

MODELACIÓN ESPACIAL DE *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar (HYMENOPTERA: CYNIPIDAE) EN BOSQUES DE ENCINO BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Adelfa Lizbeth Hernández-Pérez¹, Ramiro Pérez-Miranda²✉, Victor Javier Arriola Padilla²,
Martín Enrique Romero-Sánchez² y Antonio González-Hernández²

Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa Departamento de Biología. Av. San Rafael Atlixco, Col. Vicentina, Iztapalapa, Ciudad de México C. P. 093401.

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Ave. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Del. Coyoacán, Ciudad de México. C. P. 04010.

✉ Autor de correspondencia: perez.ramiro@inifap.gob.mx

RESUMEN. *Andricus quercuslaurinus* es una avispa agalladora que ha ocasionado la mortalidad de encinos en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo. Estos brotes aparecieron en los últimos años; por lo que se asume que una de las principales causas es el efecto de cambios en los patrones climáticos (CC). El objetivo de este estudio fue determinar las áreas potenciales de riesgo de la avispa plaga en bosques de encino bajo escenarios de CC a nivel nacional y analizar las variables climáticas. La modelación espacial se realizó con el algoritmo genético Garp (*Genetic Algorithm for Ruleset Production*). Se utilizaron dos escenarios de CC: RCP 4.5 y 8.5 de los modelos: GFDL- CM3 y HADGEM2-ES, para el año 2039. Con el modelo GFDL-CM3 y el escenario RCP 8.5 se tendrían 2, 346,582 ha de probable presencia de la avispa, y con el modelo HADGEM2-ES y escenario RCP 8.5 serían de 1, 656,851 ha. La distribución espacial del cinípido con escenarios de CC aumentará sobre los bosques de encino en los próximos años en varias entidades estatales.

Palabras clave: Modelo de Circulación General, Garp, RCP 4.5 y 8.5.

Spatial modeling of *Andricus quercuslaurinus* Melika and Pujade-Villar in Mexican oak forests under climate change scenarios

ABSTRACT. *Andricus quercuslaurinus* is a hornet wasp that has caused the mortality of oaks in the municipality of Acaxochitlán, State of Hidalgo. These outbreaks appeared in recent years; and it is estimated that one of the main causes could be climate change (CC). The objective of this study was to determine the potential risk areas of the pest in oak forests under CC scenarios at the national level and to carry out an analysis of climatic variables. Modelling was made using the genetic algorithm Garp (*Genetic Algorithm for Ruleset Production*), and two CC scenarios: RCP 4.5 and 8.5 from GFDL-CM3 and HADGEM2-ES models, year 2039. GFDL-CM3 model and the RCP 8.5 scenario highlighted that there would be 2,346,582 ha of probable wasp presence, and the HADGEM2-ES model and RCP 8.5 scenario estimated 1,656,851 ha. The spatial distribution *A. quercuslaurinus* with SC scenarios will increase over the oak forests in the coming years in several Mexican states according to the analysis made.

Keywords: General Circulation Model, Garp, RCP 4.5 and 8.5.

INTRODUCCIÓN

El clima es un fenómeno dinámico debido a que presenta fluctuaciones cíclicas anuales o de mayor periodicidad, así como variaciones ocasionales asociadas a fenómenos naturales (González, 2003). De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés; 2007) la transformación intensa del hombre sobre el medio natural ha incrementado la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo cual ha originado el cambio climático (CC), y a su vez ha conseguido alterar los patrones de temperatura y precipitación. Esta situación provoca que algunos organismos, como los insectos, respondan

rápidamente ante la modificación de las variables climáticas, lo cual impacta directamente en el desarrollo, supervivencia, fisiología, reproducción y distribución geográfica; y en consecuencia, se convierten en plagas que amenazan a la sanidad de los ecosistemas forestales (Moore y Allard, 2008).

