

LA PLAGA DEFOLIADORA *Zadiprion howdeni* Smith EN LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

SAWFLY *Zadiprion howdeni* Smith IN THE NORTH SIERRA OF OAXACA, MEXICO: CURRENT STATE AND PERSPECTIVES

Suárez-Mota, M.E.^{1*}; Pacheco-García, M.M.¹; Cristobal-Angulo, O.P.¹; Antúnez, P.¹; Santiago-García, W.¹; Bautista-Juárez, I.¹

¹Universidad de la Sierra Juárez. División de Estudios de Postgrado. Avenida Universidad S/N, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: mesuarez@unsj.edu.mx

ABSTRACT

In the state of Oaxaca, Mexico, many aspects of the biology and ecology of epidemic species are unknown, which leads to a greater ignorance about the combat and control techniques, in addition there are no specific data on the impact of defoliation on the trees that has been affected by a defoliating species *Zadiprion howdeni*. This work was carried out with the aim of estimating the distribution and potential area of affectation of this species in the Sierra Norte de Oaxaca. For which ecological niche models were used using the MaxEnt algorithm, by using the Kernel density the ecological niche model was evaluated. It is estimated that the species has a potential impact on *Pinus pseudostrobus* in an area of 14,000 ha. It is necessary to propose an adequate strategy to reduce the affectations of said species, otherwise the degree of infection will affect more than 80% of the forest destined for forest exploitation.

Keywords: MaxEnt, Sawfly, *Zadiprion*, Sierra Norte de Oaxaca.

RESUMEN

En el estado de Oaxaca, México, se desconocen muchos aspectos de la biología y ecología de especies epidémicas, lo que conlleva a un desconocimiento mayor sobre las técnicas de combate y control, además no existen datos específicos sobre el impacto de la defoliación en el arbolado que ha sido afectado por una especie defoliadora conocida como mosca sierra (*Zadiprion howdeni*). Este trabajo se realizó con el objetivo de estimar la distribución y área potencial de afectación de esta especie en la Sierra Norte de Oaxaca. Para ello se obtuvieron modelos de nicho ecológico empleando el algoritmo MaxEnt, evaluados mediante el uso de la densidad de Kernel. Se estima que la especie tiene un potencial de afectación sobre *Pinus pseudostrobus* en un área de 14,000 ha. Es necesario plantear una estrategia adecuada para reducir las afectaciones de dicha especie, de lo contrario su grado de infección afectará más del 80% del bosque destinado al aprovechamiento forestal.

Palabras clave: MaxEnt, Mosca Sierra, *Zadiprion*, Sierra Norte de Oaxaca.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 7, julio, 2018. pp: 35-41.

Recibido: enero, 2018. **Aceptado:** mayo, 2018.



INTRODUCCIÓN

La entomofauna de los bosques de coníferas mexicanos es un campo desconocido aun por muchos investigadores, ya que la mayor atención ha sido dirigida solo a unas cuantas familias que son consideradas de mayor importancia debido al impacto que ocasionan en su ataque a los bosques. En México y más aún en el estado de Oaxaca se desconocen muchos aspectos de la biología, estrategias de combate y la correcta identificación de especies con brotes epidémicos. El ataque es causado por una especie determinada y al corroborarlo se sabe que es una especie diferente a la reportada (Smith *et al.*, 2012).

Un caso particular se da con la familia Diprionidae comúnmente llamados "moscas sierra", del orden Hymenoptera: Symphyta (abejas, avispas y hormigas). Esta familia incluye los géneros *Zadiprion*, *Neodiprion* y *Monoctenus*, que muestran preferencia por ciertos hospederos. Por ejemplo, *Monoctenus* se alimenta exclusivamente de *Juniperus*; *Zadiprion* solo de *Pinus*; mientras que la mayoría de las especies de *Neodiprion* se alimentan también de *Pinus*, excepto algunas que llegan a consumir *Abies* y *Picea* (Smith, 1988; Knerer, 1993; Linnen y Farrell 2010). Los daños producidos por estos defoliadores son: reducción de la superficie fotosintética, alteración en el proceso de transpiración y en el de asociación de nutrimentos, suspensión de resina, defoliaciones severas y cinchado de ramillas, modificación en el desarrollo del tamaño y estructura de los anillos anuales de crecimiento y muerte de arbolado (Nolasco, 2014).

