

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *DENDROCTONUS MEXICANUS* HOPKINS (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) ATRAÍDOS A TRAMPAS EN EL NORESTE DE MÉXICO Y SU CORRELACIÓN CON VARIABLES CLIMÁTICAS

Gerardo Cuéllar-Rodríguez

Universidad Autónoma de Nuevo León, apartado postal 41, Linares, N. L. C. P. 67700, correo electrónico: entomolab@gmail.com

Armando Equihua-Martínez

Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. C.P. 56230, México, correo electrónico: equihuaa@colpos.mx

Edith Estrada-Venegas, Tulio Méndez-Montiel, Jaime Villa-Castillo, Jesús Romero-Nápoles

correos electrónicos: edith_ev@yahoo.com.mx, jmenandezm@taurus.chapingo.mx, jvilla@conafor.gob.mx, jnapoles@colpos.mx

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 recolectas 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 5 localidades ($\alpha = 0.05$). Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las fechas de recolecta (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 significativa, 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.

SUMMARY

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 Fábrica" 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: $F = 6.85$, $g.l. = 17$, $P = 0.002$). 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.

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 desde el 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 & Raffa 2000; Kurz et al. 2008; McFarlane & 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 & Ebata 2009, Raffa et al. 2008, Edmonds et al. 2005; Williams & 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 & Linton 1983, Turchin et al. 1999, Turchin et al. 2003, Lombardero et al. 2000, Trzcinski & 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 & Bentz 1999, Hebertson & Jenkins 2008, Trzcinski & Reid 2009);

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. 2010, Chefaoui & 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 & Reid 2001), el uso de insecticidas (McCullough et al. 1998) y semioquímicos para modificar el comportamiento (Ross & Datterman 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 Aramberri, al sur del estado de Nuevo León, México; este 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 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 arbustivas 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 que el estrato bajo está compuesto por gramíneas, herbáceas y

especies rosetófilas como *Agave lecheguilla* (Torr.), *Agave striata* (Zucc.) y *Dasyllirion* sp. (Rzedowski 1978).

Monitoreo de insectos descortezadores

Para conocer la fluctuación poblacional de adultos de *Dendroctonus mexicanus* en bosques de *P. cembroides* en Aramberri, N.L., se utilizaron 30 trampas Lindgren® de 12 unidades. Estas 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; altitud: 2290 msnm). Todas las localidades se caracterizaron por ser bosques homogéneos de *P. cembroides*, encontrándose en altitudes similares, además contaban con brotes activos de *D. mexicanus*.

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. 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 coleccionados fueron separados, contados e identificados mensualmente.

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 de 14.9 °C. El periodo más cálido se presenta en mayo, con una temperatura media de 18.3 °C y una temperatura máxima de 38 °C. El mes más frío es 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 ente 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 recolecta. 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 en las trampas con atrayente (33.76 ± 21.85) que en las trampas sin atrayente (0.54 ± 0.23) ($t=3.72$, $P=0.01$). 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 1).

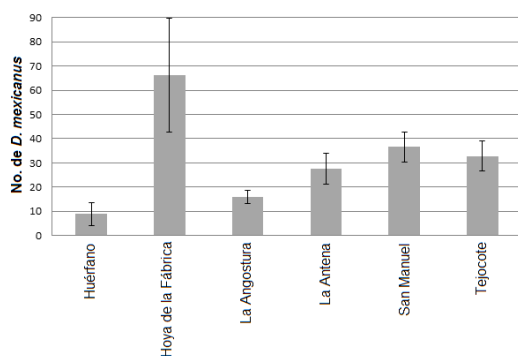


Figura 1. Número de *Dendroctonus mexicanus* adultos capturados de noviembre de 2008 a abril de 2010 en diferentes localidades del municipio de Aramberri, N.L.

En la localidad la HF, la mayor cantidad de insectos ocurrió en noviembre de 2008 (419 ± 192.8), continuando una disminución paulatina hasta 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 febrero (63.5 ± 27.19) y marzo (70.75 ± 13.95) de 2010. El análisis de varianza ($F=6.85$, $P=0.002$) muestra que existen diferencias entre las fechas de colecta en esta localidad.

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 noviembre de 2008 (56.22 ± 3.28), disminuyendo en forma gradual hasta septiembre de 2009 (9 ± 3.21) para tener de nuevo un ascenso en diciembre de 2009 (37.5 ± 10.66) (Figura 2).

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 recolectados 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 ($r=0.62$, $P=0.003$).