Se tiene registro de que en México los bosques de encinos se encuentran afectados por plagas de la familia Cynipidae, entre las que se encuentra la avispa agalladora *Andricus quercuslaurinus* Melika y Pujade-Villar, 2009 (Pujade-Villar *et al.*, 2009; Cibrián *et al.*, 2013). En el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo es un problema para los bosques de *Quercus laurina* Humb y Bonpl. y *Quercus affinis* Scheidw debido a que ha provocado la muerte en los árboles en un alto porcentaje (Barrera *et al.*, 2014). Los daños ocasionados por la avispa aparecieron en los últimos dos años; se estima que una de las causas principales de las afectaciones de la plaga a los bosques de encino en esa región, es originada por el fenómeno del CC. Los objetivos de este estudio fueron determinar las áreas potenciales de distribución de la plaga *A. quercuslaurinus* bajo escenarios de CC a nivel nacional, y realizar un análisis de variables climáticas que expliquen la vulnerabilidad de los bosques de encino al ataque de la avispa.

MATERIALES Y MÉTODO

Registros de datos de campo de presencia de la especie. Se elaboró una base de datos georreferenciada de 822 sitios de presencia de la especie en bosques de encino localizados en la región de Acaxochitlán, Hidalgo, facilitados por Barrera *et al.* (2015).

Modelo de distribución potencial bajo escenarios de cambio climático. Se utilizaron coberturas climáticas y topográficas. Las primeras fueron de la temperatura media anual y la precipitación total anual de los Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés): GFDL- CM3 (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Climate Model version 3*) de Estados Unidos y HADGEM2-ES (*Hadley Global Environment Model 2 - Earth System*) del Reino Unido, con un horizonte de tiempo (2039) y dos forzamientos radiativos de concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés): 4.5 y 8.5. Estas coberturas se obtuvieron de la página de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales de la UNAM (<http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>). Las segundas fueron de altitud, exposición y pendiente, a partir del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM) que se encuentra disponible en la página oficial del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: INEGI (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/download.aspx>).

Para analizar las variables climáticas actuales (base) de la especie se emplearon coberturas de temperatura promedio anual y precipitación total anual. Estas se obtuvieron de la página UNIATMOS de la UNAM (<http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>). Con la base de datos de registro de presencia de la especie se transformó en cobertura shape (shp) para extraer los valores climáticos, después se generaron sus respectivos intervalos, los cuales fueron los siguientes: la temperatura oscila entre 14 a 16 °C y precipitación entre 903 a 1849 m.

Los procesos de preprocesamiento de las coberturas digitales se llevaron a cabo en el sistema de información geográfica ArcMap™ versión 10.2.1.

Modelo de la distribución espacial. Para determinar la distribución de *A. quercuslaurinus* bajo escenarios de cambio climático se empleó el algoritmo Garp (Genetic Algorithm for Ruleset Production) en su implementación DesktopGarp 1.1.6, descargado de <http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/Download.html>. Garp se construye de modelos predictivos por medio de localidades de ocurrencia y variables ambientales, funciona de manera iterativa mediante un conjunto de reglas que definen las condiciones ecológicas en las que se encuentra la especie (Stockwell y Peters, 1999; Stockwell y Peterson, 2003).

En la construcción de los modelos se generaron 20 por escenario de CC con un límite de convergencia de 0.01 y con 1,000 iteraciones como número máximo. Además, se empleó la regla atómica, distribución negada y regresión logística; asimismo, un umbral de omisión duro (hard) con 10% de error de omisión y un umbral de error de comisión de 50 %. Posteriormente, en el software ArcGis™ versión 10.2.1 se agregaron los 20 modelos de cada escenario, de esta manera se obtuvo el mapa consenso por escenario. El siguiente paso fue generar mapas binarios de presencia y ausencia en base a valores del umbral, que corresponde de 0-16 como ausencia y los valores de 16-20 a presencia.

Para obtener una modelación detallada se realizó un recorte de los modelos binarios y las entidades federativas donde se desarrollan los bosques de encinos bajo estudio, que fue de acuerdo a la información obtenida de la ficha técnica de la Comisión Nacional Forestal (2017) para *Q. laurina* y Rzedowski (2006) para *Q. affinis*. La capa de bosques de encinos se extrajo de la cobertura de Uso de suelo y Vegetación serie V (INEGI, 2013).

