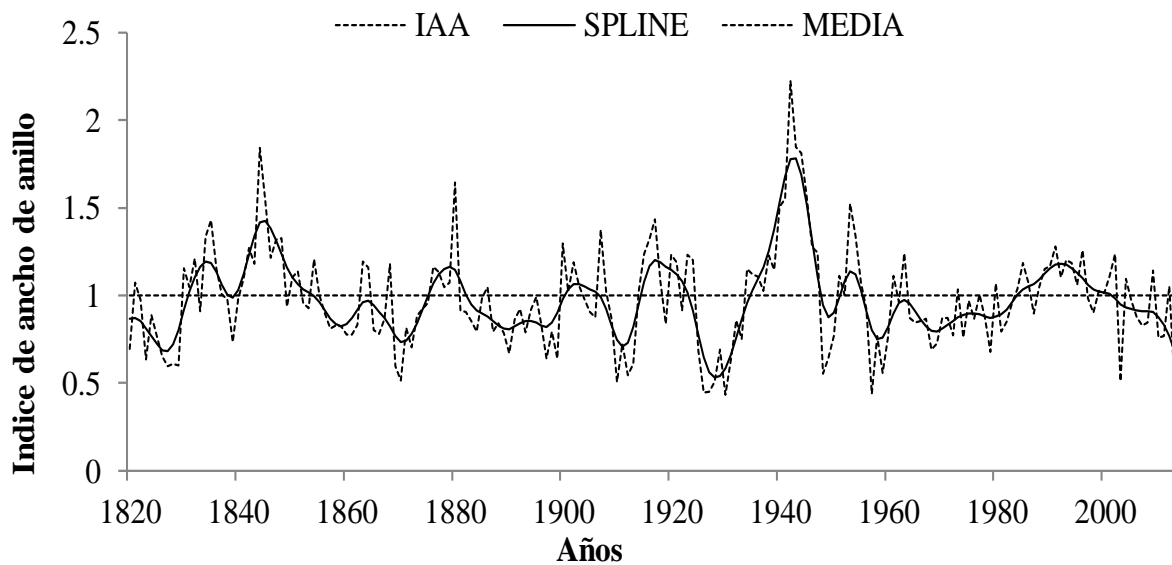


Figura 2.5. Cronología de *P. teocote* en San Juan de Estado, ETLA, Oaxaca.

La cronología de *P. oaxacana* tuvo un periodo de tiempo mas corto. Los árboles muestreados de *P. oaxacana* fueron mas jovenes, abarcando el periodo de 1950-2013 (63 años). Se observan periodos por debajo de la media; el primer periodo detectado para los años 1956-1974, 1980-1988, 1993, 2003, y 2007-2013. Tambien se observaron valores altos de IAA por arriba de la media destacando periodos de 1950-1955, 1975 y 1990-2002 (Figura 2.6.).