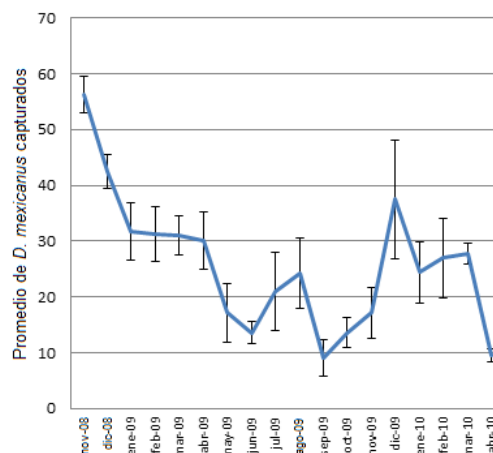


Figura 2. Cantidad de *D. mexicanus* recolectados por fecha y por localidad de noviembre de 2008 a abril de 2010 en el municipio de Aramberri, N.L.

En la figura 3, 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.

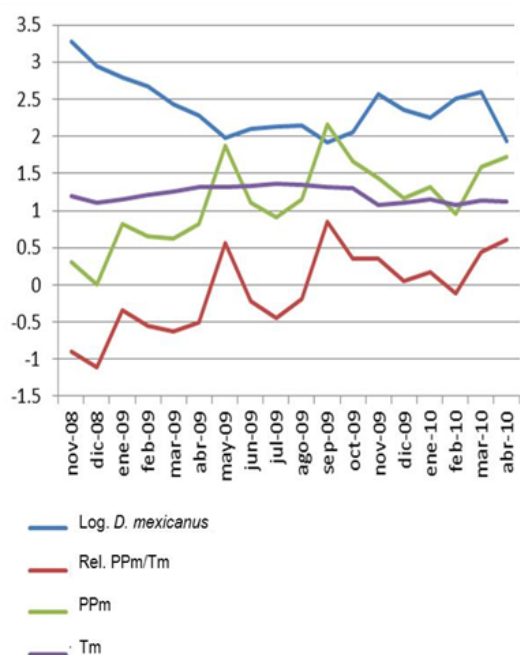


Figura 3. Representación entre las recolectas de adultos de *D. mexicanus* la variables climáticas (precipitación media mensual, temperatura media mensual y relación entre precipitación y temperatura).

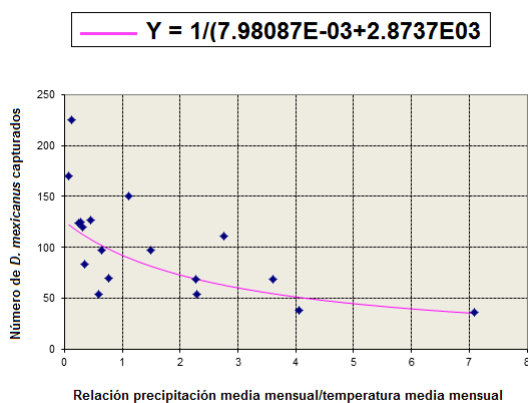


Figura 4. Representación entre las recolectas de adultos de *D. mexicanus* la variables climáticas (precipitación media mensual, temperatura media mensual y relación entre precipitación y temperatura).

Considerando los valores de correlación obtenidos con la relación de la precipitación me-

dia/temperatura media se buscó la mejor ecuación de regresión, utilizando el programa STATISTICA, para explicar la relación entre esta variable y el número de insectos (Figura 4), la ecuación que mejor explicó 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

DISCUSIÓN

Se comprobó que la frontalina+aguarrás funcionaron como atrayente para la recolecta de *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 noviembre y diciembre de 2008; una explicación posible es que en esta localidad el saneamiento se realizó a finales 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 junio y julio de 2008. Esta localidad, a diferencia de las otras cinco, no mostró correlación con ninguna de las variables climáticas.

El resto de las localidades (Ang, Ant, Hue, Tej y SM) presentaron dos periodos con bajas recolectas (abril a julio y septiembre a octubre de 2009). En el presente estudio las trampas cebadas con frontalina+aguarrás recolectaron 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-Martínez et al. 2007) y el sur de los Estados Unidos (Moser et al. 2005). De manera contrastante, Sánchez-Martínez et al. (2007) reportan altas recolectas de *D. mexicanus* durante 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 & 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 et al. 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 mejoró la correlación con el número de insectos recolectados en las trampas.

La tendencia general hacia la reducción del número de *D. mexicanus* recolectados 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 frontalina+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. 2010, Chafaoui & 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 coleccionados en las trampas. El uso de esta variable resultó ser un buen parámetro para construir un modelo de regresión que explica la dinámica de las recolectadas de *D. mexicanus* en Aramberri, N.L.