Las coberturas ambientales resultantes se manejaron en formato ráster en un Sistema de Coordenadas Geográficas con el Datum WGS 1984 a un tamaño de pixel 900 m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo de Circulación General GFDL-CM3. Bajo el GCM GFDL-CM3, con el escenario RCP 4.5 en el año 2039, los estados con mayor superficie donde se podrían encontrar las condiciones óptimas para *A. querslaurinus* son Jalisco, Michoacán, Estado de México, Oaxaca y Guerrero (Fig. 1). En el último trienio, se estima que alrededor de 1,537 ha de bosques se encuentran afectados (Barrera *et al.*, 2015) bajo el presente modelo de circulación general la superficie afectada es de a 1, 909,546 ha.

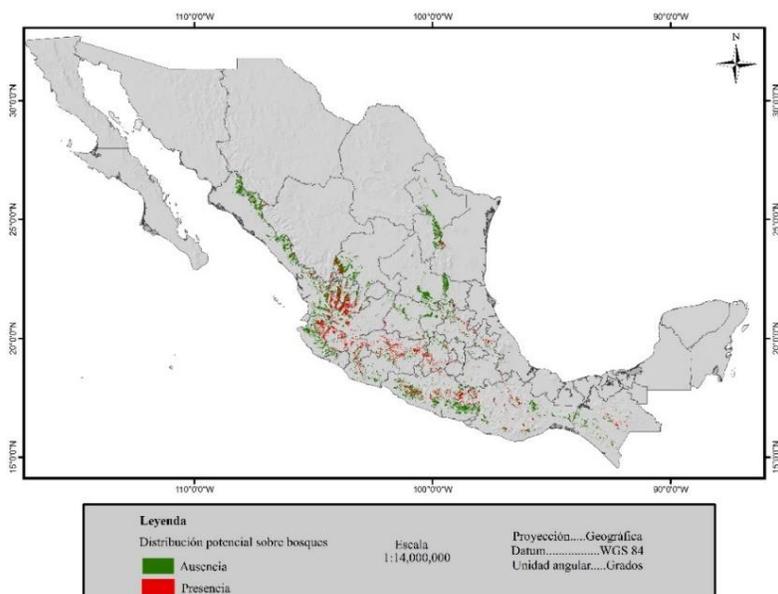


Figura 1. Distribución de *Andricus querslaurinus* con el modelo GFDL-CM3 RCP 4.5 sobre bosques de encino.

Las condiciones ambientales en que la plaga prosperaría, de acuerdo a los resultados, serían en intervalos de temperatura de 14 a 24 °C, con precipitaciones de 651 a 2162 mm. Los rangos anteriores son más amplios con respecto a los actuales (temperatura oscila de 14 a 16 °C y precipitación de 903 a 1,849 mm); es decir, para la primera sería de 8 °C más y la segunda

aumentaría 565 mm. Estos resultados coinciden con otros estudios de evaluación de insectos ante cambio climático, donde la proyección indica que la expansión de estos organismos se realizará hacia zonas con elevaciones altas, donde existan las condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo de la avispa (Carvalho *et al.*, 2015).

El modelo GCM GFDL con el escenario RCP 8.5 indica que habría una mayor superficie con presencia de *A. quercuslaurinus* en comparación con el anterior escenario, con un total de 2,346,582 ha. Las entidades con potencial idóneo para la presencia de la plaga serían Zacatecas, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Guanajuato Hidalgo, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. En cuanto a las condiciones ambientales, *A. quercuslaurinus* tendría una distribución preferente en zonas con temperaturas entre 14 a 24 °C; con relación a la temperatura base habría °C más de amplitud de desarrollo.

De acuerdo con Wagner *et al.* (1984) y Chu y Chao (2000) uno de los factores ambientales que tiene influencia sobre la distribución, desarrollo y sobrevivencia en los insectos es la temperatura. Sin embargo, Maldonado *et al.* (2013) y Ronquist y Liljeblad (2001) comentan que la distribución de los insectos inductores de agallas está limitada por los hospederos, ya que los bosques de encino no podrían crecer en ambientes más calurosos.