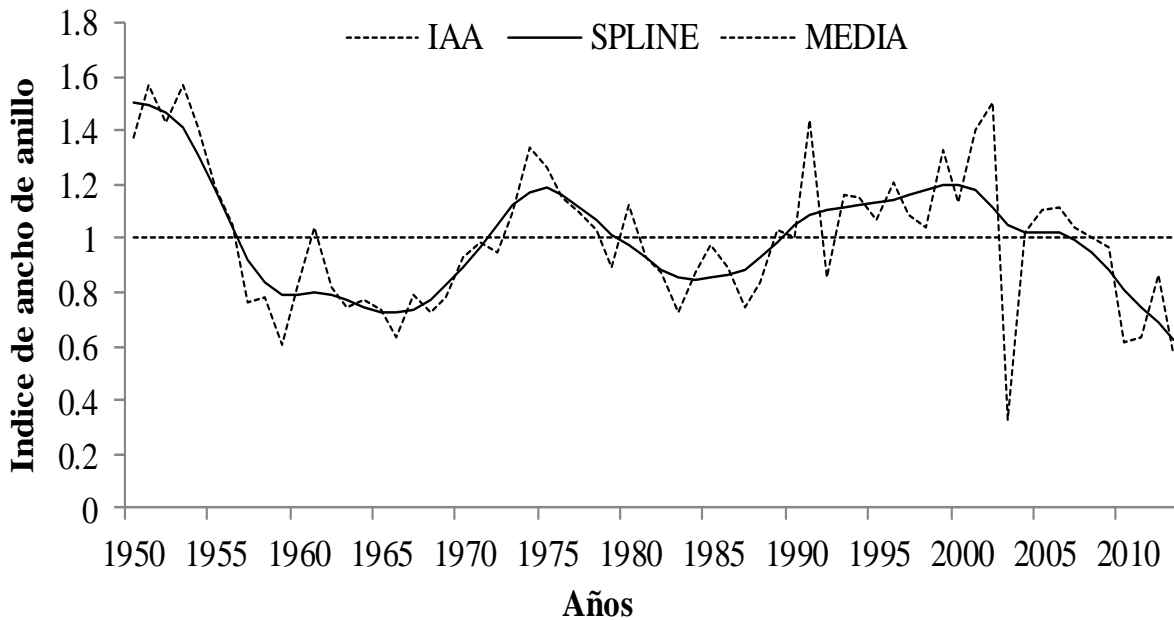


Figura 2.6. Cronología de *P. oaxacana* en San Juan del Estado, ETLA, Oaxaca.

El crecimiento de los arboles está en función de las variables climáticas, características genotípicas, destacando factores de disturbio por agentes bióticos y abióticos que constituyen una fuente de variación que es reflejada en sus anillos de crecimiento (Speer, 2010). Para el norte del país se han realizado estudios dendrocronológicos con diferentes especies de coníferas, para reconstrucciones paleoclimáticas entre ellas la precipitación (Cerano *et al.*, 2009 y Cerano *et al.*, 2010). Para el presente estudio se encontró que *P. teocote* y *P. oaxacana* presentaron una buena correlación con los factores de clima arriba de 0.30 sugerido por Holmes, (1983), para el sur del país en especial el estado de Oaxaca se tienen pocos estudios dendrocronológicos, destacando estudios realizados por Ortega, (2012) en *Pinus rudis* Endl. para el municipio de San Miguel Cajonos, Oaxaca y lo reportado por (Villanueva *et al.*, 2012) entrevista personal por Ortega, (2012) en especies de *Pseudotsuga menziesii* y *Taxodium mucronatum*.

### 2.5.2. Incremento en Área Basal (IAB)

Con la finalidad de analizar el incremento en área basal de *P. teocote* y *P. oaxacana* se utilizaron las mediciones de 13 virutas para el periodo 1820 a 2013, y analizar el (IAB) en *P. oaxacana* se emplearon 6 virutas. Para la primera especie se observó un incremento promedio de  $5.25 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ , con una desviación estándar de  $3.71 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ . La relación presentada entre el IAA y IAB por décadas varió de  $r=0.14$  a  $r=0.96$ , la tendencia que se observó fue en decremento del IAB al paso de los años, con aumentos con cierta estacionalidad. Para *P. oaxacana* se observó un incremento promedio en IAB de  $17.74 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ , con una desviación estándar de  $8.51 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ . La relación presentada entre el IAA y IAB por décadas varió de ( $r=0.51$  a  $r=0.86$ ). Se observó una tendencia que fue en incremento al paso de los años en ciertos periodos (Figura 2.7.).

El IAB para *P. teocote*, presenta una acumulación constante a partir de 1960 con un decaimiento en 2013, lo cual indica que este bosque ha llegado a su etapa de madurez y máxima acumulación de biomasa por lo que el IAB se mantendrá estable. Para *P. oaxacana* el IAB presenta una acumulación constante a partir de 1959 y hasta 2013, lo cual indica que este bosque seguirá creciendo y continuará efectuando acumulación de biomasa ya que aún es un bosque joven. Sin embargo, factores de estrés como plagas e incendios puede comprometer seriamente el crecimiento. Es pertinente, como en otros bosques del mundo proponer un manejo forestal encausado a la conservación de agua para el propio bosque, como estrategia de adaptación al cambio climático y mantener la productividad así como la provisión de servicios ambientales. De no efectuarse el aprovechamiento forestal este ecosistema es susceptible a la infestación de plagas y enfermedades forestales y por ende se afectaría la captura de carbono y servicios ambientales hidrológicos (Figura 2.7.).