En los años 2007 y 2008, la superficie afectada por la familia Diprionidae aumentó de 4,170 a 6,550 ha y alcanzó hasta 34,493 ha en el año 2009, afectando todo el área de distribución de *Pinus arizonica* Engelmann, abarcando los municipios de Guerrero, Bocoyna y Ocampo en el estado de Chihuahua (Olivo, 2011). En México, esta familia ha afectado extensiones considerables en los estados de Chihuahua, Durango y Michoacán, en donde se tiene registrado un promedio de 10,000 a 15,000 ha; en el estado de Jalisco, causó daños en 25,000 ha sobre *Pinus douglasiana* Mtz. Actualmente se reportan en Durango, áreas infestadas por este defoliador sobre *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. herrerae* como principales hospederos, aunque también se reportó sobre *P. engelmannii* (González *et al.*, 2014). Sin embargo, en el estado de Oaxaca aún se desconocen datos específicos sobre las afectaciones que ha tenido sobre el arbolado de las regiones infestadas.

El género *Zadiprion* se caracteriza porque las larvas manifiestan hábitos gregarios para alimentarse, permaneciendo en grupos de dos hasta cuatro individuos en una sola hoja (Castro, 1981; Cibrián *et al.*, 1995). En el caso de *Zadiprion falsus*, el tamaño del adulto macho oscila entre 7 y 8.7 mm, con un promedio de 8 mm de longitud. La coloración del insecto es negra, con excepción de los tarsos, las tibias, el extremo distal de los fémures y los márgenes posteriores de las porciones ventrolaterales de cada segmento abdominal, que son de amarillo pálido. Las antenas están formadas de 26 a 30 segmentos, las alas son membranosas, transparentes y en posición de reposo descansan sobre la parte dorsal del abdomen. La hembra es más grande que

el macho, ya que su tamaño oscila entre los 9 a 10 mm, con un promedio de 9.8 mm de longitud. La cabeza es café con antenas aserradas, los primeros segmentos son cafés y los restantes de coloración oscura, casi negra. La larva es eruciforme, con ocho pares de patas falsas. La cabeza es de color café claro, con una mancha ocular evidente en cada lado de la cabeza. El cuerpo es casi liso, con setas poco evidentes, de coloración verdosa clara, parda o rosado violácea; puede presentar dos bandas longitudinales de color gris oscuro, a veces poco conspicuas. Se presentan cinco instares en los machos y seis en las hembras. El último instar alcanza un tamaño de 25 a 30 mm de longitud. Para pupar estas larvas elaboran un capullo de seda cilíndrico, que será más grande o más pequeño dependiendo del sexo (Cibrián *et al.*, 1995).

En el estado de Oaxaca se desconocen muchos aspectos de la biología y ecología de esta especie, lo que conlleva a un desconocimiento mayor sobre las técnicas de combate y control, además no existen datos específicos sobre el impacto de la defoliación en el arbolado afectado. De lo anterior parte la importancia de realizar estudios más específicos sobre cómo tratar infestaciones de este tipo.

En la actualidad se han presentado brotes epidémicos de *Zadiprion howdeni* en la Sierra Norte del estado de Oaxaca, lo que involucra una oportunidad de estudio de esta especie y con ello la adquisición de nuevos conocimientos acerca de su distribución.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Sierra Norte es una de las ocho grandes regiones que integran el es-

tado de Oaxaca, comprende un territorio de gran riqueza forestal. Se ubica dentro de las coordenadas $16^{\circ} 58'$ y $17^{\circ} 48'$ de latitud N y $-95^{\circ} 8'$ y $-96^{\circ} 47'$ de longitud W. Limita al norte con las regiones Chinantla y Sierra Mazateca, al este con la Sierra Mixe, al oeste con la Cañada Cuicateca y al sur con los Valles Centrales de Oaxaca. Incluye 68 municipios, divididos en tres distritos: Ixtlán, Mixe y Villa Alta (Figura 1). Es una región de gran relevancia en producción forestal (Gasca-Zamora, 2014).