Con respecto a la precipitación bajo este escenario de CC, la avispa se desarrollaría en un rango de 585 a 2,165 mm, lo que significaría un aumento en la cantidad de lluvia de aproximadamente 634 mm más que la actual.

Modelo de Circulación General HADGEM-ES. De acuerdo al modelo HADGEM-ES con el escenario RCP 4.5 para 2039, los estados con condiciones óptimas para la presencia de la plaga serían Michoacán y Jalisco, y en menor proporción el Estado de México y Veracruz; abarcando una superficie total de 1,596,074 ha (Fig. 2). La mayor distribución en Jalisco probablemente se deba a que en esta entidad se encuentra mayor diversidad del género *Quercus* (Reich *et al.*, 2008). En términos generales, *A. quercuslaurinus* se desarrollaría preferentemente en áreas que muestren temperaturas de 14 a 24 °C y una precipitación de 808 a 2,209 mm. Estos rangos son superiores con respecto a los intervalos de datos actuales (temperatura de 14 a 16 °C y precipitación de 903 a 1,849 mm, respectivamente).

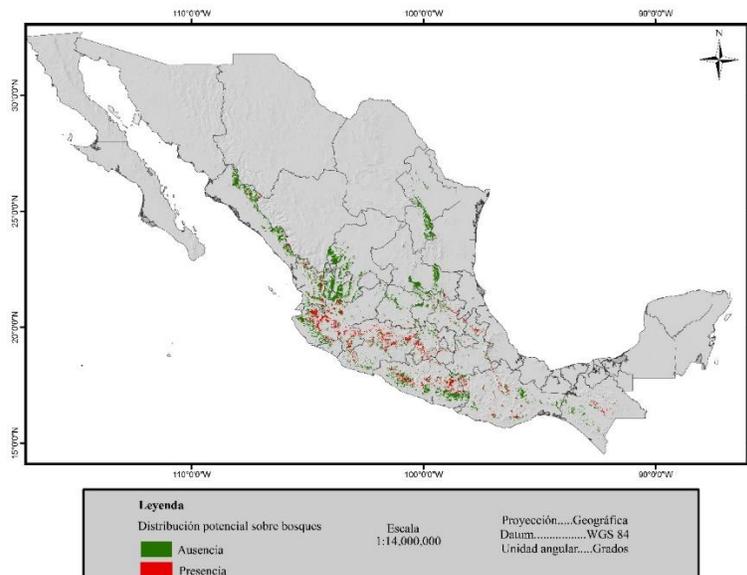


Figura 2. Distribución de *Andricus quercuslaurinus* con el modelo HADGEM2-ESM RCP 4.5 sobre bosques de encinos.

Para el GCM HADGEM2-ESM con escenario RCP 8.5, el área potencialmente adecuada para *A. quercuslaurinus* sería de 1, 656,851 ha, extendiéndose en los estados de Jalisco, Michoacán, Estado de México, Veracruz e Hidalgo. El citado escenario mostraría una distribución prioritariamente sobre sitios con temperaturas de 11 a 24 °C y precipitación de 819 mm a 2,318 mm. Con este escenario, el intervalo de la temperatura sería 11 °C más y 553 mm más de precipitación con respecto al escenario base.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la distribución potencial de la avispa *Andricus quercuslaurinus* bajo escenarios de CC se verá favorecida ya que la modelación arroja una superficie mayor de distribución.

CONCLUSIÓN

La distribución potencial bajo escenarios de cambio climáticos de la avispa *A. quercuslaurinus* podría extenderse hacia los estados de Chiapas, Jalisco, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Zacatecas, con ello aumentará el riesgo de afectación de la sanidad de los bosques de encino.

La temperatura y la precipitación, de acuerdo con los modelos de circulación general, presentarán cambios importantes en el 2039, ya que los resultados siguieren que habrá un aumento en temperatura y precipitación, lo cual afectará de forma positiva los intervalos de estas variables climáticas requeridas para el desarrollo del insecto plaga del encino.