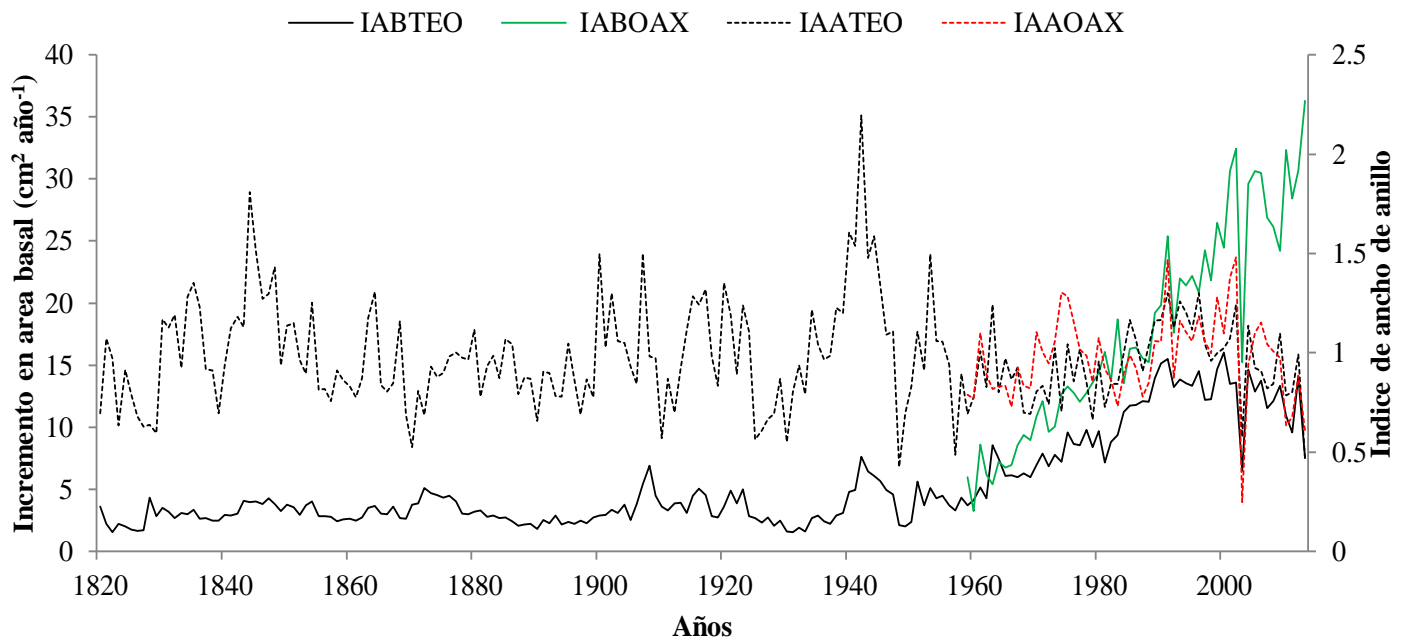


Figura 2.7. Incremento en Área Basal e Índice de Ancho de Anillo en *P. teocote* y *P. oaxacana*, en el municipio de San Juan del Estado, Etna, Oaxaca.

### 2.5.3. Reconstrucción de la precipitación

La correlación entre el índice de crecimiento y la precipitación fue ( $r=0.55$ ;  $p<0.0001$ ). El análisis de la tendencia en la precipitación reconstruida para los últimos 200 años, se determinaron sequias en la década 1820, 1830, 1840, 1850-1875, 1880-1900, 1910, 1925-1935, 1950, 1958-1990 y 2003-2012. Los periodos secos, intensos y de corta duración se registraron en los años de 1840, 1870, 1910, 1920, 1950, 2003 y las temporadas secas de mayor duración tuvieron lugar en los años de 1880-1900, 1925-1935, 1958-1990 y 2003-2012. Durante la reconstrucción de la precipitación se detectaron periodos húmedos de los años de 1845, 1877-1880, 1953 y 1940 (Figura 2.8).

