



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

DINÁMICA POBLACIONAL ESPACIO-TEMPORAL DE *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Curculionidae: Scolytinae) EN EL MUNICIPIO DE ARAMBERRI, NUEVO LEÓN.

LUIS GERARDO CUÉLLAR RODRÍGUEZ

T E S I S

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis, titulada **Dinámica poblacional espacio-temporal de *Dendroctonus mexicanus Hopkins* (Curculionidae: Scolytinae) en el municipio de Aramberri, Nuevo León**, realizada por el alumno **LUIS GERARDO CUÉLLAR RODRÍGUEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. ARMANDO EQUIHUA MARTÍNEZ

ASESOR

DRA. EDITH ESTRADA VENEGAS

ASESOR

DR. TULIO MÉNDEZ MONTIEL

ASESOR

DR. JAIME VILLA CASTILLO

ASESOR

DR. JESÚS ROMERO NÁPOLES

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO ENERO DE 2013

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
LITERATURA CITADA	8
CAPÍTULO I	
Análisis espacio-temporal de los bosques de <i>Pinus cembroides</i> Zucc atacados por <i>Dendroctonus mexicanus</i> (Coleoptera:Curculionidae) en el sur del estado de Nuevo León, México	11
CAPÍTULO II	
Características de los rodales de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. asociadas al ataque de <i>Dendroctonus mexicanus</i> Hopkins (Coleoptera:Curculionidae:Scolytinae) en bosques templados del Noreste de México	25
CAPÍTULO III	
Fluctuación poblacional de <i>Dendroctonus mexicanus</i> Hopkins (Coleoptera:Curculionidae:Scolytinae) atraídos a trampas Lindgren en el noreste de México y su correlación con variables climáticas	40
CONCLUSIONES GENERALES	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Localización del municipio de Aramberri en el estado de Nuevo León..	4
Figura 2	Temperaturas medias, máximas y mínimas en la estación meteorológica de San Juanito de Reséndiz, Aramberri, N.L. (promedio de 1970 a 2009) Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2009.....	6
Figura 3.	Precipitación media anual en el municipio de Aramberri, N.L. (promedio de 1970 a 2009) Fuente: <i>Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2009</i>	6
Figura 4	Hectáreas afectadas por <i>D. mexicanus</i> en el área de estudio dentro del municipio de Aramberri, N.L. de 2008 a 2012.....	16
Figura 5	Brotos activos de <i>D. mexicanus</i> registrados de 2008 a 2012 en el área de estudio en el municipio de Aramberri, N.L.....	17
Figura 6	Áreas afectadas por <i>D. mexicanus</i> en las cúspides de los lomeríos de Aramberri, Nuevo León.....	18
Figura 7	Áreas afectadas por <i>D. mexicanus</i> en Aramberri, N.L. evaluadas en los años 2008, 2010 y 2012.....	19
Figura 8	Distribución cenital de las áreas afectadas por <i>D. mexicanus</i> y su crecimiento descendente en el municipio de Aramberri, N.L.....	21
Figura 9	Toma de muestras para determinar edad e incrementos en bosques de <i>P. cembroides</i> en el sur del estado de Nuevo León.....	29
Figura 10	Características de los rodales de <i>P. cembroides</i> del sur de Nuevo León atacados y no atacados por <i>D. mexicanus</i>	32
Figura 11	Los rodales con <i>P. cembroides</i> de copa pequeña tuvieron mayores porcentajes de ataque por <i>D. mexicanus</i> en Aramberri, N.L.....	33
Figura 12	Dispersión de los datos de altura de copa y porcentaje de infestación por <i>D. mexicanus</i> en bosques de <i>P. cembroides</i> en Aramberri, N.L.....	34
Figura 13	Panorámica del área de estudio, en el municipio de Aramberri, N.L.....	45
Figura 14	Trampa Lindgren® colocada para el monitoreo de <i>D. mexicanus</i> en Aramberri, N.L.....	46
Figura 15	Número de insectos capturados con frontalina + aguarrás y sin atrayentes en trampas Lindgren ubicadas en Aramberri, N.L.....	48

Figura 16	Número de <i>Dendroctonus mexicanus</i> adultos capturados de noviembre de 2008 a abril de 2010 en diferentes localidades del municipio de Aramberri, N.L.....	48
Figura 17	Captura promedio de adultos de <i>D. mexicanus</i> capturados en Hoya de la Fábrica de noviembre de 2008 a abril de 2010.....	49
Figura 18	Cantidad de <i>D. mexicanus</i> coleccionados por fecha y por localidad de noviembre de 2008 a abril de 2010 en el municipio de Aramberri, N.L...	51
Figura 19	Representación entre las colectas de adultos de <i>D. mexicanus</i> la variables climáticas (precipitación media mensual, temperatura media mensual y relación entre precipitación y temperatura).....	51
Figura 20	Ecuación de regresión: $Y=1/(A+B*X)$ para explicar la relación entre la presencia de <i>D. mexicanus</i> y las variables precipitación media mensual y temperatura en el municipio de Aramberri, N.L.....	52

**Dinámica Poblacional Espacio-Temporal de *Dendroctonus mexicanus*
Hopkins (Curculionidae: Scolytinae) en el Municipio de Aramberri, Nuevo
León**

Resumen

En el presente estudio se evaluó la distribución espacial y temporal de las poblaciones de *Dendroctonus mexicanus* en bosques de *Pinus cembroides* del sur del estado de Nuevo León, México. Se monitorearon 30 200 ha, de las cuales 11 693.5 ha estuvieron dominadas por *P. cembroides*, la superficie afectada por *D. mexicanus* entre octubre de 2008 y octubre de 2012 fue de 1428.95 ha. El número de hectáreas afectadas disminuyó considerablemente de 2008 cuando se registraron 438.5 ha hasta la última evaluación en octubre de 2012 en que sólo se cuantificaron 74.1 ha afectadas. La mayoría de las infestaciones se presentaron en las cumbres y partes altas de las laderas, los frentes de avance tuvieron un movimiento multidireccional descendente. Este comportamiento podría estar relacionado con la densidad de los bosques. Los rodales de *P. cembroides* con mayor porcentaje de ataque por *D. mexicanus* tuvieron menores incrementos y copas más pequeñas. El área basal y la presencia de *Tillandsia usneoides* son variables que afectan el vigor de los bosques por lo que están relacionadas con el ataque. Se encontró correlación entre el número de insectos con la precipitación pluvial ($r=-0.58$, $P=0.005$) y con la relación precipitación/temperatura ($r=0.62$, $P=0.003$).

Palabras Clave: *Dendroctonus mexicanus*, dinámica poblacional, distribución espacial

Spatial-Temporal Population Dynamics of *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Curculionidae: Scolytinae) in Aramberri, Nuevo Leon

Abstract

We evaluated the spatial and temporal distribution of *Dendroctonus mexicanus* populations in *Pinus cembroides* forest in southern Nuevo Leon, Mexico. We monitored 30 200 ha, of this total 11 693.5 were dominated by *P. cembroides*, the infested area by *D. mexicanus* from October 2008 to October 2012 was 1428.95 ha. The number of infested hectares decreased from 438.5ha in 2008 to 74.1ha in October 2012. Most of the infested areas were found at the summits and upper parts of the slopes, the expansion of the affected areas had a multidirectional downward movement. This behavior could be related to the density of forests. Stands of *P. cembroides* with the highest percentage of damage by *D. mexicanus* had less radial increase and shorter crowns. Basal area and the presence of *Tillandsia usneoides* affect the vigor of forests so they are related to the attack. We found a correlation between the number of insects collected with the rainfall ($r = -0.58$, $P = 0.005$) and with the precipitation / temperature ratio ($r = 0.62$, $P = 0.003$).

Key Words: *Dendroctonus mexicanus*, population dynamics, spatial distribution.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los bosques de *Pinus cembroides* se distribuyen desde el oeste de los Estados Unidos de América hasta localidades del centro de México (Perry, 1991). Se les considera vegetación de transición entre las formaciones xerofíticas del Altiplano Mexicano y las vertientes internas de las Sierras Madre Oriental y Occidental (Eguiluz-Piedra, 1977; Rzedowski, 1978).

La importancia maderera de los bosques *Pinus cembroides* es muy baja, sin embargo, sus semillas (piñones) constituyen un producto de alto valor económico (Eguiluz-Piedra, 1977). En el municipio de Aramberri, en el sur del estado de Nuevo León, esta especie crece principalmente en zonas secas, sobre suelos pobres y escarpados por lo que se le considera una fuente de ingresos temporales en la época de producción de semillas (Rzedowski, 1978).

En las últimas décadas, grandes extensiones de bosques de *Pinus cembroides* del sur del estado de Nuevo León fueron afectados por el descortezador mexicano (*Dendroctonus mexicanus*), lo cual pudiera poner en riesgo la escasa industria forestal de la zona y los ingresos temporales obtenidos por la población rural por la venta de piñones.

Se estima que en Nuevo León los escarabajos descortezadores afectaron más de cinco mil hectáreas de bosques de coníferas entre 2008 y 2009 (SEMARNAT, 2010), mientras que para 2012 se estimaron 8 959 ha (Santiago Magallanes, Delegado CONAFOR Nuevo León, *com pers*). El principal insecto descortezador en esta región es *Dendroctonus mexicanus*, cuyo ataque se caracteriza por la decoloración del follaje y la aparición de grumos de resina sobre la corteza del árbol. Las infestaciones suelen presentarse en árboles individuales o bien en grupos de árboles, encontrándose de 3 a 5 generaciones por año algunas de las cuales pueden presentarse sobrepuestas (Cibrián *et al.*, 1995).

Los escarabajos descortezadores ocurren en forma natural en los bosques de coníferas, siendo incluso necesarios para el funcionamiento de los ecosistemas

(Wood, 1982). Sin embargo, como resultado de un manejo inadecuado, o bien en respuesta a factores abióticos de estrés los insectos descortezadores pueden aumentar su densidad y llevar sus poblaciones a niveles que alteren los procesos ecológicos o los servicios ambientales de los bosques (Malmström y Raffa, 2000; Kurz *et al.*, 2008; McFarlane y Witson, 2008).

Las causas del incremento poblacional de los descortezadores han sido motivo de diversas investigaciones (Evangelista *et al.*, 2011; Westfall y Ebata, 2009; Raffa *et al.*, 2008; Edmonds *et al.*, 2005; Williams y Liebhold, 2002; Coulson *et al.*, 1989), explicando este fenómeno mediante hipótesis relacionadas con factores intrínsecos (factores densodependientes) y extrínsecos (factores abióticos) a la población (Safranyik y Lindton, 1983; Turchin *et al.*, 1999; Turchin *et al.*, 2003; Lombardero *et al.*, 2000; Trzcinski y Reid, 2009).

Algunos autores coinciden en que la temperatura es un factor determinante en la dinámica poblacional de los escarabajos descortezadores (Wagner *et al.*, 1984; Logan y Bentz, 1999; Hebertson y Jenkins, 2008; Trzcinski y Reid, 2009) por lo que se espera que el cambio climático altere la distribución tanto de los insectos descortezadores como la de la vegetación, desplazándolos hacia mayores latitudes y altitudes (Williams y Liebhold, 2002; IPCC, 2007; Rosenzweig *et al.*, 2008). Sin embargo, las observaciones preliminares sobre la distribución de los brotes de descortezadores en los bosques de *Pinus cembroides* en Aramberri, Nuevo León en los últimos años, permite inferir que la presión que ejerce *D. mexicanus* sobre las masas arboladas contradice la teoría de que ante escenarios de cambio climático los insectos se moverán hacia mayores altitudes. Por lo anterior, se plantea la hipótesis de que en bosques de *Pinus cembroides* de Aramberri, N.L., la invasión de *Dendroctonus mexicanus* hacia nuevos hospederos depende de la disponibilidad del recurso “hospedero”, por lo que puede no ser unidireccional, bajo el supuesto de la prevalencia de factores climáticos favorables.

Para obtener los resultados y realizar el análisis se elaboraron mapas aéreos para

la detección de las infestaciones, las cuales fueron corroboradas en campo; asimismo, se hicieron levantamientos dasométricos que ayudaron a caracterizar los sitios afectados. Para conocer la relación de los insectos con las variables climáticas se colocaron trampas Lindgren las cuales fueron monitoreadas en forma mensual durante 18 meses.

La investigación se presenta en tres capítulos en los que se describe la distribución espacial de las infestaciones de *Dendroctonus mexicanus*, la correlación del porcentaje de infestación de los rodales con variables tales como la densidad de *Tillandsia usneoides*, el diámetro, la altura total de los árboles, la altura del tallo hasta la primera rama, la altura promedio de la copa, la edad del rodal, el área basal, la pureza y el incremento radial de los últimos 10 años así como la relación de las capturas de *D. mexicanus* con la precipitación y la temperatura.

Se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Conocer la distribución espacial de *Dendroctonus mexicanus*; su fluctuación poblacional utilizando trampas Lindgren® y su relación con factores climáticos y características del bosque de *Pinus cembroides* en el municipio de Aramberri, N.L. en el noreste de México.

Objetivos particulares:

- Analizar, mediante sistemas de información geográfica, la distribución y expansión de las infestaciones de *D. mexicanus* de 2008 a 2012.
- Analizar las variables dasométricas y del rodal que se asocian con el ataque de *D. mexicanus* sobre *P. cembroides* en el sur del estado de Nuevo León.
- Conocer la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* y los efectos de la precipitación y la temperatura sobre las colectas realizadas con trampas Lindgren multiembudo en bosques del municipio de Aramberri, N.L.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Localización

El municipio de Aramberri se encuentra localizado al sur del estado de Nuevo León, México (Figura 1); cuenta con una superficie total de 2839.5 km², de los cuales casi el 80% están dedicados a la agricultura extensiva, la ganadería y las áreas urbanas; el resto, 556.89 km², corresponden a pastizales naturales, matorral xerófilo, bosques de pino-encino y bosques de pino (INEGI, 2009).

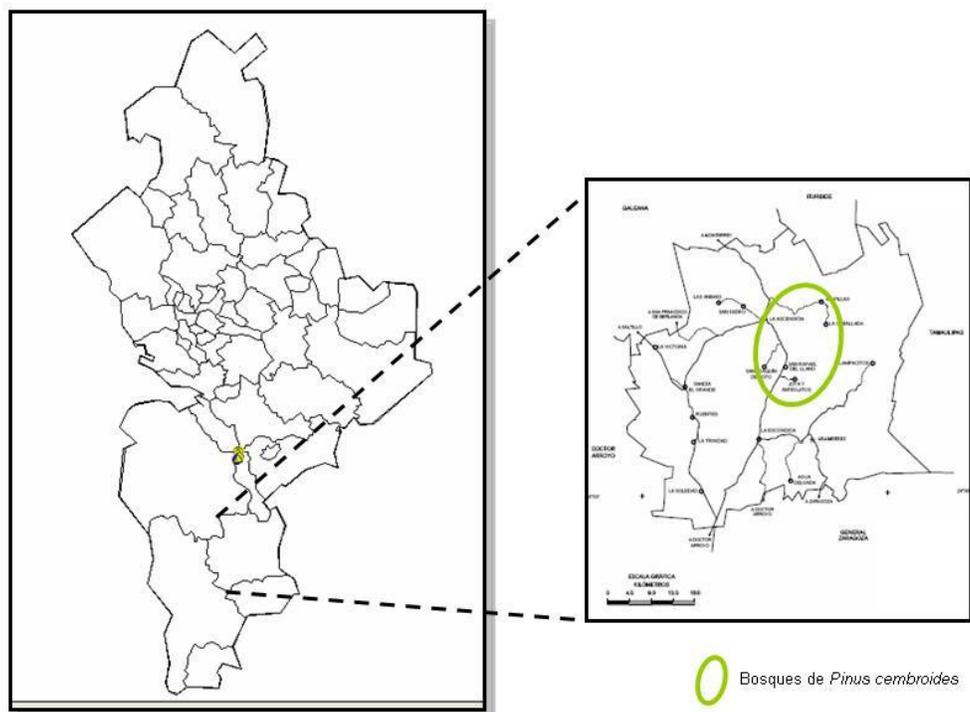


Figura 1. Localización del municipio de Aramberri en el estado de Nuevo León.