Los datos utilizados para detectar la presencia de la especie fueron colectados en el periodo comprendido del mes de noviembre del 2016 a noviembre del 2017. Los árboles (pinos) defoliados son signos de la infestación por larvas de la mosca sierra, o aquellos otros en los que se encontraron restos del animal en cualquiera de sus fases (larva, pupa o adulto), fueron considerados como individuos afectados (Figura 2). Además con las observaciones realizadas en campo se verificó que el daño

ocasionado en los árboles afectados es muy particular de este insecto.

Los registros de las especies de pinos afectadas y la distribución de la mosca sierra, se realizaron en campo utilizando un GPS de mano (Garmin eTrex 20x) y se procesaron mediante una base de datos que posteriormente se analizó en un sistema de información geográfica (SIG; ArcMap 10.1). Los árboles afectados se determinaron a nivel de especie, identificándose en campo por medio de claves para corteza, tipos de cono y fascículos de las hojas (acículas) posteriormente se verificaron en el herbario consultando a un botánico experto. Asimismo, se realizó la clasificación del insecto de acuerdo a la fase en que fue hallado en el sitio: larva, pupa y adulto, considerando su ciclo de vida.

Para estimar la distribución potencial y así definir los hábitats adecuados para *Zadiprion howdeni* en la Sierra Norte

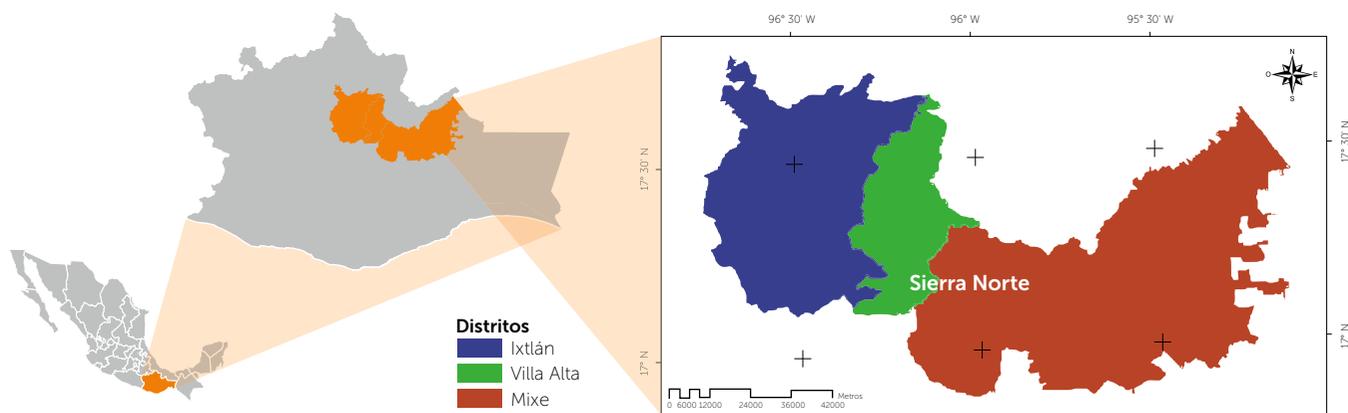


Figura 1. Distritos distribuidos en la Sierra Norte de Oaxaca, México.



Figura 2. Imágenes de una hembra de *Zadiprion howdeni* Smith tomada de la Sierra Norte de Oaxaca, México.

de Oaxaca, se utilizó el algoritmo Maxent 3.4.1. (Phillips *et al.*, 2006), el cual ha demostrado su eficacia cuando se pretende hacer predicciones basadas en información de datos solamente de presencia (Elith *et al.*, 2006; Peterson *et al.*, 2007; Phillips, 2008; Phillips y Dudik, 2008; Phillips *et al.*, 2017).