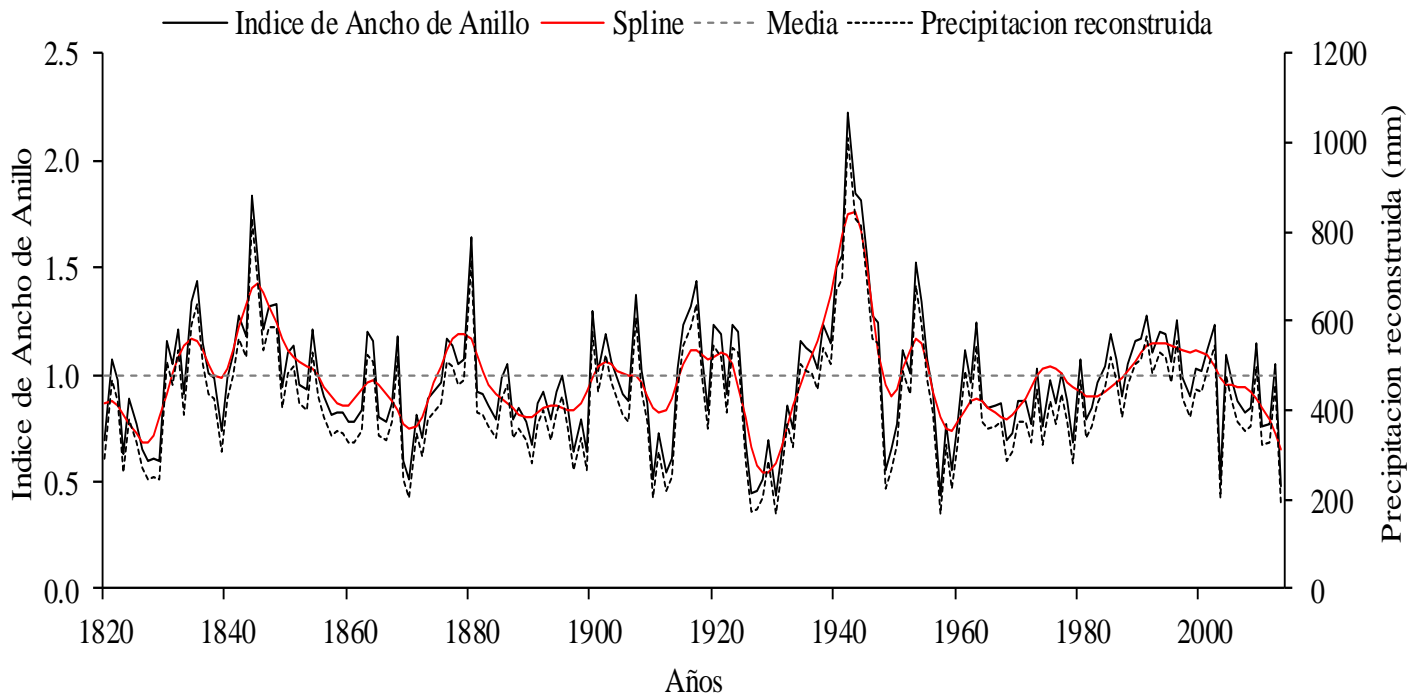


Figura 2.8. Reconstrucción de la precipitación en *P. teocote*, en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca.