Características geológicas, fisiográficas y topográficas

El área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, la cual limita con el Eje Neovolcánico y corre en sentido paralelo a la costa del Golfo de México. La Sierra Madre Oriental es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados, entre los que se encuentra la subprovincia Gran Sierra Plegada, en la que dominan las capas plegadas de roca caliza y lutitas de origen sedimentario (INEGI, 1982). La topografía es muy irregular y el gradiente altitudinal inicia en 660 msnm y llega hasta 3260 msnm. La pendiente del terreno varía desde un 10% hasta un 80% (INEGI, 2009).

Suelo

Predominan los suelos de tipo Litosol y Regosol con textura media, la capa superficial del suelo varía en profundidad de 0 a 15 cm y presenta textura fina (arcillosa). En algunas áreas se presentan afloramientos de roca madre (INEGI 1982).

Clima

El clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano (Köppen modificado por García, 1973). De acuerdo con los datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua de la estación meteorológica de San Juanito de Reséndiz, la precipitación media anual es de 525 mm. La precipitación tiene su mayor incidencia en septiembre, con una precipitación promedio de 110 mm. La menor precipitación se presenta en los meses de febrero y noviembre, con un promedio de 11 y 12 mm, respectivamente (Figura 2). La temperatura media anual es de 14.9 °C. El periodo más cálido se presenta en los meses de mayo y junio, con temperaturas medias de 18.25 °C y temperaturas máximas de 38.6 °C. Los meses más fríos son diciembre y enero con temperaturas medias de 10.8 °C y extremas de hasta -10 °C (Figura 3).

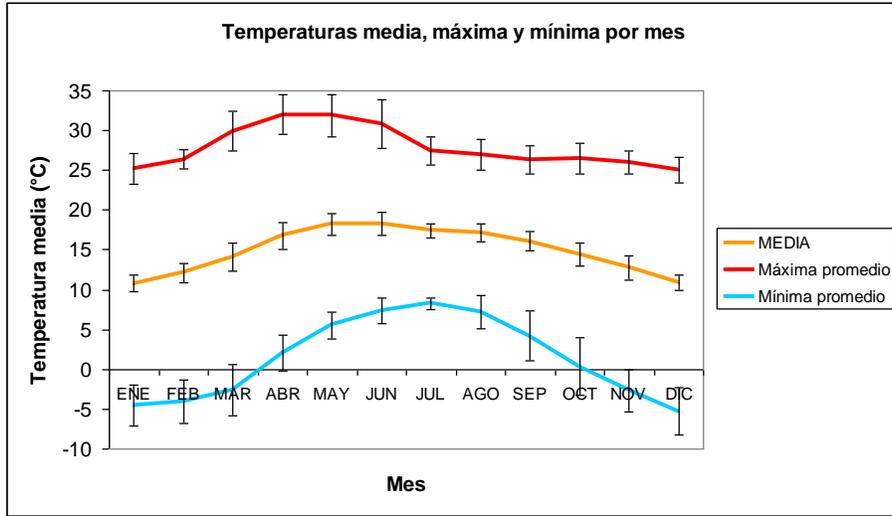


Figura 2. Temperaturas medias, máximas y mínimas en la estación meteorológica de San Juanito de Reséndiz, Aramberri, N.L. (promedio de 1970 a 2009) Fuente: *Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2009.*

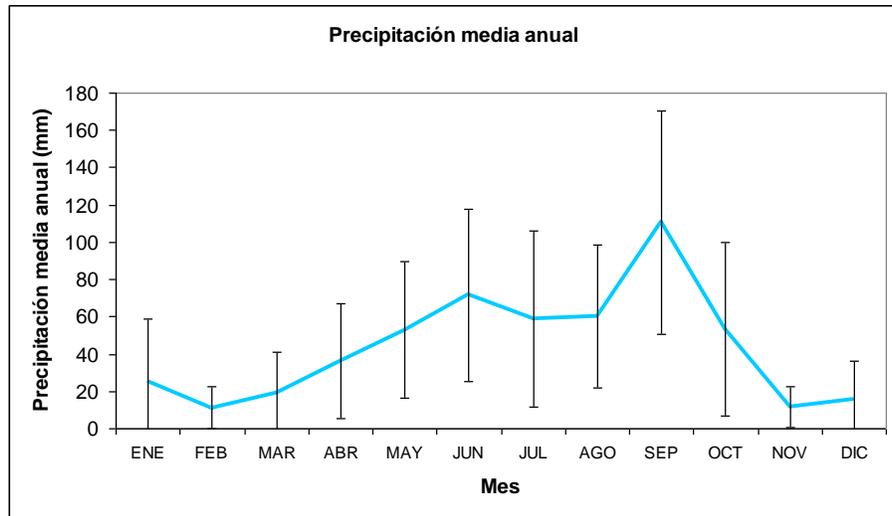


Figura 3. Precipitación media anual en el municipio de Aramberri, N.L. (promedio de 1970 a 2009) Fuente: *Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2009*

Vegetación.

El tipo de vegetación de la zona es bosque templado, con un estrato arbóreo que alcanza 20 m de altura, mostrando un estrato medio poco conspicuo o ausente. Las especies arbóreas dominantes son: *Pinus cembroides* (Zucc.), *Quercus* spp. y

Pinus pseudostrobus (Lindl.). Las arbustos dominantes son: *Yucca samandoca* (McKelvy), *Rhus virens* (Lindh.), *Goniatia hypoleuca* (de Candolle), *Juniperus monosperma* (Engelm.), *Sophora secundiflora* (Ortega), *Arctostaphylos pungens* (Kunth) y *Arbutus xalapensis* (HBK); mientras el estrato bajo está compuesto por gramíneas, herbáceas y especies rosetófilas como *Agave lechuguilla* (Torr.), *Agave striata* (Zucc.) y *Dasyilirion* sp. En algunos claros se presenta vegetación abierta del tipo matorral desértico rosetófilo, en el que predominan las especies arbustivas y rosetófilas mencionadas anteriormente, pero sin el estrato arbóreo (Rzedowski, 1978).

LITERATURA CITADA

- Berryman, A.A. 1982. Population dynamics of bark beetles. *In*: J. B. Mitton y K. B. Sturgeon (eds.) *Bark Beetles in North American Conifers: A Sistem for the Study of Evolutionary biology*. Univ. Texas Press, Austin, Texas, pp 264-314.
- Coulson, R., R. M. Feldman, P. J. H. Sharpe, P. E. Pulley, T. L. Wagner, T. L. Payne. 1989. An overview of the TAMBEETLE model of *Dendroctonus frontalis* population dynamics. *Holarctic Ecology*, 12: 445-450.
- Edmonds, R. J.K. Agee, R.I. Gara. 2005. *Forest Health and Protection*. EUA. America Waveland Press, Inc. 648 p.
- Eguiluz Piedra, T. 1977. *Los pinos del mundo*. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. Publicación Especial 1.
- Evangelista, P.H., S. Kumar, T.J. Stohlgren, N.E. Young. 2011. Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US. *Forest Ecology and Management*, 262: 307-316.
- Garcia, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM. 146 p.
- Hebertson, E.G., Jerkins, M.J. 2008. Climate factors associated with historic spruce beetle (Coleoptera: Curculionidae) outbreaks in Utah and Colorado. *Environmental Entomology*, 37(2): 281-292
- INEGI, 2009. *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. México.
- INEGI. 1982. *Carta topográfica*. México, INEGI.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge. 976p.
- Kurz, W., C. Dymond, G. Stinson, G. Rampley, E. Neilson, A. Carroll, T. Ebata, and L. Safranyik. 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452:987-990
- Logan, J.A., Bentz, B.J. 1999. Model analysis of mountain pine beetle seasonality. *Environmental Entomology*, 28: 924-934
- Lombardero, M., M. Ayres, B. Ayres, and J. Reeve. 2000. Cold tolerance of four

- species of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Environmental Entomology*, 29: 421-432.
- Malmstrom, C. M. and K. F. Raffa. 2000. Biotic disturbance agents in the boreal forest: considerations for vegetation change models. *Global Change Biol.*, 6: 35-48.
- Mcfarlane, B. L. and D. O. Witson. 2008. Perceptions of ecological risk associated with mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) infestations in Banff and Kootenay National Parks of Canada. *Risk Analysis*, 28: 203-212.
- Perry, J. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon, EUA 231 pp.
- Raffa, K. F., B. H. Aukema, B. J. Bentz, A. L. Carroll, J. A. Hicke, M. G. Turner, and W. H. Romme. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience*, 58: 501-517.
- Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Root, T.L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, C., Rawlins, S. y Imeson, A. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453: 353–357.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México* (12ª ed). México. Editorial Limusa, 432p.
- Safranyik, L., D.A. Linton (1983. Brood production by three spp. of *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytidae) in bolts of host and non-host trees. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 80: 10-13.
- SEMARNAT. 2010. Superficies afectadas por plagas y enfermedades http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet0ae6.html.
- Turchin, P., A.D. Taylor, and J.D. Reeve. 1999. Dynamical Role of Predators in Population Cycles of a Forest Insect: An Experimental Test. *Science*, 285: 1068- 1070.
- Turchin, P. 2003. *Complex population dynamics: a theoretical/empirical synthesis*. Princeton: Princeton University Press. 456 p.
- Trzcinski, M., M. Reid. 2009. Intrinsic and extrinsic determinants of mountain pine beetle population growth. *Agricultural and Forest Entomology*, 11: 185-196.
- Wagner, T.L., J.A. Gagne, P.J. Sharpe, and R.N. Coulson. 1984. A epidemiology of forest insects biophysical model of southern pine beetle *Dendroctonus*

frontalis (Coleoptera: Scolytidae) development. Ecol. Model., 21: 125–147.

Westfall, J., T. Ebata. 2009. Summary of forest health conditions in British Columbia. British Columbia Ministry of Forests and Range. Pest Management Report No. 15. 76 p

Williams D., A. Liebhold. 2002. Climate Change and outbreak ranges of two Northamerican beetles. Agricultural and Agroforestry Entomology, 4: 87-99

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.

CAPÍTULO I

Análisis Espacio-Temporal de los Bosques de *Pinus cembroides* Zucc Atacados por *Dendroctonus mexicanus* (Coleoptera:Curculionidae) en el Sur del Estado de Nuevo León, México

Gerardo Cuéllar-Rodríguez¹, Armando Equihua-Martínez², Edith G. Estrada-Venegas², Tulio Méndez-Montiel³, Jaime Villa-Castillo⁴, Jesús Romero-Nápoles²

Resumen

Se estimó que la superficie monitoreada fue de 30 200 ha, de las cuales 11 693.5 ha son bosques de *P. cembroides*. La superficie afectada por *D. mexicanus* entre octubre de 2008 y octubre de 2012 fue de 1428.95 ha, lo cual corresponde al 12% del área ocupada por *P. cembroides* en la zona. El número de hectáreas afectadas disminuyó considerablemente de 2008 cuando se registraron 438.5 ha hasta la última evaluación en octubre de 2012 en que sólo se cuantificaron 74.1 ha afectadas. La mayoría de las infestaciones se presentaron en las cumbres y partes altas de las laderas, los frentes de avance tuvieron un movimiento multidireccional descendente. Este comportamiento podría estar relacionado con la densidad de los bosques.

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, ² Colegio de Postgraduados, ³ Universidad Autónoma de Chapingo, ⁴ Comisión Nacional Forestal

Abstract

It was estimated that the monitored area was 30 200 ha, of this total 11 693.5 ha were *P. cembroides* forests. The infested area by *D. mexicanus* from October 2008 to October 2012 was 1428.95 ha, which corresponds to 12% of the occupied area by *P. cembroides*. The number of infested hectares decreased from 438.5ha in 2008 to 74.1ha in October 2012. Most of the infested areas were found at the summits and upper parts of the slopes, the expansion of the affected areas had a multidirectional downward movement. This behavior could be related to the density of forests.

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, ² Colegio de Postgraduados, ³ Universidad Autónoma de Chapingo, ⁴ Comisión Nacional Forestal

INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC) señala que la temperatura media superficial de la tierra se incrementó en el siglo pasado en cerca de 0.6°C siendo la década de 1990 la más caliente y el año 1998 el más caliente de esa década, se pronostica que para el año 2099 la temperatura media de la tierra aumente entre 1.79 y 3.13°C (Meehl *et al.*, 2007). Como respuesta al cambio climático se esperan cambios en la distribución espacial de los organismos, prediciendo una migración paulatina del ecuador hacia los polos y de las partes bajas a las altas (Rosenzweig *et al.*, 2007).

Estos cambios en distribución están asociados principalmente con la temperatura, ya sea por su efecto directo en la sobrevivencia y las tasas de reproducción de los organismos o bien por su influencia indirecta sobre las interacciones entre las especies (Bale *et al.*, 2002; Gaston, 2003). Aunque también pueden deberse a la destrucción o modificación del hábitat (Root *et al.*, 2003).

Debido a su dependencia fisiológica con el clima, los insectos han sido propuestos como organismos ideales para detectar los efectos del cambio climático (Karban y Strauss, 2004; Thomas *et al.*, 2001; Bale *et al.*, 2002). De acuerdo con algunos autores, el calentamiento global incrementará el estrés en los árboles y los hará más susceptibles al ataque de insectos descortezadores (Kühnholz *et al.*, 2001; Allen *et al.*, 2010).

En la última década, *Dendroctonus mexicanus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), ha ocasionado infestaciones epidémicas en bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) en el sur del estado de Nuevo León. El nivel que han alcanzado sus poblaciones no tiene precedentes y de presentarse condiciones favorables este pudiera ser el escenario normal para los próximos años, por lo que es importante analizar, mediante sistemas de información geográfica, los datos de distribución y expansión de los brotes, los cuales serán la línea base para conocer los potenciales efectos del cambio climático sobre la distribución de este insecto.

Los objetivos planteados en este trabajo son estimar la superficie afectada por *D. mexicanus* entre octubre de 2008 y octubre de 2012, así como determinar los puntos iniciales de ataque, su expansión y las características topográficas preferidas para la infestación.