Para eliminar los puntos de ocurrencia redundantes o espacialmente autocorrelacionados, se utilizó la herramienta espacial de datos de ocurrencia SDMToolbox implementada en el SIG (ArcMap 10.1; Brown, 2014), reduciendo así las localidades de ocurrencia a un único punto dentro de una distancia de 1 km. Finalmente, en el modelo, se utilizaron las localidades registradas en campo (Figura 3). Se consideraron las variables ambientales obtenidas por Cuervo-Robayo *et al.* (2013) y Cruz-Cárdenas *et al.* (2014), para análisis de modelación en México. Tomando en cuenta los argumentos discutidos por autores como Sobrón y Peterson (2005), Peterson *et al.* (2011) o Radosavljevic y Anderson (2013), el área de calibración (M) para la selección de los sitios de fondo (background) de los modelos se definió con los límites de la Sierra Norte (Figura 1).

La información sobre los sitios de recolecta que documentan la distribución de las especies en la zona de estudio, junto con la de las variables ambientales (Cuadro 1), se incorporaron al programa MaxEnt para generar los modelos de nicho ecológico. Para facilitar la convergencia del

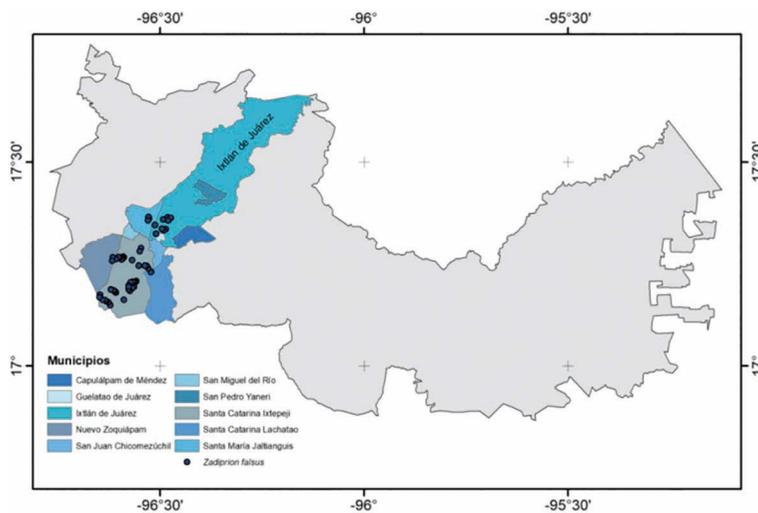


Figura 3. Distribución de *Zadiprion howdeni* Smith, en municipios actualmente afectados de la Sierra Norte de Oaxaca, México.

modelo, las iteraciones máximas se incrementaron a 1,000. Se usó una prueba de Jackknife con todos los datos para estimar el peso de cada variable ambiental en el modelo y así seleccionar aquellas de mayor importancia en el ciclo de vida de la especie epidémica (Suárez-Mota

et al., 2016). Para evaluar el modelo final se utilizó el área bajo la curva (AUC; Elith *et al.*, 2006; Morueta-Holme *et al.*, 2010).

La evaluación en el área afectada por la presencia de la mosca sierra en la Sierra Norte de Oaxaca, fue utilizada para identificar zonas con tendencia a ser infestadas por dicha plaga en toda la región, gracias a la similitud entre las características y condiciones ambientales de los sitios donde ya se tienen registros de daños, con aquellos en los cuales aún no hay evidencias de su aparición. La estimación de la densidad de Kernel (KDE) en el modelado geoespacial, sirvió para evaluar la

Cuadro 1. Variables empleadas en los modelos de nicho ecológico.