La variabilidad de la precipitación reconstruida indica la presencia de sequías en la década 1820, 1830, 1840, 1850-1875, 1880-1900, 1910, 1925-1935, 1950, 1958-1990 y 2003-2012, coincidiendo con lo reportado por Cerano *et al.*, (2009) en un estudio realizado para el Suroeste de Chihuahua, México. Cerano *et al.*, (2009) mencionan que para el año 1910 se consideró un año con una sequía severa afectando el norte de México y originó descontento en la población por falta de alimentos, lo cual se consideró un factor más que detonó la Revolución Mexicana (Florescano, 1980), para la presente investigación esta sequía también se reflejó en el sur de México en especial para Oaxaca, coincidiendo con lo reportado por los autores anteriores. Otros de los sucesos importantes ocurridos en la presente reconstrucción de la precipitación es la sequía que se encontró para los años 1950 para Oaxaca, que es considerada como un periodo seco que afectó el norte y centro de México (Cerano *et al.*, 2009). Díaz *et al.*, (2002);



Cleaveland *et al.*, (2003); Cerano, (2004) y Villanueva *et al.*, (2006, 2007) mencionan que en este periodo de 1950 en estudios paleoclimáticos detectaron sequias en todo el país.

Una de las importantes sequías ocurridas en la región de San Juan del Estado fueron: 1880-1900, 1925-1935, 1958-1990 y 2003-2012. Estas sequias fueron propicios para las apariciones constantes de insectos descortezadores en la región, diversos autores mencionan que una alta sequia o constante aumenta el estrés en los árboles y es el momento idóneo para la aparición de estos insectos (Rogríguez, 1990). Durante el periodo 1990, 2000, 2010, la problemática de *D. mexicanus* aumento debido a las altas temperaturas y sequias en el estado de Oaxaca (SEMARNAT-CONAFOR, 2007).

Las altas temperaturas y sequias han favorecido un incremento en el número de ciclos anuales de los insectos descortezadores, existe poca información para predecir posibles avances y consecuencias de nuevos brotes de esta plaga (Burgos y Equihua, 2007). Rodríguez, (1990) menciona que una de las principales causas en las apariciones de nuevos brotes de *D. mexicanus* es cuando los arboles están en un estado de estrés (Sequias, competencia entre árboles, enfermedades o defoliación por otros insectos, tormentas y envejecimiento). Las grandes infestaciones por este descortezador en años recientes son asociados por: periodos largos de sequías, temperaturas y precipitación (Rodríguez, 1990; Fettig *et al.*, 2006; Fettig *et al.*, 2007; Reeve *et al.*, 1995; Cuellar *et al.*, 2012). Coincidiendo con la presente investigación donde se presentaron periodos importantes de sequía para el periodo 1960-1990 en el estado de Oaxaca, aunado a esto durante los siguientes años se reportó un alto número de superficie afectadas por insectos descortezadores en el estado (SEMARNAT, 2011,2013) y (Castellanos *et at.*, 2009).

#### **2.5.4. Relación factores climáticos con *D. mexicanus***

Para el municipio de San Juan, en el periodo 2009 se determinó una gran afectación de *D. mexicanus*. Se puede apreciar que la temperatura máxima del mes de mayo fue la que incidió a que hubiese un aumento de superficies afectadas en el municipio. Apreciando una relación entre la temperatura máxima del mes mayo con las superficies afectadas, observando que la población de *D. mexicanus* incrementa linealmente entre un intervalo de temperatura máxima de 17 a 28 °C. También se buscó una correlación entre la precipitación con las superficies afectadas, se encontró que para el periodo 2009 hubo poca lluvia (sequia) y se puede decir que este factor también incidió en la aparición de brotes de *D. mexicanus* en el municipio. La poca precipitación durante los meses de enero-abril propicia las condiciones idóneas para la aparición de este descortezador en la zona, debido a que los árboles se estresan durante este ciclo y aunado a esto sequias y altas temperaturas propicias las condiciones para la aparición de *D. mexicanus* (Figura 2.9.).