MÉTODO

El área de estudio se encuentra ubicada en el sur del estado de Nuevo León en el noreste mexicano, entre las coordenadas: 1) 24°15'00", 99°54'30", 2) 24°15'00, 99°48'30" 3) 24°30'00", 99°48'30" y 4) 24°30'00" 99°54'22". Los bosques se localizan en la subprovincia de la Gran Sierra Plegada dentro de la Sierra Madre Oriental en la que dominan las capas plegadas de roca caliza y lutitas. Los suelos son de tipo Litosol y Regosol con textura media (INEGI, 1982). El clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano C (W1) (Köppen modificado por García, 1973). La vegetación está compuesta por bosques puros de *Pinus cembroides*. Dentro de esta superficie se localizaron áreas afectadas por *Dendroctonus mexicanus* en los años 2008, 2010 y 2012. El monitoreo no se realizó en 2009 y 2011. En octubre de 2008 las áreas afectadas por descortezadores fueron detectadas mediante un vuelo en helicóptero durante el cual se registró la presencia de árboles con cambios de coloración en el follaje, el cual es considerado un buen indicador de la presencia de descortezadores (Wulder *et al.*, 2006). Las áreas con síntomas de ataque por *D. mexicanus* fueron proyectadas en forma manual en un mapa topográfico escala 1:50000. Posteriormente, las áreas con posible afectación fueron verificadas en tierra, ya sea mediante la colecta directa de ejemplares de *D. mexicanus* o bien por la presencia de galerías. Una vez comprobada la presencia del insecto se procedió a tomar las coordenadas de todos los vértices del área afectada mediante recorridos a pie, así como la ubicación de el ó los frentes de avance del insecto, detectados por la presencia de arbolado en las primeras etapas de la colonización. En octubre

de 2010 se realizaron nuevamente los recorridos a pie para incorporar las áreas afectadas en los pasados dos años, redelimitar los polígonos iniciales e incorporar los nuevos brotes. Cuatro años después de la primera delimitación, en octubre de 2012, se realizó un vuelo en helicóptero para localizar nuevas infestaciones y el crecimiento de los polígonos iniciales. Se tomaron coordenadas desde el aire y posteriormente fueron verificadas en tierra, al igual que la presencia de *D. mexicanus*.

De junio de 2008 a diciembre de 2010 el Comité de Fomento y Sanidad del Estado de Nuevo León realizó actividades de saneamiento de acuerdo con la NOM-SEMARNAT-019-2006 en todo el municipio de Aramberri; particularmente, en la zona de estudio se realizaron de junio a diciembre de 2008. Las áreas saneadas antes del primer mapeo fueron consideradas como afectadas y contabilizadas como superficies afectadas.

Para el cálculo de superficies se elaboró un mapa para los bosques de pino piñonero a partir del procesamiento digital de una imagen LANDSAT TM tomada el 26 de junio de 1994, ésta fue procesada con los programas ERDAS TM versión 7.5 e IMAGETM versión 8.02. El Sistema de Información Geográfica (SIG) se integró mediante el programa ARC/INFO TM. Para realizar este proceso se capturó, de manera digital, la carta de uso del suelo con la clave G14C77 “La Ascensión” (DETENAL, 1978). Sobre este mapa se posicionaron los polígonos con los datos de campo correspondientes a cada uno de los años (2008, 2010 y 2012) y se cuantificaron las áreas, las áreas afectadas en 2009 y 2011 no fueron cuantificadas por razones presupuestales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estimó que la superficie monitoreada fue de 30 200 ha, de las cuales 11 693.5 ha son bosques de *P. cembroides*. La superficie afectada por *D. mexicanus* entre octubre de 2008 y octubre de 2012 fue de 1428.95 ha, lo cual corresponde al 12% del área ocupada por *P. cembroides* en la zona.

El número de hectáreas afectadas disminuyó considerablemente desde el primer inventario en 2008 en el que se registraron 438.5 ha hasta el último en octubre de 2012 con sólo 74.1 ha (Figura 4). El número de brotes activos registrados tuvo un incremento en 2010 y disminuyó en 2012 (Figura 5).

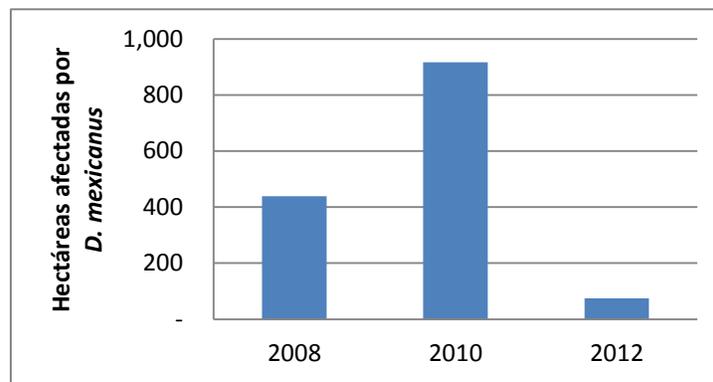


Figura 4. Hectáreas afectadas por *D. mexicanus* en el área de estudio dentro del municipio de Aramberri, N.L. de 2008 a 2012.

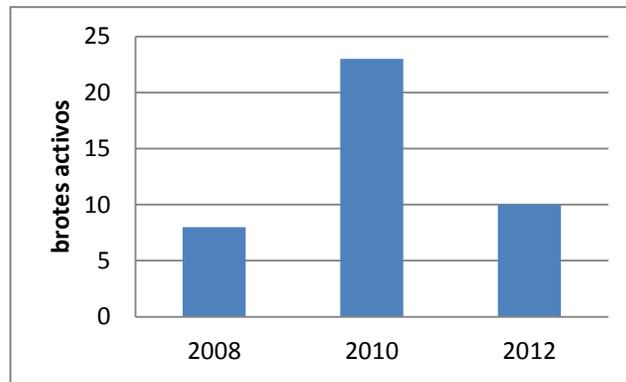


Figura 5. Brotes activos de *D. mexicanus* registrados de 2008 a 2012 en el área de estudio en el municipio de Aramberri, N.L.

En 2008 las 438.5 ha afectadas estuvieron distribuidas en 8 brotes activos, los cuales tuvieron una exposición acimutal, ubicándose en las cúspides de entre 1960 y 2520 msnm, pero nunca en altitudes menores a 1900msnm aún y cuando existían hospederos disponibles. Este comportamiento podría deberse a que las condiciones climáticas en las cimas de las montañas son más severas que en las laderas, ya que de acuerdo con Bennie *et al.*, (2008) la pendiente afecta la cantidad de radiación solar interceptada por la superficie, afectando las tasas de evapotranspiración y el contenido de humedad en el suelo; provocando que los árboles sean más débiles y por lo tanto más vulnerables al ataque.

En 2010 se localizaron 23 brotes activos que ocupaban 916 ha, el 34% de los cuales tuvieron lugar en las cúspides de entre 1820 y 2700 msnm, mientras el 65% se ubicó en laderas con exposiciones este y oeste principalmente. Lo cual podría indicar una expansión de los brotes de 2008 ubicados en las cúspides a las afectaciones de las laderas en 2010, lo cual indica un movimiento multidireccional, dominado por la disponibilidad de hospederos en las laderas y la eliminación de los árboles en la cúspide (Figura 6).



Figura 6. Áreas afectadas por *D. mexicanus* en las cúspides y laderas de los lomeríos de Aramberri, Nuevo León.

En 2012 se ubicaron 10 brotes activos afectando 74.1 ha. El 70% de los brotes se desarrollaron en cúspides y únicamente 30% en laderas con exposiciones oeste y norte, lo que indica una preferencia de ataque hacia los árboles en las cúspides.

La superficie calculada en 2008 pudo tener afectaciones históricas causadas por *D. mexicanus*; sin embargo, no fue posible discriminar el área previamente afectada porque no existen evaluaciones publicadas de la superficie atacada por el descortezador antes de 2008. El incremento en la superficie afectada entre 2008 y 2010, obedece tanto a la incorporación de nuevas áreas a los brotes reportados en 2008 (61%) como a la presencia de brotes iniciales (39%). En 2012, aunque hubo un decremento significativo en la superficie afectada, el 40% de los brotes detectados fueron expansión hacia las laderas de los brotes localizados en 2010 y el 60% fueron brotes iniciales, en su mayoría (70%) ubicados en las cúspides (Figura 7). La tendencia de este insecto a realizar el ataque en las cúspides y posteriormente realizar una expansión multidireccional hacia las laderas podría ser el escenario a futuro si las condiciones bióticas y abióticas son favorables.

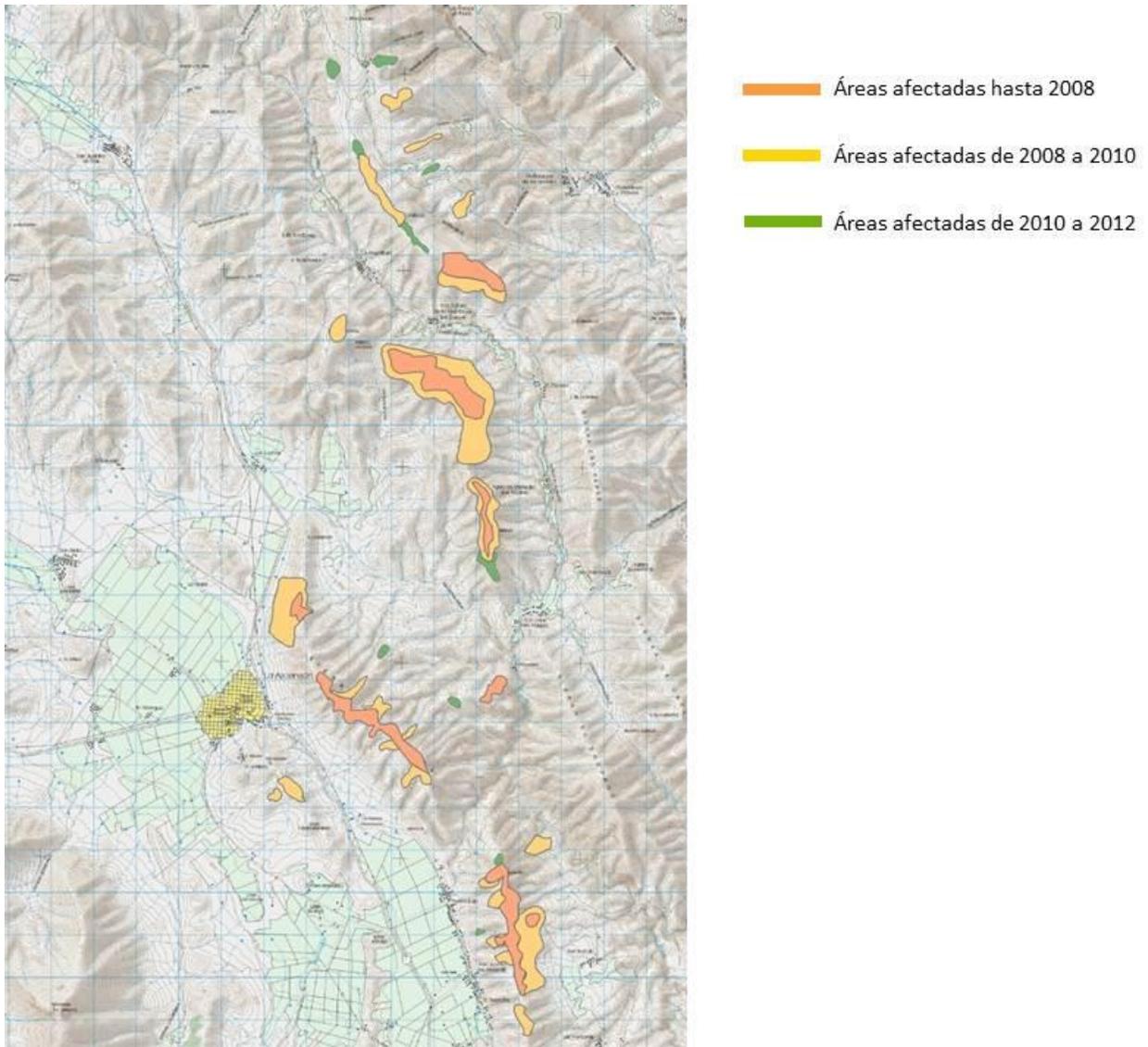


Figura 7. Áreas afectadas por *D. mexicanus* en Aramberri, N.L. evaluadas en los años 2008, 2010 y 2012.

La altitud media a la que se presentaron los brotes fue de 2330 ± 235 msnm y la moda fue de 2250 msnm. El brote activo con la menor altitud se presentó en 2010 en la cota de los 1900 msnm y el de mayor altitud fue de 3260 msnm en 2012, que es la cota máxima que alcanza el área de estudio.

Una posible explicación a la preferencia de ataque de *D. mexicanus* en las cúspides se puede inferir del estudio de densidad de los bosques realizado por

Treviño (2001), en el cual se analiza la distribución espacial de los bosques de *Pinus cembroides* en la misma zona de estudio, mostrando que los rodales cerrados y densos se distribuyen básicamente en las cúspides y laderas con exposición sur/sudoeste, mientras los bosques abiertos se encuentran en las partes bajas, en los límites entre zonas agrícolas y de pastizal.

El 83% de los brotes tuvieron un crecimiento descendente, es decir iniciando en las cúspides o partes altas de las laderas y dirigiéndose hacia las bajas (Figura 8 1). Por lo que la densidad de los bosques, la cual implica una mayor competencia entre los árboles, podría estar reduciendo el vigor de los mismos, teniendo así un papel determinante en el inicio de las infestaciones. Además, la orientación de la pendiente (cúspide o ladera) tiene un papel determinante en la cantidad de energía solar que incide sobre la superficie terrestre, pudiendo crear gradientes de radiación solar que afecten directa o indirectamente los procesos biofísicos, así como el calentamiento del suelo o del aire, afectando el balance hídrico y la producción primaria (Davis *et al.*, 1989; Brown, 1991; Davis *et al.*, 1992; Dubayah 1992; Bennie *et al.*, 2008); por lo que los árboles ubicados en las cúspides podrían estar expuestas a mayor incidencia solar y condiciones extremas de temperatura, lo que podría debilitarlos y hacerlos vulnerables al ataque de *D. mexicanus*. Lo cual sería coincidente con Robertson *et al.*, (2009) que señala que tanto la topografía como los patrones climáticos son determinantes en las expansiones de la población.

En este sentido, los efectos del cambio climático sobre los bosques de *P. cembroides* de Aramberri, podrían ser más notorios en las cúspides, lo cual no coincide con la teoría de que debido al cambio climático, estos insectos tendrán un desplazamiento hacia altitudes mayores. Sin embargo, los bosques estudiados se encuentran en los límites sureños de la distribución de *P. cembroides* en Nuevo León y están expuestos a condiciones más extremas de sequía (525mm, anuales de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua) que los bosques de esta misma especie ubicados en localidades a tres kilómetros hacia el norte (Ejido Pablillo) en los que de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua la precipitación anual

promedio es de 725mm y en los que no se han observado infestaciones sobre *P. cembroides*. Bajo esta perspectiva, las infestaciones en los límites de la distribución de *P. cembroides* podrían ser un indicador de declinación de los bosques del área estudiada, en la que los insectos estarían actuando como agentes de selección natural, eliminando paulatinamente los bosques debilitados y disminuyendo su distribución natural hacia áreas con mejores condiciones ambientales. Esto da origen a nuevas hipótesis sobre el movimiento de las poblaciones de *Dendroctonus mexicanus*, el cual podría ser desde los bosques secos del sur (Aramberri, N.L.) hacia los más húmedos (Galeana, N.L.). Esta hipótesis tendría que ser probada en campo, incluyendo además las tasas de regeneración de los rodales afectados y la invasión por elementos vegetales típicos del altiplano mexicano (*Yucca* spp., *Agave lechuguilla*, etc.).



Figura 8. Distribución cenital de las áreas afectadas por *D. mexicanus* y su crecimiento descendente en el municipio de Aramberri, N.L.