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 recolectadas 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 esta interacción por lo que es necesario incluir este parámetro cuando se interpretan datos de monitoreo en los que se utilizan trampas multiembudo Lindgren.

Las trampas Lindgren con frontalina+aguarrás fueron efectivas en la atracción y captura de *D. mexicanus*, las mayores recolectas se obtuvieron cuando las precipitaciones mensuales fueron bajas y las temperaturas medias mensuales fueron altas. No se encontró una relación directa entre las recolectadas y 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 solo 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.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional Forestal por el apoyo económico mediante folio OC/ADQ/08091/2008. Así como a la Universidad Autónoma de Nuevo

León por el apoyo económico otorgado bajo la clave CN060-09. Al Comité de Fomento y Sanidad Forestal del Estado de Nuevo León por el apoyo logístico

LITERATURA CITADA

- Bairstow, K., K. L. Clarke, M. A. Mcgeoch & 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 & 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. Pp 264-314, en: (J. B. Mitton & K. B. Sturgeon Bark, eds.) *Bark Beetles in North American Conifers*. University of Texas, Austin.
- Chefaoui, R. & J. M. Lobo. 2007. Assessing the conservation status of an Iberian moth using pseudo-absences. *Journal of Wildlife Management*, (71)8: 2507.
- 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.
- Díaz-Núñez, V., G. Sánchez & N. E. Gillete. 2006. Respuesta de *Dendroctonus mexicanus* a dos isómeros ópticos de verbenona. *Agrociencia*, 40(30): 349-354.
- 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 & 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 & R. I. Gara. 2005. *Forest Health and Protection*. EUA. America Waveland Press.
- 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.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D.F. Instituto de Geografía, UNAM.
- Hebertson, E. G. & 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. & 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 & L. Safranyik. 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, (24) 452: 987-990.
- Lombardero, M., M. Ayres, B. Ayres & J. Reeve. 2000. Cold tolerance of four species of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Environmental Entomology*, (29): 421-432.
- Logan, J. A. & B. J. Bentz. 1999. Model analysis of mountain pine beetle seasonality. *Environmental Entomology*, (28): 924-934.
- Logan, J. A. & J. A. Powell. 2001. Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *American Entomologist*, 47(3): 160-172.
- Malmstrom, C. M. & K. F. Raffa. 2000. Biotic disturbance agents in the boreal forest: considerations for vegetation change models. *Global Change Biology*, (6): 35-48.

- McCullough, D. G., R. A. Werner & D. Neumann. Fire and insects in northern and boreal forest ecosystems of North America. *Annual Review of Entomology*, 1998. 43:107–127.
- McLaughlin, J. F., J. J. Hellman, C. L. Boggs & P. R. Ehrlich. 2002. The route to extinction: population dynamics of a threatened butterfly. *Oecologia*, (132): 538-548.
- McFarlane, B. L. & 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 & 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., B. H. Aukema, B. J. Bentz, A. L. Carroll, J. A. Hicke, M. G. Turner & W. 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. & 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.
- 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.
- Salinas-Moreno, Y., M. G. Mendoza, M. A. Barrios, R. Cisneros, J. Macías-Sámano & G. Zúñiga. 2004. Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. *Journal of Biogeography*, (31): 1163-1177.
- Sánchez-Martínez, G. L., M. Torres, I. Vázquez-Collazo, E. González-Gaona & R. Narváez-Flores. 2007. Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Aguascalientes, México, INIFAP, CIRNOC., Campo Experimental Pabellón.
- SEMARNAT. 2010. Superficies afectadas por plagas y enfermedades <http://tinyurl.com/ca4243w> (consultada 22/12/11).
- Stebaeva, S. 2003. Collembolan communities of the Ubsu-Nur Basin and adjacent mountains (Russia, Tuva). *Pedobiologia*, (47) 4: 341.
- Trzcinski, M. K. & 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 & J. D. Reeve. 1999. Dynamical role of predators in population cycles of a forest insect: an experimental test. *Science*, (285): 1068-1071.
- Turchin, P. 2003. *Complex population dynamics: a theoretical/empirical synthesis*. Princeton: Princeton University Press.
- Wagner, T. L., J. A. Gagne, P. J. Sharpe & R. N. Coulson. 1984 A epidemiology of forest insects biophysical model of southern pine beetle *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) development. *Ecological Modelling*, 21: 125-147.
- Westfall, J. & T. Ebata. 2009-2008. Summary of forest health conditions in British Columbia. British Columbia Ministry of Forests and Range. Pest Management Report No. 15. 76.
- 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 Naturalist Memoirs, Number 6, Idaho: Brigham Young University.