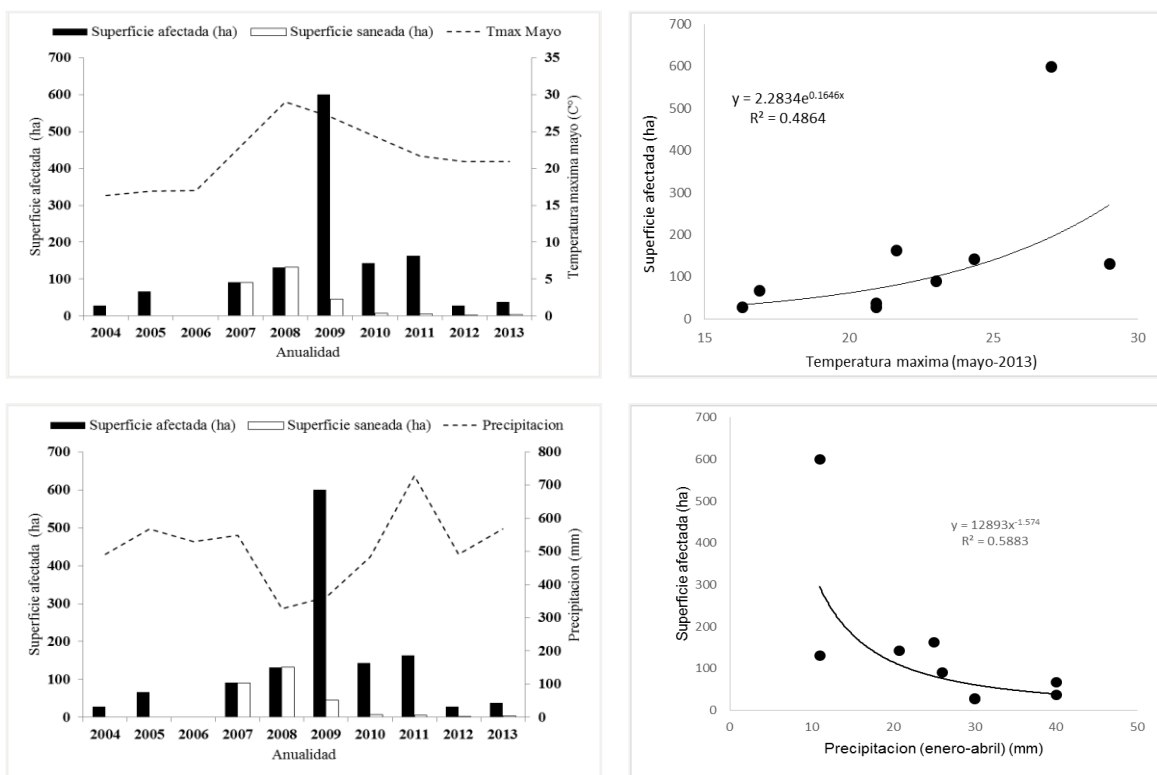


Figura 2.9. Superficies afectadas por *D. mexicanus* con factores climáticos

Otro factor que explica los cambios el aumento en la superficie afectada por descortezadores es la relación de precipitación enero-abril con respecto a la precipitación total. Cuando la precipitación de dicho periodo con relación a la precipitación total es menor al 5%, la superficie afectada se incrementa (Figura 2.10)