CONCLUSIONES

La superficie afectada por *D. mexicanus* en el área de estudio entre octubre de 2008 y octubre de 2012 fue de 1428.95 ha de bosques de *Pinus cembroides*. Los ataques se presentaron entre los 1900 y los 3260msnm. La mayoría de las infestaciones de *D. mexicanus* en el área de estudio se iniciaron en las cúspides y partes altas de las laderas, estas zonas, de acuerdo con Treviño, (2001) se caracterizan por tener bosques más densos que las partes bajas, lo cual sugiere que el área basal tiene un papel importante en el inicio de la infestación, una vez establecidos, la expansión de las infestaciones se efectúa de manera multidireccional hacia menores altitudes donde existen nuevos hospederos. Por otra parte, la orientación de la pendiente (cúspide o ladera) podría tener un papel determinante en la cantidad de energía solar que llega al sistema ambiental e incidir sobre los procesos fisiológicos de las plantas, alterando su capacidad de defensa.

Al parecer, la preferencia de ataque de *D. mexicanus* en las cúspides de los cerros, contradice la teoría del movimiento de los descortezadores hacia mayores altitudes, ya que el movimiento encontrado es multidireccional descendente, siguiendo la disponibilidad de hospederos.

Este estudio da origen a una nueva hipótesis, ya que los bosques estudiados se encuentran en los límites sureños de la distribución de *P. cembroides* en Nuevo León, limitando con el altiplano mexicano, lo cual los coloca en condiciones de aridez mayores a las que tiene este ecosistema en sus extremos norte y este. Por lo que las infestaciones en los límites de la distribución sur-oeste de *P. cembroides* podrían ser un indicador de declinación de los bosques del área estudiada, en la que los insectos estarían actuando como agentes de selección natural ante el cambio climático, eliminando paulatinamente los bosques debilitados y disminuyendo su distribución natural hacia áreas con mejores condiciones ambientales.

LITERATURA CITADA

- Allen, C., A.K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D. Breshears, E.H. Hogg, P. Gonzalez, R. Fensham, Z. Zhangm, J. Castro, N. Demidova, J. Lim, G. Allard, S. Running, A. Semerci, and N. Cobb . 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 660-684.
- Bale, J.S. G.J. Masters, I.D. Hodkinson, C. Awmack, T.M. Bezemer, V.K. Brown, J. Butterfield, A., J.C. Coulson, J. Farrar, E.G. Good, R. Harrington, S. Hartley, T.H. Jones, R.L. Lindroth, M.C. Press, I. Symrnioudis, A.D. Watt, and J.B. Whittaker. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperatures on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8:1-16.
- Bennie, J., B. Huntley, A. Wiltshire, M.O. Hill, R. Baxter. 2008. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling*, 216(1):47-59
- Brown, D., 1991. Topoclimatic models of an alpine environment using digital elevation models within a CIS, *Proceedings of the GIS/LIS 1991 Conference, Washington*, vol. 2, pp. 835-844.
- DETENAL Dirección de Estudios del Territorio Nacional (1978), *Carta de uso del suelo*, G14-C77 “ La Ascención”, escala 1:50 000, México.
- Davis, F., R. Dubayah, J. Dozier y F. Hall. 1989. Covariance of greenness and terrain variables over the Konza Prairie. *Proceedings of IGARSS 1989, Vancouver*, 1322-1325.
- Davis, F. S. Schimield, A. Friedlm, T. Kiitel, R. Dubayah, y J Dozier. 1992. Covariance of biophysical data with digital topographic and land use maps over the FIFE site. *Journal of Geophysica*. 97 (19):09-19.
- Dubayah, R. 1992. Estimating net solar radiation using Landsat Thematic Mapper and digital elevation data. *Water Resources Research*, 28, 2469-2484.
- Meehl, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B.Mitchell, R. J. Stouffer, and K. E. Taylor. 2007. Global climate projections. Pp. 747– 845. *In: S. Solomon (ed.). Climate Change: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ.Press, Cambridge, U. K.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.

- México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM. 146 p.
- Gaston, K.J. 2003. The structure and dynamics of geographic ranges. *Oxford University Press* Oxford, UK. 278 p.
- INEGI. (1982). Carta topográfica. México, INEGI.
- Karban, R. and S.Y. Strauss. 2004. Physiological tolerance, climate change, and a northward range shift in the spittlebug, *Philaenus spumarius*. *Ecological Entomology*, 29: 251-254.
- Kühnholz, S., J.H. Borden, and A. Uzunovic. 2001. Secondary ambrosia beetles in apparently healthy trees: adaptations, potential causes and suggested research. *Int. Pest Man. Reviews*, 6: 209-219.
- Robertson, C., T.A. Nelson, D.E. Jelinski, M.A. Wulder, and B. Boots. 2009. Spatial-temporal analysis of species range expansion: the case of the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae*. *Journal of Biogeography*, 36(8): 1446-1458.
- Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig, and J.A. Pounds, 2003: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421: 57-60.
- Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, and P. Tryjanowski. 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability (Intergovernmental Panel on Climate Change)*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 79–131.
- Thomas, R., B. Csatho, C. Davis, C. Kim, W. Krabill, S. Manizade, J. McConnell, and J. Sonntag. 2001. Mass balance of higher-elevation parts of the Greenland ice sheet, *J. Geophys. Res.*, 106(33):707– 716 p.
- Treviño Garza, E. 2001: Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*, *Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, U.N.A.M.* Vol. 44, pp. 54-63.
- Wulder M.A, J.C. White, B. Bentz, M.F. Alvarez, and N.C. Coops. 2006. Estimating the probability of Mountain Pine Beetle red attack damage. *Remote Sensing of Environment*, 101: 150-166.

CAPÍTULO II

Características de los rodales de *Pinus cembroides* Zucc. asociadas al ataque de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en bosques templados del Noreste de México

Gerardo Cuéllar-Rodríguez¹, Armando Equihua-Martínez², Edith G. Estrada-Venegas², Tulio Méndez-Montiel³, Jaime Villa-Castillo⁴, Jesús Romero-Nápoles²

Resumen

En bosques de *Pinus cembroides* del sur del estado de Nuevo León se evaluaron 120 sitios de 1000 m² con características similares de altitud, pendiente y exposición. En cada uno de los sitios se evaluó el porcentaje de árboles infestados por *Dendroctonus mexicanus*, la densidad de *Tillandsia usneoides*, el diámetro, la altura total de los árboles, la altura del tallo hasta la primera rama, la altura promedio de la copa, la edad del rodal, el área basal, la pureza y el incremento radial de los últimos 10 años. El promedio de árboles infestados en los sitios evaluados ($n= 120$) fue de 43%, 28 sitios no presentaron infestación, 22 presentaron infestación del 100%, los 70 restantes tuvieron valores de infestación entre el 10 y el 90%. Se encontró que los rodales de *P. cembroides* con mayor porcentaje de ataque por *D. mexicanus* tuvieron menores incrementos y copas más pequeñas. El área basal y la presencia de *Tillandsia usneoides* son variables que afectan el vigor de los bosques por lo que están relacionadas con el ataque.

Abstract

Infestation of *Dendroctonus mexicanus* was evaluated in forests of *Pinus cembroides* in the state of Nuevo Leon in northeastern Mexico and correlations to measurable tree variables were analyzed. A total of 120 sites (1000 m² each) were sampled, all having similar altitude, slope and aspect. Variables evaluated in each site were: percentage of infested trees with *Dendroctonus mexicanus*, degree of abundance (from 1 to 5) of *Tillandsia usneoides*, average diameter of trees, average height of trees, average height of stems up to the first branch, average height of crowns, age of the stand, basal area, purity and radial increase of the last 10 years. The average percentage of infested trees in the evaluated sites (n=120) was 43%; where 28 sites did not show infestation, 22 had 100% infestation, and the remaining 70 sites had between 10 and 90% infestation. Results showed that the *P. cembroides* stands with higher infestation of *D. mexicanus* had less radial increase and shorter crowns. Because its relation with the vigor of the tree, the basal area and the abundance of *T. usneoides* seems to be related to the infestation of *D. mexicanus*.

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, ² Colegio de Postgraduados, ³ Universidad Autónoma de Chapingo, ⁴ Comisión Nacional Forestal

INTRODUCCIÓN

Los escarabajos descortezadores de la subfamilia Scolytinae son considerados agentes de disturbio en los bosques templados (Wood, 1982; Raffa, 1988). En México, el género *Dendroctonus* es considerado el más dañino para los bosques de coníferas (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995). Particularmente para el estado de Nuevo León se estima que se afectaron más de cinco mil hectáreas de bosques de coníferas por insectos descortezadores entre 2008 y 2009 (SEMARNAT, 2010).

A escala regional, los ataques de *D. mexicanus* suelen estar asociados a disturbios o cambios ambientales (Evangelista *et al.*, 2011; Westfall y Ebata, 2009; Raffa *et al.*, 2008; Edmonds *et al.*, 2005; Williams y Leibold, 2002; Coulson *et al.*, 1989) mientras que a nivel de rodal, las infestaciones pueden responder a cambios en la densidad y la estructura de edades (Gaylord *et al.*, 2008; Safranyik y Carroll, 2006) y de manera particular pueden responder a cambios en el vigor de los árboles hospedantes (Raffa y Berryman, 1998) o bien se correlacionan con árboles de grandes dimensiones (Holsten 1984; Matsuoka, 2001) o con el incremento en diámetro de los años previos al ataque (Hard *et al.*, 1987; Van Hees y Holsten, 1994).

En esta investigación se analizan el diámetro, altura total de los árboles, altura del tallo hasta la primera rama, altura de la copa, edad media, área basal, pureza e incremento radial de los últimos 10 años además de la densidad de *Tillandsia usneoides* y su relación con el porcentaje de *Pinus cembroides* infestados por *D. mexicanus*, en el sur del estado de Nuevo León.

MÉTODO

El área de estudio se encuentra ubicada en el sur del estado de Nuevo León en el noreste mexicano, la vegetación está compuesta por bosques puros de *Pinus cembroides* con menos del 5% de mezcla de otras especies arbóreas (*Quercus* spp. y *Pinus pseudostrobus* (Lindl.)). Los bosques se localizan en la subprovincia de la Gran Sierra Plegada dentro de la Sierra Madre Oriental en la que dominan las capas plegadas de roca caliza y lutitas. Los suelos son de tipo Litosol y Regosol con textura media (INEGI, 1982). El clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano C (W1) (Köppen modificado por García, 1973).

Se evaluaron 120 sitios de 1000 m² con características similares en cuanto a altitud (1900 a 2400 msnm), pendiente (30 a 50%) y exposición (N y NE). En cada una de las parcelas se tomaron las siguientes variables: porcentaje de árboles infestados por *D. mexicanus* (DM), densidad de plantas epífitas (*Tillandsia usneoides*) (TU), diámetro (DAP), altura total promedio (h), altura del tallo hasta la primera rama promedio (h1), altura promedio de la copa (h2), edad media (t), área basal (g), pureza (p) e incremento radial promedio de los últimos 10 años (i).

El porcentaje de infestación por *D. mexicanus* fue calculado mediante la fórmula: $DM = (\text{Número de } P. \text{ cembroides infestados} / \text{número total de } P. \text{ cembroides dentro de la parcela}) * (100)$. La densidad de epífitas fue tomada en una escala visual del 0 al 5, en el que el 0 representó la menor densidad y el 5 la máxima. El diámetro fue tomado a 1.30 m.

En cada uno de los árboles utilizando forcípula; la altura total y la altura de copa fueron tomadas con un hipsómetro, la altura del tallo se obtuvo por diferencia entre la altura total menos la altura de la copa. El área basal fue calculada para cada uno de los sitios de muestreo considerando todos los árboles independientemente de la especie. Asimismo, la pureza del sitio fue calculada en porcentaje utilizando el número total de individuos de cada especie.

Para el cálculo de la edad se obtuvieron virutas mediante el taladro de Pressler, las cuales también fueron utilizadas para medir el incremento de los últimos 10

años, esta medición se realizó utilizando un estereoscopio con una lente graduada (Figura 9).



Figura 9. Toma de muestras para determinar edad e incrementos en bosques de *P. cembroides* en el sur del estado de Nuevo León.

Análisis de datos

Para evaluar el efecto de las características del rodal asociadas al porcentaje de infestación por *D. mexicanus* se realizó una prueba de correlación utilizando las variables: porcentaje de infestación por *D. mexicanus*, diámetro, altura total, altura del tallo hasta la primera rama, altura de la copa, edad, área basal, pureza del rodal e incremento radial de los últimos 10 años. La variable densidad de plantas epífitas es discontinua, por lo que fue analizada con métodos no paramétricos. Las variables que no tuvieron un coeficiente de correlación ≥ 0.5 fueron descartadas para el análisis comparativo entre los sitios que resultaron sin infestación contra los que presentaron infestación del 100%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para caracterizar los sitios afectados por *D. mexicanus* en el sur de Nuevo León se tomaron 9 variables que pudieran estar afectando la susceptibilidad de los rodales de *P. cembroides*. Las variables fueron: densidad de plantas epífitas (*Tillandsia usneoides*) (TU), diámetro (DAP), altura total (h), altura del tallo hasta la primera rama (h1), altura de la copa (h2), edad (t), área basal (g), pureza (p) e incremento radial de los últimos 10 años (i).

En todos los árboles considerados como atacados se comprobó la presencia de *D. mexicanus* mediante la colecta de adultos, pupas o larvas. El promedio de árboles infestados en los sitios evaluados ($n= 120$) fue de 43%, 28 sitios no presentaron infestación, 22 presentaron infestación del 100%, los 70 restantes tuvieron valores de infestación entre el 10 y el 90% (Tabla 1).

Porcentaje de infestación	No. de sitios	Porcentaje
0	28	23.33
1-24	21	17.5
25-49	17	14.16
50-74	18	15.00
75-99	14	11.67
100	22	18.34
Total	120	100

Tabla 1. Porcentaje de infestación por *D. mexicanus* en los sitios evaluados en bosques de *P. cembroides* del municipio de Aramberri, N.L.

Correlación de las variables con la infestación por D. mexicanus

La densidad de epífitas, particularmente de *Tillandsia usneoides* y el área basal tuvieron una buena correlación positiva con la infestación, mientras la altura de copa y el incremento mostraron una relación negativa estrecha con la presencia de *D. mexicanus*. El diámetro, la altura total, la altura a la primera rama, la edad y la pureza permanecieron sin correlación con el porcentaje de infestación (Tabla 2).

	TU	DAP	h1	h2	h	t	g	p	i
TU	1								
DAP	-0.2218	1							
h1	0.0174	0.6699	1						
h2	-0.6546	0.4351	0.1455	1					
h	-0.4758	0.7687	0.5617	0.7968	1				
t	-0.0114	0.6761	0.5848	-0.2199	0.3545	1			
g	0.1223	0.2544	0.5519	-0.3324	0.0337	0.4965	1		
p	-0.1544	0.4483	0.3060	0.1789	0.3432	0.2386	0.3675	1	
i	-0.5979	0.1003	-0.1816	0.7988	0.4585	-0.6712	-0.3365	0.0426	1
DM	0.5347	0.0239	0.3876	-0.6876	-0.3337	0.5476	0.5663	0.0439	-0.6589

Tabla 2. Coeficiente de correlación (r) para las variables dasométricas y la infestación por *D. mexicanus* en bosques de *Pinus cembroides* del sur de Nuevo León.