| Variable | Descripción | Porcentaje de contribución, Jackknife |
|---------------|--|---------------------------------------|
| bio_01 | Temperatura promedio anual (°C). | 1.1 |
| bio_02 | Oscilación diurna de la temperatura (°C). | 3.5 |
| bio_03 | Isotermalidad (°C). | 4.9 |
| bio_04 | Estacionalidad de la temperatura (%) | 0.9 |
| bio_05 | Temperatura máxima del periodo más cálido (°C). | 2.3 |
| bio_06 | Temperatura mínima del periodo más frío (°C). | 10.2 |
| bio_07 | Oscilación anual de la temperatura (°C). | 0.2 |
| bio_08 | Temperatura promedio del trimestre más húmedo (°C). | 0 |
| bio_09 | Temperatura promedio del trimestre más seco (°C). | 0 |
| bio_10 | Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C). | 0.4 |
| bio_11 | Temperatura promedio del trimestre más frío (°C). | 0 |
| bio_12 | Precipitación anual (mm). | 1 |
| bio_13 | Precipitación del periodo más húmedo (mm). | 4.4 |
| bio_14 | Precipitación del periodo más seco (mm). | 8.6 |
| bio_15 | Estacionalidad de la precipitación (%). | 2.7 |
| bio_16 | Precipitación del trimestre más húmedo (mm). | 1 |
| bio_17 | Precipitación del trimestre más seco (mm). | 33.6 |
| bio_18 | Precipitación del trimestre más cálido (mm). | 0.2 |
| bio_19 | Precipitación del trimestre más frío (mm). | 24.9 |

distribución geográfica de la especie en la Sierra Norte (Beyer, 2012; O'Brien et al., 2012; Martins et al., 2013; Denoël y Ficetola, 2015).

Se seleccionó una función de densidad del núcleo de Gauss y se estimó el ancho de banda óptimo utilizando un método de complemento (Wand y Jones, 1994), implementado a partir del paquete "Ks" en el entorno R (Duong, 2007). Se consideraron diez valores de KDE del 10% al 100%, cada uno de los cuales corresponde al área de ubicaciones de las especies analizadas. Los contornos de 100% de KDE se usaron para presentar el rango de distribución general de la mosca sierra en la región de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total, se obtuvo información de 69 localidades con presencia de *Zadiprion howdeni*, en la Sierra Norte; la mayoría de datos de su presencia se registraron en su fase larvaria de los meses de junio a noviembre aunque en esta fase se puede encontrar hasta el mes de diciembre incluso enero; durante su fase de pupa se incrementa su frecuencia de septiembre hasta abril, siendo los meses de octubre-noviembre su mayor concentración en el suelo. Se encontró una densidad por árbol de 35 hasta 138 individuos por m^2 . El número de árboles habitados (infestados) es aún desconocido. Todos los registros provienen de diferentes especies de *Pinus*. A pesar de la presencia de diversas especies de pino en las localidades estudiadas, *Pinus pseudostrobus* es la de mayor frecuencia de registros, y no hay casos de presencia de

la especie epidémica en otras especies de árboles que no sean pinos, aunque se ha reportado que en otros estados del país también infesta especies de *Quercus*. El número de pupas y larvas colectadas varió de un sitio a otro, ya que en algunos árboles aún había presencia abundante de larvas y poca presencia de pupas, mientras en otros árboles se encontró una abundante cantidad de pupas por metro cuadrado y muy pocas larvas. Las especies con mayor afectación en los sitios analizados fueron *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus teocote*.

El análisis de KDE mostró alta concentración de árboles ocupados en la parte noroccidental de la región, claramente aislada de las poblaciones principales (Figura 4A). En general, el 100% de KDE cubrió un área de 1.21 km^2 , es decir, el 7.03% del área de estudio, estimada con el MNE. La presencia de la especie en la región, delineada por la isopleta del 100% de KDE, coincide en gran parte con la distribución de los hábitats adecuados estimados

con el modelado de MaxEnt (Figura 4B). El modelo mostró un excelente rendimiento predictivo, con un AUC de 0.962. Los hábitats adecuados cubren el 9.19% del área estudiada (812.7 km^2).