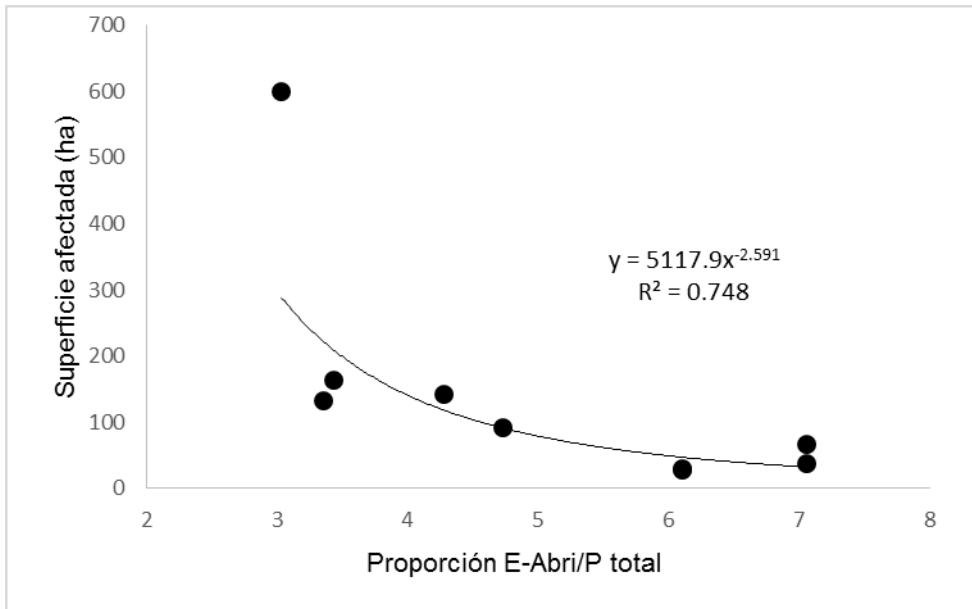


Figura 2.10. Porcentaje de la precipitación de enero-abril con respecto a la precipitación total y superficie afectada por descortezadores.

## 2.6. Conclusiones

La información dendrocronológica desarrollada para *P. teocote* y *P. Oaxacana* en San Juan de Estado, Etlá, Oaxaca, indican un alto potencial de las especies para estudios dendrocronológicos, fundamentando lo anterior con estadísticos que reflejan la claridad de la influencia de las condiciones climáticas y se expresan en la variabilidad en el grosor de sus anillos de crecimiento.

Las series dendrocronológicas y la reconstrucción de la precipitación generada para este municipio de Oaxaca son una de las primeras que se han generado, que han permitido analizar la variabilidad en la precipitación a nivel anual y década en los últimos 194 años. En los 194 años reconstruidos de la precipitación para San Juan del Estado se detectaron fuertes sequías para los años 1830, 1840, 1860, 1870, 1890-1900, 1910, 1920, 1930, 1950, 1960, 1970, 1980-1990, 2003 y 2010-2013. También se detectaron sequías de menor intensidad para los años: 1835, 1850, 1867, 1907, 2003, 2009 y 2012. Las sequías encontradas en

este estudio se han reportado en otros trabajos paleoclimaticos tanto en el norte del país así como para el centro.

Los resultados indicaron que los años con temperaturas máximas del mes de mayo de 28 °C y con precipitación de enero a abril menor a 20 mm, son los que presentaron mayor superficie afectada. Sin embargo, es importante mencionar que aunque tales condiciones climáticas son factores de predisposición, no necesariamente en todos esos años existe certeza de un brote de descortezadores.

## 2.7. Literatura citada

- Burgos, S. A. y Equihua M. A. 2007. Platypodidae y Scolytidae (Coleoptera) de Jalisco, Mexico. *Dugesiana* 14 (2): 59-82. SEMARNAT-CONAFOR. 2007. Programa Estratégico Forestal del Estado de Oaxaca 2007-2030. 250 p.
- Cook E.R. and R.H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and user is manual Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15.
- Cook, R.E. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin*, 47, 37-59.
- Cleaveland, M.K., D.W. Stahle; M.D. Therrell, J. Villanueva-Díaz y B.T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369-388.
- Cerano, P.J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, Méx. 152 pp.
- Cerano, P. J., J. Villanueva D., J. G. Arreola A., I. Sánchez C., R. D. Valdez C., and G. Herrera H. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y Bosques* 15(2):27-44.
- Castellanos-Bolaños J. F., O. Maldonado-Arango, F. Piñeiro-Márquez, J. Hernández-Hernández, M. Gómez-Cárdenas. 2009. Condición de los bosques afectados por insectos descortezadores en el estado de Oaxaca, México. Memoria de resúmenes. XV Simposium Nacional de Parasitología Forestal. Oaxaca, México. 28-31.
- Cerano, P. J., Villanueva D. J., Valdez C. R. D., Constante G. V., José Luis González B. J. L. Y Estrada Á. J. 2010. Precipitación reconstruida para la parte alta de la cuenca del río Nazas, Durango. *Rev. Mex. Cien. For.* Vol. 3 Núm. 10.
- Cuellar, R. G., Equihua M., A. Estrada, E., Mendez M. T., Villa C. J. & Romero. N J. 2012. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (coleoptera: curculionidae: scolytinae) atraídos a trampas en el noreste de