TU = infestación por *T. usneoides*; DAP= Diámetro a la altura de pecho; h1= Altura hasta la primera rama; h2 = Altura de la copa; h = Altura; t = tiempo; g= área basal; p= pureza del rodal; i= incremento radial de los últimos 10 años

En el caso de los bosques de Aramberri, las mayores infestaciones de *Tillandsia usneoides* se encuentran en rodales cuya altura de copa es menor ($r = -0.6546$). La presencia de altas densidades de plantas epífitas está asociada con la temperatura del aire y la intensidad de la luz, que varían dependiendo de la estructura de los rodales (Freiberg y Freiberg, 2000; Gradstein *et al.*, 2003; Krömer y Gradstein, 2003; Cardelus y Chazdon, 2005). Con los resultados obtenidos en el presente estudio no es posible discernir entre las variables que sólo reflejan la mala salud del ecosistema y las causantes del deterioro, ya que las copas pequeñas pueden ser preferidas por *T. usneoides*, pero también pueden ser el resultado de la interferencia de esta epífita con el proceso de fotosíntesis de *P. cembroides*, con lo que se provocaría un efecto de debilidad y escaso crecimiento en los árboles infestados, aumentando la probabilidad de ataque a los árboles con mayor infestación.

Comparación de los sitios afectados y no afectados por D. mexicanus

La densidad de *T. usneoides*, el área basal, la altura de copa y el incremento en los últimos diez años estuvieron altamente correlacionadas con el porcentaje de infestación por *D. mexicanus* (Tabla 1), estas variables fueron utilizadas para comparar 28 sitios infestados (100%) por *D. mexicanus* con 22 sitios cercanos no infestados.

La altura de la copa y el incremento radial de los últimos diez años fueron menores en los sitios afectados ($P = 0.0181$ y $P= 0364$) mientras que el área basal y la densidad de *T. usneoides* no fueron diferentes en ninguno de los sitios ($P= 0.1825$ y $P=0.0987$) (Figura 10).

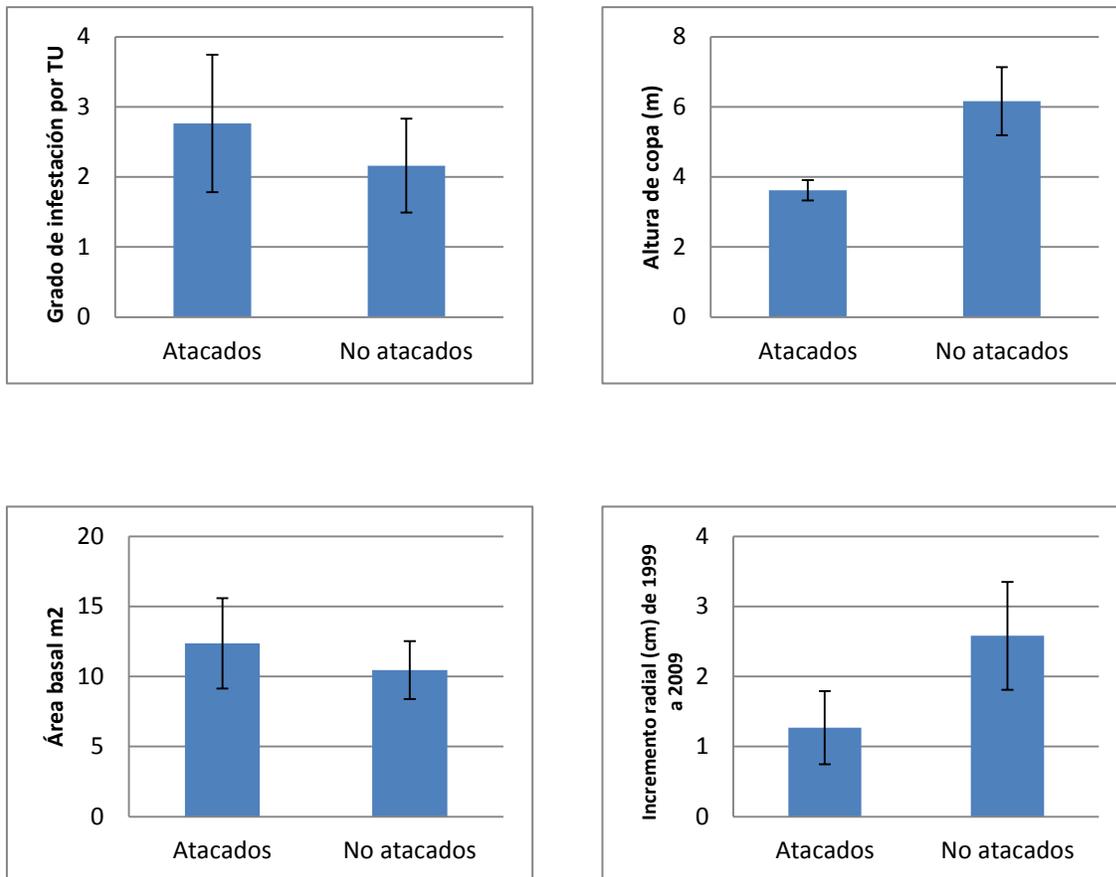


Figura 10. Características de los rodales de *P. cembroides* del sur de Nuevo León atacados y no atacados por *D. mexicanus*.

A pesar de que la densidad de *T. usneoides* y el área basal mostraron buena correlación con el porcentaje de infestación ($r = 0.5347$ y $r= 0.5663$) no pudieron diferenciar entre los sitios atacados de los no atacados por *D. mexicanus*. Esto podría deberse a que los sitios no atacados podrían ser susceptibles al ataque, sin embargo, en el momento de la evaluación aún no ocurría el ataque.

La altura de copa fue la variable que mayor relación tuvo con el porcentaje de ataque de *D. mexicanus*; también resultó efectiva en la diferenciación de los sitios atacados de los no atacados. Los rodales con copas más altas tienen también los mayores incrementos ($r = 0.7988$), esto puede deberse a que el tamaño de la copa está directamente relacionado con la capacidad fotosintética del árbol, lo que le daría mayor capacidad para crecer. Además, la densidad y el tamaño de copa tienen efecto sobre los mecanismos de defensa y la condición fisiológica de los árboles (Goodsman *et al.*, 2010) por lo que resulta ser una variable excelente para inferir la salud y el vigor de los árboles (Emmingham *et al.*, 2007; Horton *et al.*, 2011; Stone *et al.*, 2010). Así, los árboles con copas pequeñas serían árboles más débiles, más estresados y como consecuencia más vulnerables al ataque por descortezadores (Kane y Kolb, 2010; Berryman, 1973), lo cual explica el que en este estudio se encontraran mayores porcentajes de ataque de *D. mexicanus* en rodales cuyas copas de los árboles fueron pequeñas, comparado con rodales con árboles de copas altas en los que el porcentaje de ataque fue menor (Figura 11).



Figura 11. Los rodales con *P. cembroides* de copa pequeña tuvieron mayores porcentajes de ataque por *D. mexicanus* en Aramberri, N.L.

Se encontró asociación entre la altura de la copa y el incremento en los últimos diez años ($r = 0.7988$), ambas variables mostraron un coeficiente de correlación alto con el porcentaje de infestación por *D. mexicanus* ($r = -0.6876$ y $r = -0.6589$). Sin embargo, a diferencia del incremento, la altura de la copa es una variable más fácil de medir en campo y permite inferir la susceptibilidad de los árboles al ataque de *D. mexicanus* como un efecto de la pérdida de vigor. Con esta variable se construyó un modelo de regresión utilizando la ecuación: $Y = A + \frac{B}{X}$

Donde:

$Y =$ porcentaje de infestación esperado

$A = -81.67$

$B = 556.56$

$X =$ Altura de la copa

El coeficiente de correlación es alto ($r = 0.8160$) por lo que se asume un buen ajuste de la curva (Figura 12).

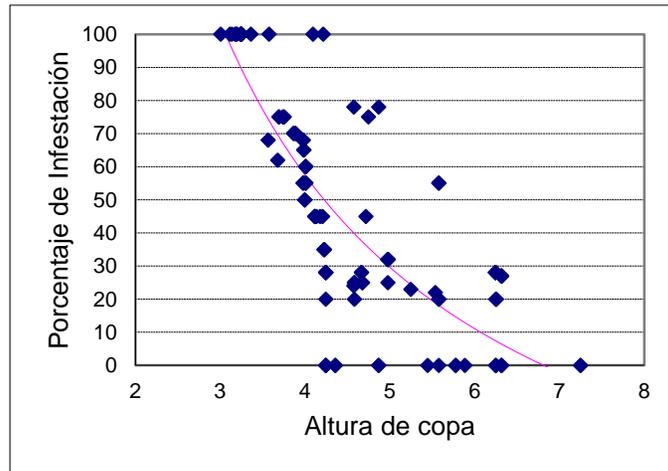


Figura 12. Dispersión de los datos de altura de copa y porcentaje de infestación por *D. mexicanus* en bosques de *P. cembroides* en Aramberri, N.L.

Implicaciones en manejo forestal

Las interacciones entre las diversas variables dasométricas evaluadas en este estudio tienen una fuerte influencia sobre el porcentaje de árboles infestados por *D. mexicanus*. Con los elementos evaluados en este estudio no es posible discernir entre las causantes del deterioro y los efectos del mismo. Sin embargo, existen elementos para sugerir que las prácticas silvícolas tales como los aclareos pueden tener efectos positivos sobre el tamaño de la copa de los árboles y por consiguiente mejorar el vigor y el flujo de resina como mecanismo de defensa (Feeney *et al.*, 1998).

Bajo un escenario de cambio climático se espera que para el año 2030 las especies de coníferas deberán plantarse hasta 300 m más arriba de su distribución natural, con el fin de que las poblaciones estén adaptadas a las condiciones climáticas de ese año (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros, 2004), debido a que los árboles no podrán migrar, de manera natural, a altitudes mayores antes de que ocurra el cambio climático (Neilson *et al.*, 2005), se espera que los insectos se conviertan en agentes de selección, eliminando los árboles que se encuentren bajo condiciones de estrés, lo cual podría ser el caso de *D. mexicanus* sobre *P. cembroides* en Aramberri, N.L.. Bajo este contexto, será necesario adaptar las actividades de manejo a las condiciones de estrés a las que se someterán los bosques. Debido a que se encontró que los bosques con área basal superior a 10m² tuvieron mayores porcentajes de ataque se recomienda realizar aclareos para disminuir la competencia, logrando así una mejor distribución de agua, nutrientes, espacio y luz; además se mejoraría la proporción tallo/copa, se aumentarían las tasas de fotosíntesis, se obtendrían mayores incrementos y se mejoraría el vigor de los árboles (Horton *et al.*, 2011) disminuyendo así el riesgo de ataque de insectos descortezadores.

CONCLUSIONES

Los rodales de *P. cembroides* con mayor porcentaje de ataque por *D. mexicanus* tuvieron menores incrementos y copas más pequeñas que los árboles no infestados por *D. mexicanus*.

El área basal y la presencia de *Tillandsia usneoides* son variables que están relacionadas con el ataque, pero por sí mismas no pueden discriminar entre sitios de *P. cembroides* atacados de los no atacados por *D. mexicanus*, posiblemente por la interacción de otras variables como el tamaño de las copas o el incremento, que pueden ser variables que representan más fielmente el vigor del árbol.

La edad, el diámetro, la altura del tallo y la altura total del árbol no tuvieron correlación con el porcentaje de infestación de *D. mexicanus* en *P. cembroides*.

Existe una correlación alta entre la presencia de *Tillandsia usneoides* y el incremento en los últimos 10 años, por lo que la presencia de esta epífita podría estar interfiriendo en el proceso de fotosíntesis y como consecuencia disminuir el crecimiento de los árboles aumentar la susceptibilidad de los rodales al ataque de *D. mexicanus*.

De acuerdo con las predicciones de cambio climático, se espera que ocurran alteraciones en la intensidad y frecuencia de disturbios, los cuales afectaran la estructura y función de los rodales, por lo que es necesario conocer su influencia con el fin de mitigar su efecto sobre los ecosistemas, por lo que se hace necesario adaptar las actividades de manejo de los bosques, se recomienda disminuir el área basal de los bosques de *P. cembroides* en el municipio de Aramberri a menos de 10 m², con lo que se mejoraría el tamaño de la copa de los árboles, se obtendrían mayores incrementos y se mejoraría el vigor de los árboles, disminuyendo así el riesgo de ataque de insectos descortezadores. Esto podría lograrse implementando prácticas silvícolas tales como los aclareos.

LITERATURA CITADA

- Berryman, A.A. 1973. Population dynamics of the fir engraver, *Scolytus ventralis* (Coleoptera:Scolytidae). Analysis of population behavior and survival from 1964 to 1971. *Can Entomol.*, 105:1465-1488
- Cardelús, C.L. y Chazdon, R.L. (2005) Inner-crown microenvironments of two emergent tree species in a lowland wet forest. *Biotropica*, 37: 238–244.
- Cibrián T.D., T. Méndez, R. Campos, H. O. Yates III y L. J. Flores. 1995. Insectos Forestales de México / Forest Insects of Mexico. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 453 p.
- Coulson, R., R.M. Feldman, H. Sharpe, P. Pulley, T.L. Wagner, T.L. Payne. 1989. An overview of the TAMBEETLE model of *Dendroctonus frontalis* population dynamics. *Holarctic Ecology*, 12: 445-450.
- Edmonds, R., J.K. Agee, R.I. Gara. 2005. Forest Health and Protection. EUA. America Waveland Press, Inc. 648 pp.
- Emmingham, W., R. Fletcher, S. Fitzgerald, and M. Bennett. 2007. Comparing tree and stand volume growth response to low and crown thinning in young natural Douglas-fir stands. *West. J. Appl. For.*, 22(2): 124-133.
- Evangelista, P.H., S. Kumar, T.J. Stohlgren, N. E. Young. 2011. Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US. *Forest Ecology and Management*, 262: 307-316.
- Freiberg, M. y E. Freiberg, 2000. Epiphyte diversity and biomass in the canopy of lowland and montane forests in Ecuador. *Journal of Tropical Ecology*. *Journal of Tropical Ecology*, 16(5): 673-688.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM. 146 p.
- Gaylord, M., K. Williams, W. Hofstetter, D. Mcmillin, E. Degomez, and R. Wagner. 2008. Influence of Temperature on Spring Flight Initiation for Southwestern Ponderosa Pine Bark Beetles (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) *Environmental Entomology*, 37(1): 57-69.
- Gaylord, M., E. Kolb, F. Wallin, R. Wagner. 2006. Seasonality and lure preference of bark beetles (Curculionidae:Scolitinae) and selected non target insects by verbenona. *Environmental Entomology*, 30:837-841.