Cinco variables hicieron una contribución de más del 4% al modelo de MaxEnt (Cuadro 2). La prueba de jackknife mostró que la variable ambiental con mayor ganancia, cuando se usó como única variable, fue la precipitación en el trimestre más frío (bio 19), que pareció transmitir la información más útil por sí misma. Por otro lado, el predictor con la mayor cantidad de información no presente en otras variables fue la temperatura mínima

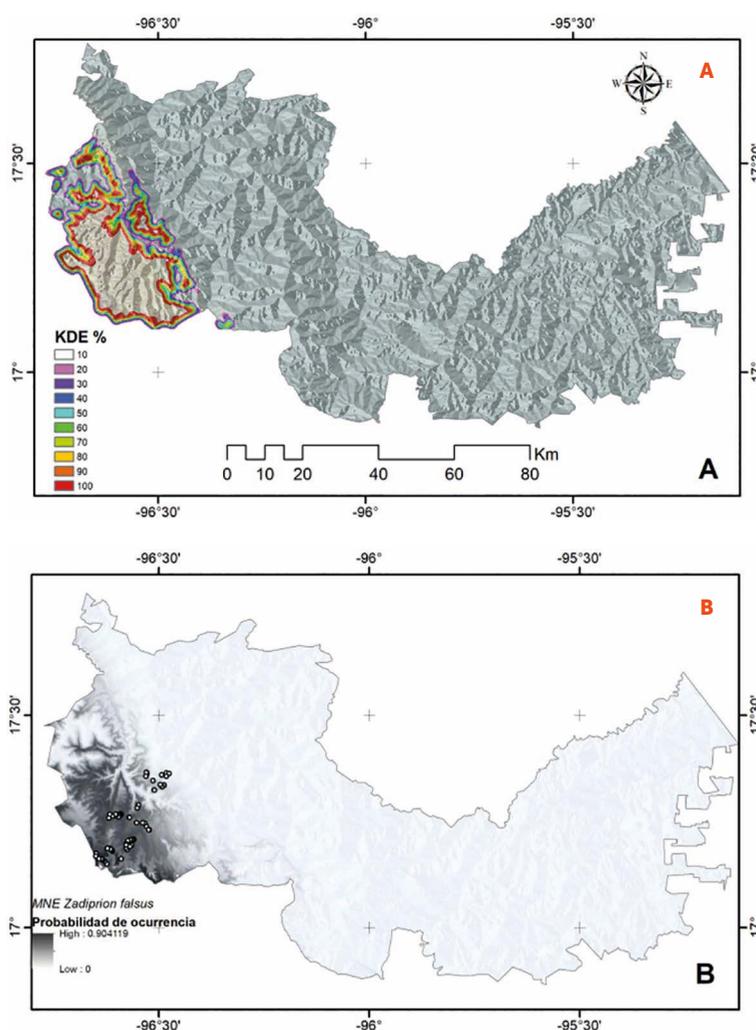


Figura 4. Distribución potencial de *Zadiprion howdeni* en la Sierra Norte de Oaxaca. A) Evaluación del MNE con la densidad de Kernel (KDE) y B) área potencial de afectación por la especie epidémica.

información útil para medidas futuras de prevención y mitigación.

LITERATURA CITADA

Beyer H.L. 2012. Geospatial Modelling Environment (Version 0.7.2.1). <http://www.spatial ecology.com/gme> [accessed April 10, 2017]

Brown J.L. 2014. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution* 5: 694-700.

Castro C.J. 1981. Contribución al estudio de la biología del defoliador de pino *Neodiprion fulviceps* (Cresson) complex (Hymenoptera: Diprionidae) en el estado de Chihuahua. *Ciencia Forestal* 6: 43-51.

Cibrián T.D., Méndez M.J.T., Campos B.R. 1995. Insectos forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 174-177 pp.

Cruz-Cárdenas G., López-Mata L., Villaseñor J.L., Ortiz E. 2014. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85:189-199. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314707444>.

Cuervo-Robayo A.P., Téllez-Valdés O., Gómez Albores M.A., Venegas-Barrera C.S., Manjarrez J., Martínez-Meyer E. 2013. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International journal of climatology*. 34: 2427-2437.

Denœl M., Ficetola G. F. 2015. Using kernels and ecological niche modeling to delineate conservation areas in an endangered patch-breeding phenotype. *Ecological Applications* 25: 1922-1931.