Agradecimientos

Al CENID COMEF del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, al Ing. Oscar Trejo Ramírez, Jefe del Departamento del Laboratorio de Análisis y Referencia en Sanidad Forestal de la SEMARNAT y por último al M. en C. Uriel Barrera Ruiz del Programa de Entomología del Colegio de Postgraduados.

Literatura Citada

- Barrera-R., U. M. 2014. *Biología y control del agallador Andricus quercuslaurinus en el encino Quercus affinis*. Programa de Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, estado. México. 77 pp.
- Barrera-R., U. M., Cibrián, T. D., V. y D. L. Cibrián. 2015. Historia del combate de *Andricus quercuslaurinus* en Acaxochitlán Estado de Hidalgo. Pp. 50. In: *XVIII Simposio Nacional de parasitología forestal*. Ixtapan de la Sal, Estado de México. México.
- Chu, Y. I. and J. T. Chao. 2000. The impact of global change on insects (in Chinese). Pp: 341–366. In: T. C. Wang and W. J. Wu. (Eds.). *Applied Entomology*. National Taiwan University. Taipei, Taiwan.
- Cibrián, T. D., Aquino, B. I., Arriola, P. G., Barrera, R. U. M., Cibrián, L. V. D., Llanderal, A. A., Martínez M. J. J., Morales, B. J., Quiñonez, F. S. A. y C. M. Sánchez. 2013. *Sanidad Forestal para la evaluación de la avispa y control de descortezadores, muérdagos y heno motita*. México: Universidad Autónoma Chapingo-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)- Gobierno del estado de Hidalgo.
- Carvalho, B. M., Rangel, E. F., Ready, P. D. and M. M. Vale. 2015. Ecological niche modelling predicts southward expansion of *Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), vector of *Leishmania (Leishmania) amazonensis* in South America, under climate change. *PloS one*, 10(11): e0143282. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143282>.
- Comisión Nacional Forestal. (2016). Fichas Técnicas elaboradas por el Sistema de Información para la Reforestación: *Quercus laurina*. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/993Quercus%20laurina.pdf>. (Fecha de consulta: 20-I- 2017).

- González-E., M. 2003. *Indicadores de cambio climático en algunas especies de pináceas de la sierra madre occidental de México*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México. 208 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000, serie V (capa unión). Aguascalientes, Aguascalientes. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/>. (Fecha de consulta: 12-IX-2016).
- Maldonado, L. Y., Espinoza, O. N., Pérez, L. G., Quesada, B. V., Oyama, K., Gonzales, R. A. y R. P. Cuevas. 2013. Interacciones antagónicas especialistas en encinos: El caso de los insectos inductores de agallas. *Biológicas*, 1: 32–41.
- Moore, B. y G. Allard. 2008. *Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal*. Documento de trabajo sobre sanidad forestal y bioseguridad forestal, FAO. Roma, Italia. 42 pp.
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III*. Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC. Ginebra, Suiza. 104 p.
- Pujade-Villar, J., Equihua, M. A., Estrada, V E. G. y C. G. Chagoyán. 2009. Estado del Conocimiento de los Cynipini (Hymenoptera: Cynipidae en México: Perspectivas de estudio. *Neotropical Entomology*, 38(6): 809–821.
- Reich, R. M., Aguirre, C. B. and V. A. Bravo. 2008. New approach for modeling climatic data with applications in modeling tree species distributions in the states of Jalisco and Colima, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 72: 1343–1357.
- Ronquist, F. and J. Liljeblad. 2001. Evolution of the gall wasp-host plant association. *Evolution*, 55: 2503–2522.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ra edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 504 pp.
- Stockwell, D. and D. Peters. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *Journal of Geographic Information Systems*, 13: 143–158.
- Stockwell, D. and A. T. Peterson. 2003. Comparison of resolution of methods used in mapping biodiversity patterns from point–occurrence data. *Ecological Indicators*, 3: 213–221.
- Wagner, T. L., Wu, H., Sharpe, P., Schoolfield, R. M. and R. N. Coulson. 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America*, 77: 208–225.