- Goodsmann, W., V. Lieffers, and S. Landhäusser. 2010. Fertilization of lodgepole pine trees increased diameter growth but reduced root carbohydrate concentrations. *Forest Ecology and Management*, 260(10): 1914-1920.
- Grandstein, S.R, E.R. Drehwald, and H. Schneider. 2003. A phylogenetic analysis of the genera of Lejeuneaceae (Hepaticae). *Bot. J. Linn Soc.*, 143: 391-410.
- Hard, J. 1987. Vulnerability of white spruce with slowly expanding lower boles on dry, cold sites to early seasonal attack by spruce beetles in south central Alaska. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(5): 428-435.
- Holsten, E.H. 1984. Factors of susceptibility of White spruce to attack on white spruce in Alaska. *J. Entomol. Soc. B.C.*, 81:39-45.
- Horton, B.M., D.C. Close, T.J. Wardlaw, and N.J. Davidson. 2011. Crown condition assessment: An accurate, precise and efficient method with broad applicability to *Eucalyptus*. *Austral Ecology*, 39(6): 709-721.
- INEGI. (1982). Carta topográfica. México, INEGI.
- Kane, J.M. and T.E. Kolb. 2007. Importance of resin ducts in reducing ponderosa pine mortality from bark beetle attack. *Oecologia*, 164(3): 601-609.
- Krömer, T., M. Kessler, and R. Gradstein. 2007. Vertical stratification of vascular epiphytes in submontane and montane forest of the Bolivian Andes: the importance of the understory. *Plant Ecology*, 189(2): 261-278.
- Matsuoka, S.M., C.M. Handel, and D.R. Ruthrauff. 2001. Densities of breeding birds and changes in vegetation in Alaskan boreal forest following a massive disturbance by spruce beetles. *Can. J. Zool.*, 79:1678-1690.
- Raffa, K.F. 1988. The mountain pine beetle in western North America. pp. 505-530. *In: A. A. Barrymann (ed.). Dynamics of forest insect populations: patterns, causes, implications.* Plenum Press, N.Y.
- Raffa, K.F. and A.A. Berryman. 1987. Interacting selective pressures in conifer-bark beetles systems: A basis for reciprocal adaptations? *Am. Nat.*, 129(2): 234-262.
- Raffa, K.F., and A.A. Berryman. 1983. Physiological aspects of lodgepole pine wound responses to a fungal symbiont of the mountain pine beetle. *Can. Entomol.*, 115: 723-734.
- Raffa, K.F., H. Aukema, J. Bentz, L. Carroll, A. Hicke, G. Turner, and H. Romme. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience*, 58: 501-

517.

- Safranyik, L. and A.L. Carroll. 2006. The biology and epidemiology of the mountain pine beetle in lodgepole pine forests. Pp. 3–66. *In*: L. Safranyik and B. Wilson (eds.). *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Its Biology, Management and Impacts on Lodgepole Pine Victoria (Canada)*. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Natural Resources Canada.
- SEMARNAT. 2010. Superficies afectadas por plagas y enfermedades http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet0ae6.html.
- Van Hees, W.W. and E.H. Holsten. 1994. An evaluation of selected spruce bark beetle infestation dynamics using point in time extensive forest inventory data. Kenai Peninsula, Alaska. *Can. J. For. Res.*, 24: 246-251.
- Westfall, J. and T. Ebata. 2009. Summary of forest health conditions in British Columbia. British Columbia Ministry of Forests and Range. Pest Management Report No. 15. 76 p.
- Williams, D., A. Liebhold. 2002. Climate Change and outbreak ranges of two Northamerican beetles. *Agricultural and Agroforestry Entomology*, 4: 87-99.
- 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.

CAPITULO III

Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera:Curculionidae:Scolytinae) atraídos a trampas Lindgren en el noreste de México y su correlación con variables climáticas

Gerardo Cuéllar-Rodríguez¹, Armando Equihua-Martínez², Edith G. Estrada-Venegas², Tulio Méndez-Montiel³, Jaime Villa-Castillo⁴, Jesús Romero-Nápoles²

Resumen

Se analizaron los efectos de la temperatura y la precipitación sobre la captura de *Dendroctonus mexicanus* utilizando 24 trampas Lindgren multiembudo (PheroTech. Delta B.C., Canadá), cebadas con frontalina + aguarrás y seis trampas sin atrayentes. Las colectas se realizaron mensualmente en seis localidades del sur de Nuevo León con *Pinus cembroides* de noviembre de 2008 a abril de 2010. Hubo más insectos capturados ($t=3.72$, $P=0.01$) en las trampas con atrayente (33.76 ± 21.85) que en las trampas sin atrayente (0.54 ± 0.23). En la localidad Hoya de la Fábrica se capturaron más insectos que en las otras cinco localidades ($\alpha =0.05$). Se encontraron diferencias en las fechas de colecta (ANOVA: $F=6.85$, $g.l.= 17$, $P= 0.002$). Las mayores capturas se presentaron en noviembre de 2008 (56.22 ± 3.28), mientras las menores se registraron en septiembre de 2009 (9 ± 3.21). Se encontró correlación entre el número de insectos con la precipitación pluvial ($r=-0.58$, $P=0.005$), el resto de las variables climáticas no mostraron correlación (temperatura mínima: $r= -0.38$, $P=0.57$; temperatura media: $r=-0.40$, $P=0.05$; temperatura máxima: $r=0.20$, $P=0.21$). La correlación con una relación entre la precipitación y la temperatura fue más robusta ($r=0.62$, $P=0.003$) que la encontrada con la precipitación pluvial.

Palabras Clave: Dinámica poblacional, Trampas Lindgren, Clima, Frontalina

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, ² Colegio de Posgraduados, ³ Universidad Autónoma de Chapingo, ⁴ Comisión Nacional Forestal

Abstract

The effects of temperature and precipitation on the number of *Dendroctonus mexicanus* captured in 24 Lindgren traps (PheroTech. Delta B.C., Canada) baited with frontalin + turpentine and six traps without attractants were analyzed. The insects were collected monthly at six localities in southern Nuevo Leon, Mexico with *Pinus cembroides*, from November 2008 to April 2010. There were more insects caught in traps with attractant (33.76 ± 21.85) than in the traps without attractant (0.54 ± 0.23) ($t= 3.72$, $P = 0.01$). In "Hoya de la Fabrica" there were captured more insects than in the other five localities ($\alpha = 0.05$). There were differences in the number of insects between collection dates (ANOVA: $F = 6.85$, $df= 17$, $P = 0.002$). The highest number of insects occurred in November 2008 (56.22 ± 3.28) and the lowest in September 2009 (9 ± 3.21). A correlation between the number of insects with rainfall was found ($r = -0.58$, $P = 0.005$) while other climate variables showed no correlation (minimum temperature: $r = -0.38$, $P = 0.57$, mean temperature: $r = -0.40$, $P = 0.05$, maximum temperature: $r = 0.20$, $P = 0.21$). The correlation with the ratio obtained by the precipitation and the temperature was stronger ($r = 0.62$, $P = 0.003$) than that found with rainfall.

Key Words: Population Dynamics, Lindgren Traps, Weather, Frontalin.

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, ² Colegio de Posgraduados, ³ Universidad Autónoma de Chapingo, ⁴ Comisión Nacional Forestal

INTRODUCCIÓN

Los escarabajos descortezadores, principalmente de los géneros *Dendroctonus*, *Ips* y *Scolytus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), causan graves pérdidas a la industria forestal en Norteamérica debido a sus incrementos en su densidad poblacional (Berryman, 1982; Wood, 1982). Un ejemplo de estos descortezadores es *Dendroctonus mexicanus*, el cual se distribuye del sur de los Estados Unidos (Moser *et al.*, 2005) hasta la Sierra Madre del Sur (Chiapas y Oaxaca) además de algunas localidades de Guatemala (Salinas-Moreno *et al.*, 2004). Se estima que en Nuevo León se han afectado más de cinco mil hectáreas de bosques de coníferas por insectos descortezadores entre 2008 y 2009 (SEMARNAT, 2010). El ataque de insectos descortezadores en el municipio de Aramberri, en el sur del estado de Nuevo León, pudiera poner en riesgo la escasa industria forestal de la zona y los servicios ambientales proporcionados por los bosques de *Pinus cembroides*, los cuales fueron clasificados en el Inventario Nacional Forestal de 2010 como áreas de alto riesgo de ataque por *D. mexicanus*.

Diversos autores coinciden en que los escarabajos descortezadores ocurren en forma natural en los bosques de coníferas, siendo necesarios para el funcionamiento del ecosistema (Wood, 1982). Sin embargo, en algunas ocasiones los insectos descortezadores pueden aumentar su densidad como resultado de un inadecuado manejo o bien de factores abióticos de estrés, y elevar así sus poblaciones a niveles que alteran los procesos ecológicos o los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas (Malmström y Raffa, 2000; Kurz *et al.*, 2008; McFarlane y Witson, 2008). Las causas del incremento poblacional de los descortezadores han sido motivo de diversas investigaciones en las últimas décadas (Evangelista *et al.*, 2011; Westfall y Ebata, 2009; Raffa *et al.*, 2008; Edmonds *et al.*, 2005; Williams y Liebhold, 2002; Coulson *et al.*, 1989;). Se ha explicado este fenómeno mediante hipótesis relacionadas con factores intrínsecos (factores densodependientes) y extrínsecos (factores abióticos) a la población

(Safranyik y Lindton, 1983; Turchin *et al.*, 1999; Turchin *et al.*, 2003; Lombardero *et al.*, 2000; Trzcinski y Reid, 2009). Debido a su incidencia sobre los procesos bioquímicos en organismos ectotérmicos como los insectos, la temperatura es un factor determinante en la dinámica poblacional de los escarabajos descortezadores (Wagner *et al.*, 1984). Se ha encontrado que las tasas de crecimiento de las poblaciones de descortezadores se aceleraron cuando aumentó el número de días con temperaturas superiores a 25°C y un crecimiento más lento cuando aumentó el número de días con temperaturas inferiores a los -20°C en otoño (Trzcinski y Reid, 2009). Asimismo, Logan y Powell (2001) explican el aumento poblacional de *Dendroctonus ponderosa* en el oeste de Canadá por la ausencia de temperaturas frías durante el invierno en las últimas décadas, lo que ha provocado una disminución de la mortalidad invernal de los insectos. Resultados parecidos son reportados por Hebertson y Jenkins, (2008) para poblaciones de *D. rufipennis* en Utah y Colorado.

Por otro lado, debido a que la temperatura puede acortar los períodos más susceptibles de los insectos a los depredadores, parásitos o patógenos en la vida del insecto (huevo y larva) se aumentan las probabilidades de sobrevivencia y por lo tanto se incrementaría su abundancia (Rouault *et al.*, 2006).

Otros autores han obtenido buenos resultados en la predicción de la dinámica poblacional de otros insectos utilizando una relación entre la temperatura y la precipitación (Bairstow *et al.*, 2009; Chefaoui y Lobo, 2007; Stebaeva, 2003). Considerando los efectos negativos de las poblaciones epidémicas de escarabajos descortezadores se han implementado diversas técnicas para reducir sus impactos en los bosques de coníferas, entre las que se encuentran los aclareos (Hindmarch y Reid, 2001), el uso de insecticidas (McCullough *et al.*, 1998) y el uso de semioquímicos para modificar el comportamiento (Ross y Daterman, 1995). En México, los saneamientos se realizan de acuerdo con las tácticas autorizadas en la NOM-019-SEMARNAT-2006. Aquí se plantea conocer la fluctuación poblacional de *D. mexicanus* y los efectos de la precipitación y la temperatura sobre las

colectas realizadas con trampas Lindgren multiembudo en bosques del municipio de Aramberri, N.L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área

El estudio se realizó en el municipio de Aramberri, al sur del estado de Nuevo León, México; el municipio cuenta con una superficie total de 2839.5 km², de los cuales casi el 80% está dedicado a la agricultura extensiva, la ganadería y las áreas urbanas; el resto, (556.89 km²), corresponde a pastizales naturales, matorral xerófilo, bosques de pino-encino y bosques de pino (INEGI, 2009). Los bosques se localizan en la subprovincia de la Gran Sierra Plegada entre las coordenadas: 1) 24°15'00", 99°54'30", 2) 24°15'00", 99°48'30" 3) 24°30'00", 99°48'30" y 4) 24°30'00" 99°54'22" dentro de la Sierra Madre Oriental en la que dominan las capas plegadas de roca caliza y lutitas. Los suelos son de tipo Litosol y Regosol con textura media. La topografía es muy irregular con pendientes variables entre el 10 y el 80%. La elevación oscila entre 1800 y 2460 msnm (INEGI, 1982). En el área se presentan climas templados de tipo sub-húmedos con lluvias en verano C (W1) (Köppen modificado por García, 1973). El tipo de vegetación de la zona es bosque templado, con un estrato arbóreo que alcanza 20 m de altura, mostrando un estrato medio poco conspicuo o ausente. Las especies arbóreas dominantes son: *Pinus cembroides* (Zucc.), *Quercus* spp. y *Pinus pseudostrobus* (Lindl.). Las arbustos dominantes son: *Yucca samandoca* (McKelvy), *Rhus virens* (Lindh.), *Goniatia hypoleuca* (de Candolle), *Juniperus monosperma* (Engelm.), *Sophora secundiflora* (Ortega), *Arctostaphylos pungens* (Kunth) y *Arbutus xalapensis* (HBK); mientras el estrato bajo está compuesto por gramíneas, herbáceas y especies rosetófilas como *Agave lechuguilla* (Torr.), *Agave striata* (Zucc.) y *Dasyilirion* sp. (Rzedowski, 1978).

Monitoreo de insectos descortezadores

Para conocer la fluctuación poblacional de adultos de *Dendroctonus mexicanus* en bosques de *P. cembroides* en el municipio de Aramberri, N.L., se utilizaron 30 trampas Lindgren® de 12 unidades. Las trampas fueron distribuidas en seis localidades: El Huérfano (Hue) (UTM:410995, 2682940; Altitud: 2140 msnm), La Angostura (Ang) (UTM: 412909, 2689549; Altitud: 2220 msnm), La Antena (Ant) (UTM:407578, 2688863; Altitud: 2040 msnm), Tejocote (Tej) (UTM: 413950, 2683115; Altitud: 2150 msnm), San Manuel (SM) (UTM:406200, 2682810; Altitud: 2130 msnm) y Hoya de la Fábrica (HF) (UTM:412285, 2685383; 2290 msnm). Todas las localidades presentaron la característica de ser bosques homogéneos de *P. cembroides* y de encontrarse en altitudes similares, además contaban con brotes activos de *D. mexicanus* (Figura 13).



Figura 13. Panorámica del área de estudio, en el municipio de Aramberri, N.L.

Las localidades tuvieron entre 3-6 km de distancia entre ellas, en cada una se colocaron cuatro trampas cebadas con frontalina (PheroTech Delta, BC, Canadá) + aguarrás (genérico) como atrayente y colocadas en línea, con una distancia aproximada de 100 m entre ellas (Figura 14). Una quinta trampa por localidad se utilizó como testigo, a la cual no se agregó ningún atrayente; estas trampas se

colocaron sobre árboles no hospederos al azar y tuvieron la finalidad de probar la eficiencia de los atrayentes. Las localidades seleccionadas fueron en las que el Comité de Fomento y Sanidad del Estado de Nuevo León había realizado actividades de saneamiento de acuerdo con la NOM-SEMARNAT-019-2006. Los saneamientos fueron realizados entre los meses de junio y octubre de 2008. Las recolectas se realizaron en forma mensual desde noviembre de 2008 hasta abril de 2010 en tres localidades (Hue, HF y SM) y de enero 2009 a abril de 2010 en las otras tres (Ang, Ant, Tej). Los atrayentes fueron sustituidos en forma mensual con tolerancia de ± 2 días. Los insectos recolectados fueron separados, contados e identificados mensualmente.



Figura 14. Trampa Lindgren® colocada para el monitoreo de *D. mexicanus* en Aramberri, N.L.