Duong T. 2007. ks: Kernel Density Estimation and Kernel Discriminant Analysis for Multivariate Data in R. *Journal of Statistical Software* 21: 1-16.

Elith J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leathwick J.R., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Loiselle B.A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J.Mc.C.M., Peterson A.T., Phillips S.J., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R.E., Soberón J., Williams S.,

Cuadro 2. Contribuciones relativas e importancia de la permutación de las variables ambientales para el modelo de nicho ecológico obtenido con la prueba de Jackknife.

| Variable | Porcentaje de contribución | Importancia de permutación | Fases del ciclo de vida de <i>Zadiprion howdeni</i> |
|----------|----------------------------|----------------------------|---|
| bio_03 | 6.6 | 4.7 | Todas |
| bio_06 | 11.3 | 1.5 | Pupa |
| bio_14 | 17.4 | 9.3 | Adulto y Larva |
| bio_17 | 56.5 | 84.0 | Pupa y adulto |
| bio_19 | 8.3 | 0.5 | Larva y pupa |

del mes más frío (bio 06) que redujo la ganancia cuando se omitió. Aunque la probabilidad de aparición de la especie generalmente aumentó al incrementar la temperatura y disminuir la precipitación; los valores extremos parecen evitarse. Estas variables seleccionadas con la prueba de Jackknife son de suma importancia para la especie epidémica, pues coinciden con las fases de su ciclo de vida (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

En el caso de Oaxaca, la mosca sierra (*Zadiprion howdeni*) había sido reportada en los bosques de coníferas de la Sierra Sur, sin embargo, desde el 2015 se empezaron a observar brotes atípicos en la región de la Sierra Norte y se han ido incrementando en un promedio del 400% al año, en un contexto de sequía y cambio climático.

Lo anterior, ha ocasionado que a la fecha se tengan identificadas 3,900 ha afectadas por la plaga, perteneciente a tres comunidades con aprovechamiento forestal, amenazando con extenderse y ocasionar daños económicos. Las comunidades con mayor afectación son: Nuevo Zoquiapam, San Pedro Nexicho y Santa Catarina Ixtepeji y se tiene ya un considerable avance en Ixtlán de Juárez (Figura 1).

La mosca sierra, reporta un avance rápido y efectos contundentes sobre el arbolado hospedero. La comunidad de Ixtlán de Juárez está realizando ya labores de mitigación en zonas afectadas y de prevención en zonas que aún no presentan daños, sin embargo, dispersarse de forma aérea, la hace una especie difícil de controlar. No se tiene conocimientos acerca del combate hacia la misma, ni de depredadores naturales debido a que esta plaga es de nueva aparición en la Sierra Norte.

El control de esta plaga no es cuestión únicamente del municipio de Ixtlán sino de toda la Sierra Norte, ya que se puede controlar en una zona, sin embargo, las zonas afectadas sin tratar seguirán siendo un foco infeccioso y un riesgo para las comunidades aledañas. Aún se está a tiempo de realizar labores de mitigación y prevención, para controlar lo que si se descuida, puede resultar un grave peligro para la economía local y regional, así como alterar los ciclos biológicos de las especies vegetales presentes en los ecosistemas de la Sierra Norte de Oaxaca. Se pretende generar información nueva adaptada a las condiciones locales, tomando en cuenta información ya registrada en zonas donde comúnmente han tenido la plaga, con el fin de proporcionar