- México y su correlación con variables climáticas. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 13(2).
- Correa D. A., Gomez G. A., Villanueva D. J., Castruita E. L.U., Martinez T. T y Cervantes M. R. 2014. Análisis dendroclimático de ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el centro de México. Rev. Mex. Cien. For. Vol. 48.
- Díaz, C.S., M.D. Therrell, D.W. Stahle y M.K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. Climate Research 22: 237-244.
- Florescano, E. M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos: Com. Plan Hidráulico Nacional. México. D. F. 158 p.
- Fetting, C. J., T. De Gomez, K. E. Gibson, C.P. Dabney, and R. R. Borys. 2006. Effectiveness of permethrin plus-C and carbaryl for protecting individual, high-value pines from bark beetle attack. Arboriculture and Urban Forestry. 32: 247-252.
- Fetting, C. J., K. D. Klepzing, R. F. Billings, A. S. Munson, T. E. Nebeker, J. F. Negrón, y J.T. Nowak. 2007. The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. Forest ecology and management. 238: 24-53.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM. 35-58 p.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Návar, M.S. González-Elizondo, J. Villanueva-Díaz, O. Aguirre. y J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: a 1681-2001 rain reconstruction. Forest Ecology and Management 39-53 p.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin, 43, 69-78.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2009. Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC). Software. México, D.F.

- INEGI, 2012. Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía. Carta de Uso de Suelo y Vegetación.
- Ortega, J. S. 2012. Reconstrucción histórica de incendios mediante anillos de crecimiento en los bosques de San Miguel Cajonos, Oaxaca, México. Tesis profesional Maestría en ciencias Recursos Forestales. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. 45 p.
- Robinson, W.J. y R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-ring bulletin*, 40, 59-64.
- Rodriguez, L. R. 1990. Plagas forestales y su control en México. Dirección de difusión cultural. Colección de cuadernos universitarios: serie agronomía. No. 17. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 217 p.
- Reeve, J. D., M. P. Ayres, and P. L. Lorio, Jr. 1995. Host suitability, predation, and bark beetle population dynamics. In N. Cappuccino and P. W. Price, editors. *Population dynamics: New approaches and synthesis*. Academic Press, San Diego, C.A. 339-357.
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago.
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1996. *An introduction to the Tree-Ring Dating*. The University of Arizona Press. 73.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2007. Programa Estratégico Forestal del Estado de Oaxaca 2007-2030. 250 p.
- Stahle DW, D'Arrigo RD, Krusic PJ, Cleaveland MK, Cook ER, Allan RJ, Cole JE, Dunbar RB, Therrell MD, Gay DA, Moore. 2000.
- Santillán-Hernández, M., E.H. Cornejo-Oviedo, J. Villanueva-Díaz, J. Cerano-Paredes, S. Valencia-Manzo y M.A. Capó-Arteaga. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 16:17-29.
- Speer, J. H. 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press. [En línea]. Disponible en: <http://books.google.com/books?id=3UZFAQAAIAAJ> (revisado el 7 de diciembre de 2012).



- SEMARNAT. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo. Enero 2008 y Julio y octubre 2010 y abril 2011.
- Villanueva, D.J., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland y M.D. Therrell. 2000. Estado actual de la dendrocronología en México. *Ciencia Forestal* 25:5-36.
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano-Paredes, D.W. Stahle, M.D. Therrell, L. Vázquez Selem, R. Morán Martínez y B.H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México: Importancia ecológica y paleoclimática. Folleto Científico No. 20. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 46 p.
- Villanueva, D. J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano P., M. D. Therrell, and M. K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast México. *Climate Change* 83. pp. 117-131.
- Villanueva, D.J., Cerano J. P., Constante V. G., Cornejo H. O. y Santillán M. H. 2008. Los piñoneros del noreste de México y su respuesta climática. *AGROFAZ*. 8, 167-176 p.
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano-Paredes, J. Estrada-Ávalos, V. Constante-García, E.N. Cortés-Barrera. 2012. Variabilidad hidroclimática reconstruida con anillos de árboles para la cuenca Lerma-Chapala en Guanajuato, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 3, 5-26.