Datos meteorológicos

Los datos de temperatura y precipitación fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua de las estaciones San Juanito de Reséndiz y Aramberri (ambas dentro del área de estudio). Los datos de las estaciones climatológicas de 1979 a 2009 fueron promediados para hacer los análisis en este estudio. En el área de estudio, la precipitación media anual fue de 525 mm con la mayor incidencia en septiembre (110 mm) y menor en noviembre (12 mm). La temperatura media anual fue de 14.9 °C. El periodo más cálido se presentó en mayo, con una temperatura media de 18.3 °C y una temperatura máxima de 38 °C. El mes más frío fue enero con temperatura mínima media de 10.8 °C y mínima promedio de hasta -10°C.

Análisis de datos

Se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov ($\alpha=0.05$). Para comparar las capturas entre las trampas cebadas (frontalina + aguarrás) contra la trampa testigo (sin atrayentes) se usó la prueba de t de student. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza que permitió medir la diferencia numérica entre la captura de insectos entre las localidades así como entre las fechas de colecta. Las diferencias estadísticas entre las medias de las fuentes de variación se compararon mediante la prueba de Tukey ($\alpha =0.05$). Se realizó una prueba de correlación de Pearson entre cada una de las variables climáticas (precipitación, temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima) ocurridas durante el período con el número de insectos capturados. Una vez encontrada la correlación más alta se realizó una regresión para encontrar una ecuación que describa el proceso de mejor ajuste para las variables climáticas con el número de insectos.

Considerando la gran importancia que tienen las variables climáticas, sobre la densidad poblacional y la actividad de las poblaciones de insectos se utilizó una nueva variable obtenida mediante la división de la precipitación media mensual entre la temperatura media mensual, haciendo así una variable más robusta.

RESULTADOS

Las capturas fueron más altas y significativas en las trampas con atrayente (33.76 ± 21.85) que en las trampas sin atrayente (0.54 ± 0.23) ($t=3.72$, $P=0.01$) (Figura 15).

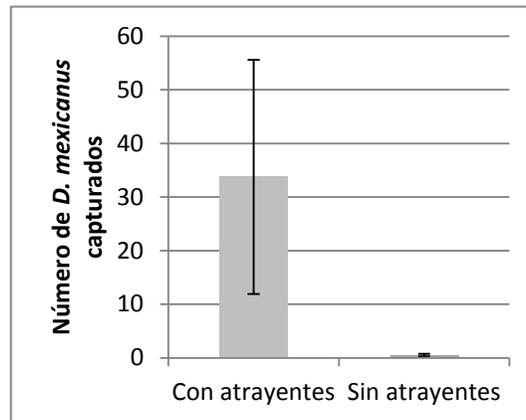


Figura 15. Número de insectos capturados con frontalina + aguarrás y sin atrayentes en trampas Lindgren ubicadas en Aramberri, N.L.

En la localidad HF se capturaron más insectos que en el resto de las localidades (Hue, Ang, Ant, SM, Tej). (ANOVA: $F= 7.93$. $P \leq 0.05$) (Figura 16).

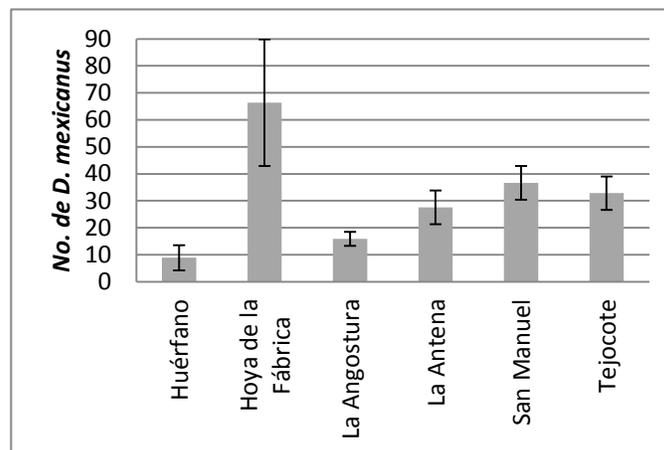


Figura 16. Número de *Dendroctonus mexicanus* adultos capturados de noviembre de 2008 a abril de 2010 en diferentes localidades del municipio de Aramberri, N.L.

En la localidad la HF, la mayor cantidad de insectos ocurrió en el mes de noviembre de 2008 (419 ± 192.8), continuando una disminución paulatina hasta el mes de mayo de 2009 en el que se presentó la densidad más baja (6.5 ± 6.17). En noviembre de 2009 aumentó ligeramente (76 ± 4.81) y disminuyó en diciembre de 2009 (18.5 ± 2.72); con un incremento en los meses de febrero (63.5 ± 27.19) y marzo (70.75 ± 13.95) de 2010 (Fig. 17). El análisis de varianza ($F=6.85$, $P=0.002$) muestra que existen diferencias entre las fechas de colecta en esta localidad. Es posible que las colectas iniciales fueran altas debido a que los saneamientos se realizaron en el mes de octubre de 2008, por lo que las poblaciones aun eran altas.

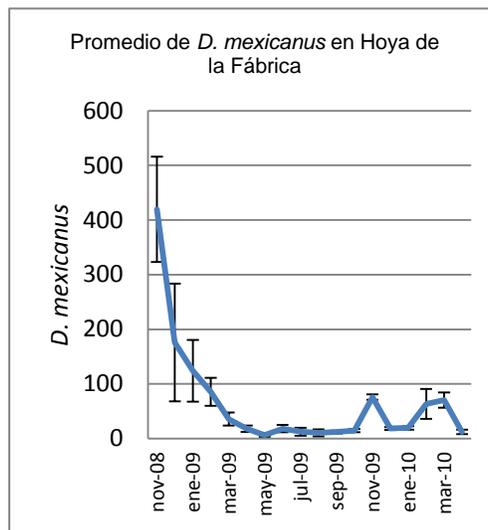


Figura 17. Captura promedio de adultos de *D. mexicanus* capturados en Hoya de la Fábrica de noviembre de 2008 a abril de 2010.

En el resto de las localidades (HUE, ANG, ANT, SM y TEJ) el análisis de varianza muestra diferencias en el número de insectos capturados por fecha ($F=1.83$, $P=0.03$). Las densidades promedio más altas se presentaron en el mes de noviembre de 2008 (56.22 ± 3.28), disminuyendo en forma gradual hasta el mes de septiembre de 2009 (9 ± 3.21) para tener de nuevo un ascenso en diciembre de

2009 (37.5 ± 10.66). (Fig. 18). Por lo que se puede inferir que las épocas de vuelo se presentan en invierno.

Los datos obtenidos de dos estaciones meteorológicas cercanas (San Juanito de Reséndiz y Aramberri) fueron correlacionados con el número de insectos coleccionados. Los datos de Hoya de la Fábrica se analizaron por separado debido a las diferencias en el número de capturas (Tukey $P=0.05$).

No se encontró relación entre las variables climáticas y el número de insectos capturados en la localidad Hoya de la Fábrica (Precipitación: $r=-0.32$, $P=0.09$; Temperatura mínima: $r^2=27$, $P=0.13$; Temperatura media: $r=0.38$, $P=0.05$; Temperatura máxima: $r=-0.32$, $P=0.09$). Sin embargo, cuando se realizó la misma operación para los insectos capturados en las otras cinco localidades (HUE, ANG, ANT, SM y TEJ) se mejoró la correlación con la precipitación ($r=-0.58$, $P=0.005$), aunque el resto de las variables climáticas permanecieron sin correlación (temperatura mínima: $r= -0.38$, $P=0.57$; temperatura media: $r=-0.40$, $P=0.05$; temperatura máxima: $r=0.20$, $P=0.21$). La variable obtenida de la división de la precipitación media mensual entre la temperatura media mensual, mostró una correlación más alta que aquella que se obtuvo con la precipitación o la temperatura analizadas por separado ($r=0.62$, $P=0.003$).

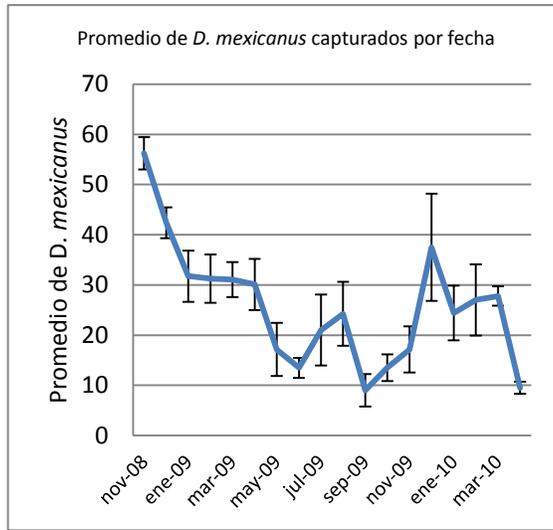


Figura 18. Cantidad de *D. mexicanus* coleccionados por fecha y por localidad de noviembre de 2008 a abril de 2010 en el municipio de Aramberri, N.L.

En la Figura 19, se presenta la fluctuación poblacional de las cinco localidades cuyas capturas no presentaron diferencias estadísticas (HUE, ANG, ANT, SM y TEJ). Con fines de ilustración, los valores promedio de los insectos capturados por fecha, la precipitación, la temperatura y la relación entre precipitación y temperatura fueron transformados a logaritmo natural para elaborar la Gráfica.

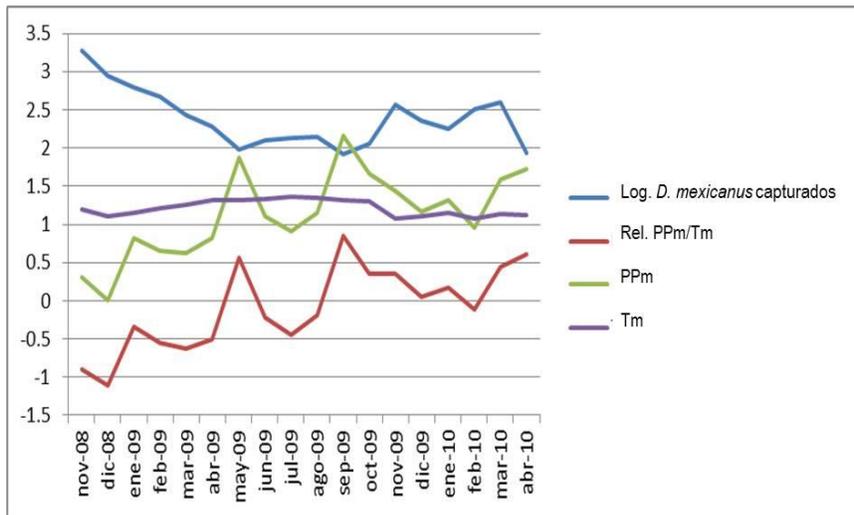


Figura 19. Representación entre las colectas de adultos de *D. mexicanus* la variables climáticas (precipitación media mensual, temperatura media mensual y relación entre precipitación y temperatura).

Considerando los valores de correlación obtenidos con la relación de la precipitación media/temperatura media se buscó la mejor ecuación de regresión, que pudiera explicar la relación entre los factores climáticos y el número de insectos (Fig. 20), encontrando que el número de insectos (Y) aumentará de manera hiperbólica a medida que la temperatura aumente y la precipitación disminuya (X), exacerbándose en los valores más bajos de esta relación. La ecuación que mejor explica esta relación ($r= 0.80$, $r^2 =0.6356$) es:

$$Y=1/(A+B*X)$$

Donde:

- Y = Número de insectos
- A = 0.007961
- B = 2.8737
- X = Relación precipitación media mensual/temperatura media mensual

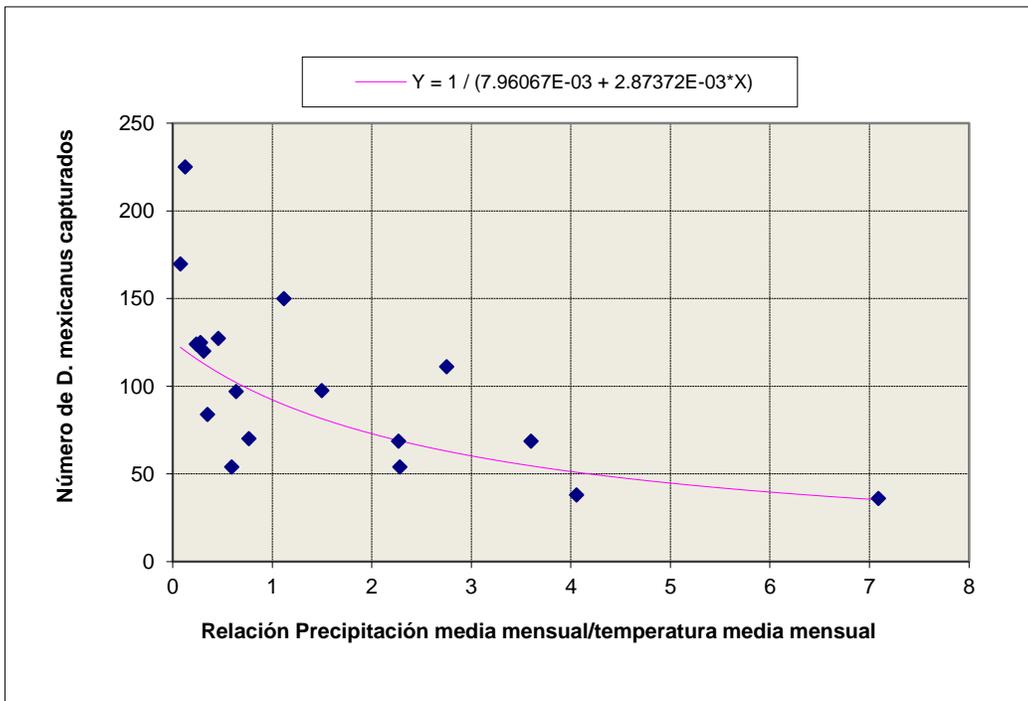


Figura 20. Ecuación de regresión: $Y=1/(A+B*X)$ para explicar la relación entre la presencia de *D. mexicanus* y las variables precipitación media mensual y temperatura en el municipio de Aramberri, N.L.

DISCUSIÓN

Se comprobó que la frontalina + aguarrás funcionaron como atrayente para capturar *Dendroctonus mexicanus*, coincidiendo con los resultados de Díaz-Núñez *et al.*, (2006). Cinco de las seis localidades estudiadas (ANG, ANT, HUE, TEJ y SM) presentaron valores estadísticos iguales en el número promedio de insectos capturados, solamente la localidad Hoya de la Fábrica tuvo promedios más altos que el resto de las localidades, principalmente en los meses de noviembre y diciembre de 2008; una explicación posible es que en esta localidad el saneamiento se realizó a finales del mes de octubre de 2008 por lo que la densidad poblacional de insectos aún era alta comparada con las otras localidades en las que el saneamiento se hizo en los meses de junio y julio de 2008. Esta localidad, a diferencia de las otras cinco, no mostró correlación con ninguna de las variables climáticas, posiblemente por la inestabilidad de la población al inicio del experimento.

El resto de las localidades (ANG, ANT, HUE, TEJ y SM) presentaron dos períodos con bajas capturas (abril a julio y septiembre a octubre de 2009). En el presente estudio las trampas cebadas con frontalina + aguarrás colectaron significativamente más individuos de *D. mexicanus* en los meses de invierno que en cualquier otro periodo, lo cual es coincidente con los reportes para el centro del estado de Nuevo León (Sánchez y Torres, 2007) y el sur de los Estados Unidos (Moser *et al.*, 2005). De manera contrastante, Sánchez y Torres (2007) reportan altas colectas de *D. mexicanus* durante los meses de abril y mayo.