- Wisz M.S., Zimmermann N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Gasca-Zamora J. 2014. Gobernanza y gestión comunitaria de recursos naturales en la Sierra Norte de Oaxaca. *Región y Sociedad*. XXVI. Obtenido de: <<http://ucsj.redalyc.org/articulo.oa?id=10231796004>> ISSN 1870-3925.
- González G.E., Bonilla T.F., Quiñonez B.S., Sanchez M.G., Tafoya R. F., España L. M.P., Lozano G.J., Robles U.S. 2014. Guía Para la Identificación de Moscas Sierra de la Familia Diprionidae Presentes en el Centro Norte de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Obtenido de: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4201/01020882600066360_CIRNOC.pdf?sequence=1
- Knerer G. 1993. Life history diversity in sawflies. In M. Wagner and K.F. Raffa (eds.) *Sawfly life history adaptations to woody plants*. Academic Press, San Diego, CA. pp. 33-60.
- Linnen C.R., Farrell B.D. 2010. A test of the sympatric host race formation hypothesis in *Neodiprion* (Hymenoptera: Diprionidae). *Proceedings of the Royal Society B*. 277: 3131-3138. doi:10.1098/rspb.2010.0577
- Martins C.C.A., Andriolo A., Engel M.H., Kinas P.G., Saito C.H. 2013. Identifying priority areas for humpback whale conservation at Eastern Brazilian Coast. *Ocean and Coastal Management* 75: 63-71.
- Morueta-Holme N., Fløjgaard C., Svenning J.C. 2010. Climate Change Risks and Conservation Implications for a Threatened Small-Range Mammal Species. *PLoS ONE* 5: e10360. Obtenido de: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0010360>
- Nolasco G. A. 2014. Defoliadores de coníferas de los géneros de *Zadiprion* spp., y *Neodiprion* spp., existentes en México. Monografía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 84 p. Obtenido de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3887/63120%20NOLASCO%20GUMETA%2C%20ARTURO%20%20MONOG..pdf?sequence=1>.
- O'Brien S.H., Webb A., Brewer M.J., Reid J.B. 2012. Use of kernel density estimation and maximum curvature to set Marine Protected Area boundaries: Identifying a Special Protection Area for wintering red-throated divers in the UK. *Biological Conservation* 156: 15-21. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320711004964?via%3Dihub>
- Olivo M.J.A. 2011. Brotes epidémicos de Diprionidos en la Sierra Tarahumara del Estado de Chihuahua. Memoria del XV simposio Nacional de parasitología Forestal. Comisión Nacional Forestal. Región VI. Chihuahua. Pag. 33-35. Obtenido de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203831/Anexo_Demandas_especificas_del_sector_2017-2.pdf
- Peterson A.T., Papes M., Eaton M. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography* 30: 550-560.
- Peterson A.T., Soberón J., Pearson R.G., Anderson R.P., Martínez-Meyer E., Nakamura M., Araújo M.B. 2011. *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton: Princeton University Press. 315 p.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Phillips S.J. 2008. Transferability, sample selection bias and background data in presence only modelling: a response to Peterson et al. (2007). *Ecography* 31: 272-278.
- Phillips S.J., Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175
- Phillips S.J., Anderson R.P., Dudík M., Schapire R.E., Blair M.E. 2017. Opening the black box: an open-source release of MaxEnt. *Ecography*: 40: 887-893. doi: 10.1111/ecog.03049
- Radosavljevic A., Anderson R.P. 2013. Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. 41:629-643. Obtenido de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jbi.12227>.
- Smith D.R. 1988. A synopsis of the sawflies (Hymenoptera: Symphyta) of America South of the United States: Introduction Xyelidae, Pamphiliidae, Cimbicidae, Diprionidae, Xyphidiidae, Siricidae, Orussidae, Cephidae. *Systematic Entomology* 13: 205-261.
- Smith D.R., Sánchez M.G., Ojeda A.A. 2012. A new species of *Zadiprion* (Hymenoptera: Diprionidae) on *Pinus durangensis* from Chihuahua, Mexico, and a review of other species of the genus. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 114: 224-237.
- Soberón J., Peterson A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10.
- Suárez-Mota M.E., Ortiz E., Villaseñor J.L., Espinosa-García F.J. 2016. Ecological Niche Modeling of Invasive Plant Species According to Invasion Status and Management Needs: The Case of *Chromolaena odorata* (Asteraceae) in South Africa. *Polish Journal Of Ecology*. 64: 369-383.
- Wand M.P., Jones M.C. 1994. Multivariate plugin bandwidth selection. *Computational Statistics* 9: 97-116.