Se ha documentado que la temperatura por sí misma tiene un fuerte impacto sobre la actividad de vuelo, el voltinismo, la reproducción y las asociaciones de los insectos descortezadores con otros organismos (Bentz *et al.*, 1991; Logan y Powell, 2001; Wagner *et al.*, 1984); sin embargo, en este estudio no se encontró una relación directa entre las capturas y la temperatura mínima, media o máxima mensual. Además de la temperatura, la humedad puede afectar las relaciones entre los descortezadores y sus hospedantes (Raffa, 2008), en bosques de *Pinus*

cembroides en el sur del estado de Nuevo León, se encontró una buena correlación con la precipitación.

Con el fin de obtener un mejor reflejo de las condiciones ambientales se obtuvo una variable que combina los efectos de la precipitación y de la temperatura (precipitación media mensual / temperatura media mensual), con lo cual se obtuvo un mejor reflejo de las condiciones ambientales, mejorando también la correlación con el número de insectos capturados en las trampas.

La tendencia general hacia la reducción del número de *D. mexicanus* capturados en trampas, conforme disminuye la precipitación y aumenta la temperatura, podría explicarse con dos hipótesis: a) Las condiciones ambientales de precipitación y temperatura afectan la actividad de vuelo de *D. mexicanus*, ó b) La feromona + aguarrás se volatilizan más fácilmente cuando las condiciones ambientales son cálidas y secas, con lo que se genera una mayor atracción de insectos hacia las trampas, mientras que en los períodos fríos y húmedos la feromona no alcanza niveles atractivos para los insectos.

La utilización de índices que combinan la precipitación y la temperatura ha dado buenos resultados en la predicción de la fluctuación poblacional o presencia de diversos insectos (Bairstow *et al.*, 2009; Chefaoui y Lobo, 2007; Stebaeva, 2003). Los valores bajos de esta relación, resultado de bajas precipitaciones y altas temperaturas, dieron lugar a un mayor número de *D. mexicanus* capturados; mientras que valores altos, resultado de altas precipitaciones y bajas temperaturas, provocaron un menor número de insectos registrados en las trampas. El uso de esta variable resultó ser un buen parámetro predictivo para construir un modelo de regresión que explica la dinámica de las capturas de *D. mexicanus* en Aramberri, N.L. Encontrando que a menor precipitación y mayor temperatura se pudieron coleccionar más insectos en las trampas.

Se ha pronosticado que el aumento en la temperatura provocará cambios en la distribución de los insectos y alterará las relaciones insecto-planta, además del aumento en el número de generaciones que un insecto puede tener por año

(Dukes, *et al.*, 2009). En este estudio se ha mostrado que la interacción de la temperatura con la precipitación tiene efectos sobre las capturas de *D. mexicanus* en trampas Lindgren; este hallazgo podría interpretarse como un indicador de que los cambios en la actividad de vuelo de *D. mexicanus* pueden ser afectados por la interacción de la precipitación y la temperatura por lo que es necesario considerar estos factores climáticos cuando se interpretan datos de monitoreo de descortezadores además de servir como parámetro comparativo para determinar cambios en los patrones de vuelo estacionales provocados por cambios en el clima.

CONCLUSIONES

Las trampas Lindgren con frontalina + aguarrás fueron efectivas en la captura de *D. mexicanus*, las mayores capturas se obtuvieron cuando las precipitaciones mensuales fueron bajas y las temperaturas medias mensuales fueron altas. No se encontró una relación directa de las capturas con la temperatura, por lo que se considera de importancia analizar la interacción de ambos factores cuando se interpretan datos de monitoreo. La precipitación y la temperatura podrían afectar la actividad de vuelo de *D. mexicanus*, ó bien afectar la liberación de los atrayentes.

Los resultados obtenidos son de gran importancia para la elaboración de escenarios de cambio climático; actualmente en la mayoría de los pronósticos sólo se considera la temperatura como parámetro de crecimiento poblacional, subestimando que la interacción de los factores ambientales puede tener efectos sobre la actividad de vuelo de estos insectos. Se revela la necesidad de considerar los factores climáticos cuando se interpretan datos de monitoreo con trampas multiembudo; además de ofrecer un modelo que podría ayudar a predecir los efectos del clima sobre la actividad de vuelo de *D. mexicanus*.

Estos resultados podrán dar la línea base para futuras investigaciones relacionadas con los cambios de distribución o cambios en los patrones de vuelo, los resultados serán la base para implementar actividades de control y medidas

preventivas que contribuyan a disminuir los efectos negativos de la degradación en este ecosistema.

LITERATURA CITADA

Bairstow, K., K.L. Clarke, M.A. Mcgeoch, and N.R. Andrew. 2010. Leaf miner and plant galler species richness on Acacia: relative importance of plant traits and climate. *Oecologia*, 163: 437-448.

Bentz, B.J., J.A. Logan, and G.D. Amman. 1991. Temperature dependent development of the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) and simulations of its phenology. *Canadian Entomologist*, 123: 1083-1094.

Berryman, A.A. 1982. Population dynamics of bark beetles. 320 p. *In*: J. B. Mitton y K. B. Sturgeon Bark (eds.). *Beetles in North American Conifers*. Austin, Texas: Univ. Texas.

Chefaoui, R. and J.M. Lobo. 2007. Assessing the Conservation Status of an Iberian Moth Using Pseudo-Absences. *Journal of Wildlife Management*, 71: 2507--2516

Coulson, R., R.M. Feldman, H. Sharpe, E. Pulley, L. Wagner, and L. Payne. 1989. An overview of the TAMBEETLE model of *Dendroctonus frontalis* population dynamics. *Holarctic Ecology*, 12: 445-450.

Dukes, J.S., J. Pontius, D. Orwig, J.R. Garnas, V.L. Rodgers, N. Brazee, B. Cooke, K.A. Theoharides, E.E. Stange, R. Harrington, J. Ehrenfeld, J. Gurevitch, M. Lerda, K. Stinson, R. Wick, and M. Ayres. 2009. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict? *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 231-248.

Edmonds, R., J. K. Agee, and R. I. Gara. 2005. *Forest Health and Protection*. EUA.

America Waveland Press, Inc. 648 p.

Evangelista, P. H., S. Kumar, T. J. Stohlgren, and N. E. Young. 2011. Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US. *Forest Ecology and Management*, 262: 307-316.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM.

Hebertson, E.G. and M.J. Jerkins. 2008. Climate factors associated with historic spruce beetle (Coleoptera: Curculionidae) outbreaks in Utah and Colorado. *Environmental Entomology*, 37(2): 281-292.

Hindmarch, T.D. and M.L. Reid. 2001. Thinning of mature lodgepole pine stands increases scolytid bark beetle abundance and diversity. *Canadian Journal of Forest Research*, 31: 1502 -1512.

INEGI, (2009). Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. México.

INEGI. (1982). Carta topográfica. México, INEGI.

Kurz, W., C. Dymond, G. Stinson, G. Rampley, E. Neilson, A. Carroll, T. Ebata, and L. Safranyik. 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452:987-990.

Lombardero, M., M. Ayres, B. Ayres, and J. Reeve. 2000. Cold tolerance of four species of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Environmental Entomology*, 29: 421-432.

Logan, J.A. and B.J. Bentz. 1999. Model analysis of mountain pine beetle seasonality. *Environmental Entomology*, 28: 924-934.

Malmstrom, C.M. and K.F. Raffa. 2000. Biotic disturbance agents in the boreal

- forest: considerations for vegetation change models. *Global Change Biol.*, 6: 35-48.
- Mclaughlin, J.F., J.J. Hellman, C.L. Boggs, and P.R. Ehrlich. 2002. The route to extinction: population dynamics of a threatened butterfly. *Oecologia*, 132: 538-548.
- Mcfarlane, B.L. and D.O. Witson. 2008. Perceptions of ecological risk associated with mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) infestations in Banff and Kootenay National Parks of Canada. *Risk Analysis*, 28: 203-212.
- Moser, J.C., B.A. Firzibbon, and K.D. Klepzig. 2005. The Mexican pine beetle, *Dendroctonus mexicanus*: first record in the United States and co-occurrence with the southern pine beetle *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera:Scolytidae or Curculionidae:Scolytinae) *Entomological News*, 116(4): 253-243.
- Raffa, K.F., H. Aukema, J. Bentz, L. Carroll, A. Hicke, G. Turner, and H. Romme. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience*, 58: 501-517.
- Ross, D.W. and G.E. Daterman. 1995. Response of *Dendroctonus pseudotsugae* (Coleoptera: Scolytidae) and *Thanasimus undatulus* (Coleoptera: Cleridae) to traps with different semiochemicals. *Journal of Economic Entomology*, 88: 106-111.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México* (12^a ed). México. Editorial Limusa. 432 p.
- Safranyik, L. and D.A. Linton. 1983. Brood production by three spp. of *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytidae) in bolts of host and non-host trees. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 80: 10-13.
- Salinas, M.Y., M.G. Mendoza, M.A. Barrios, R. Cisneros, J. Macías S. y G. Zúñiga.

2004. Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in México. *Journal of Biogeography*, 31: 1163-1177.
- Sánchez, M.G.L., M. Torres E., I. Vázquez C., E. González G. y R. Narváez F. 2007. Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Aguascalientes, México, INIFAP, CIRNOC., Campo Experimental Pabellón. Libro Técnico No. 4. 107 p.
- SEMARNAT. 2010. Superficies afectadas por plagas y enfermedades http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet0ae6.html.
- Stebaeva, S. 2003. Collembolan communities of the Ubsu-Nur Basin and adjacent mountains (Russia, Tuva). *Pedobiologia*, 47(4): 341-356.
- Trzcinski, M.K. and M.L. Reid. 2009. Intrinsic and extrinsic determinants of mountain pine beetle population growth. *Agricultural and Forest Entomology*, 11: 185-196.
- Turchin, P., A.D. Taylor, and J.D. Reeve. 1999. Dynamical Role of Predators in Population Cycles of a Forest Insect: An Experimental Test. *Science*, 285: 1068- 1070.
- Turchin, P. 2003. Complex population dynamics: a theoretical/empirical synthesis. Princeton: Princeton University Press. 456 p.
- Wagner, T.L., J.A. Gagne, P.J. Sharpe, and R.N. Coulson. 1984. A epidemiology of forest insects biophysical model of southern pine beetle *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) development. *Ecol. Model.*, 21: 125–147.
- Westfall, J. and T. Ebata. 2009. Summary of forest health conditions in British Columbia. British Columbia Ministry of Forests and Range. Pest Management Report No. 15. 76 p.

Williams D. and A. Liebhold. 2002. Climate Change and outbreak ranges of two Northamerican beetles. *Agricultural and Agroforestry Entomology*, 4: 87-99.

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.

CONCLUSIONES GENERALES

Distribución espacial

Las infestaciones de *Dendroctonus mexicanus* en el área de estudio se encuentran localizadas principalmente en las cúspides y partes altas de las laderas, estas zonas se caracterizan por tener bosques más densos que las partes bajas, por lo que es posible que el área basal tenga un papel importante en el inicio de la infestación. Además, debido a que la pendiente tiene un papel determinante en la cantidad de energía solar que llega al ecosistema podrían esperarse cambios en los procesos fisiológicos de las plantas, alterando su capacidad de defensa y su vulnerabilidad para el ataque.

Una vez establecidos los focos de infestación, la expansión de las áreas dañadas ha sido hacia menores altitudes donde la densidad de los bosques es menor. Todas las infestaciones terminaron su expansión antes de llegar a los 1900 msnm, aun y cuando existen bosques disponibles. La menor cantidad de hectáreas infestadas en octubre de 2012 indica un decremento en la densidad poblacional de *D. mexicanus*.

Al parecer, la preferencia de ataque de *D. mexicanus* en las cúspides de los cerros, contradice la teoría del movimiento de los descortezadores hacia mayores altitudes, ya que el movimiento encontrado es multidireccional descendente, siguiendo la disponibilidad de hospederos.

Variables climáticas

La temperatura no tuvo relación con el número de *D. mexicanus* colectados, mientras la precipitación media mensual mostró una relación inversa con el número de capturas. La relación fue más estrecha cuando se combinaron la precipitación y la temperatura en una sola variable, en este contexto las mayores capturas de insectos se obtuvieron cuando las precipitaciones mensuales fueron bajas y las temperaturas medias mensuales fueron altas; lo que lleva a la hipótesis

de que la precipitación y la temperatura podrían afectar la actividad de vuelo de *D. mexicanus*, ó bien afectar la liberación de la frontalina + aguarrás.

Variables dasométricas

Los rodales de *P. cembroides* que tuvieron menores incrementos y copas más bajas tuvieron mayor porcentaje de infestación por *D. mexicanus*. Debido a que la copa está relacionada con la capacidad fotosintética estos árboles podrían ser más débiles y por lo tanto ser más susceptibles al ataque de *D. mexicanus*.

El área basal y la presencia de *Tillandsia usneoides* son variables que están relacionadas con el ataque, pero por sí mismas no pueden discriminar entre sitios de *P. cembroides* atacados de los no atacados por *D. mexicanus*. Sin embargo, debido a la alta correlación entre la presencia de *Tillandsia usneoides* y el incremento radial de los árboles en los últimos 10 años, se deduce su influencia en el crecimiento y vigor de los árboles, por lo que es recomendable hacer planes de manejo para disminuir la densidad de *T. usneoides* sobre *P. cembroides*.

Debido a que la edad de los bosques, el diámetro medio del rodal, la altura del tallo y la altura total del árbol no tuvieron correlación con los porcentajes de infestación causados por *D. mexicanus* no se consideraron variables de importancia en bosques de *P. cembroides* del municipio de Aramberri, N.L.

La altura de copa puede ser un reflejo de la interacción de diversos factores (área basal, presencia de epífitas, manejo y calidad de sitio) en este estudio resultó estar altamente correlacionada con el porcentaje de infestación de los rodales, es fácil de medir en campo y se puede influir sobre ella mediante prácticas silvícolas.

Estos resultados podrán dar la línea base para futuras investigaciones relacionadas con los cambios de distribución o cambios en los patrones de vuelo, los hallazgos serán la base para implementar actividades de control y medidas preventivas que contribuyan a disminuir los efectos negativos de la degradación en este ecosistema. Derivado de los resultados se tendrán bases para la

elaboración de escenarios de cambio climático ya actualmente en la mayoría de los pronósticos sólo se considera la temperatura como parámetro de crecimiento poblacional, subestimando que la interacción de los factores ambientales puede tener efectos sobre la actividad de vuelo de estos insectos.

De las conclusiones de este trabajo se deriva la necesidad de dar manejo a los bosques de *P. cembraoides*, principalmente en lo referente al manejo del tamaño de copa, el cual puede lograrse mediante el manejo de la densidad con prácticas silvícolas. Debe ponerse especial cuidado en el manejo de las cúspides, ya que aparentemente son los lugares donde se incrementan las poblaciones, invadiendo posteriormente las laderas. Además, se hace patente la necesidad de considerar tanto la precipitación como la temperatura para los pronósticos de la actividad de vuelo de *Dendroctonus mexicanus* ya que de continuar con los escenarios de aumento de la temperatura predichos, la precipitación podría jugar un papel importante en el desarrollo o la mitigación de la actividad de vuelo de esta especie.