

DISPONIBILIDAD AMBIENTAL DE *Rhagoletis pomonella* Walsh (DIPTERA: TEPHRITIDAE), E INTERACCIÓN GEOGRÁFICA CON ÁREAS CULTIVADAS CON TEJOCOTE (*Crataegus mexicana* Moñ. & Sess, ex DC.) (ROSACEAE), EN MÉXICO

Andrea Luna-Sámano✉, Víctor López-Martínez, Nidia Bélgica Pérez de la O
Dagoberto Guillén-Sánchez, Porfirio Juárez López e Irán Alía-Tejagal

Facultad de Ciencias Agropecuarias, UAEM, Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62209

✉ Autor de correspondencia: lunasam89@gmail.com

RESUMEN. Los tefritidos, constituyen un grave problema fitosanitario para diversas especies de frutales. Para México el género *Rhagoletis* está representado por 35 especies reunidas en 10 grupos, de los cuales el grupo "*pomonella*" tiene un gran impacto económico en tejocote y manzana. Dada la importancia de *Rhagoletis pomonella*, se calculó la disponibilidad ambiental de la especie, así como la interacción geográfica con áreas cultivadas de tejocote (*Crataegus mexicana* Moñ. & Sess, ex DC.) (Rosaceae), en México, para determinar su distribución y diseñar en dónde se implementarían programas de monitoreo, trapeo, inspección, y/o cuarentena. Se emplearon 244 datos de distribución de *R. pomonella* en el país y se calculó la disponibilidad ambiental con el algoritmo de Máxima Entropía, 19 variables bioclimáticas y una topográfica. La mayor disponibilidad ambiental de *R. pomonella* en México fue proyectada en áreas de las provincias biogeográficas del Eje Volcánico Transmexicano (centro), Sierra Madre del Sur, al centro-sur del Altiplano Mexicano, y parte de la Veracruzana. Las variables que influyeron en la distribución potencial de la especie: Isotermalidad (27.5 %), Altitud (24.9 %) y Media del rango diurno (9.1 %). La distribución de este tefritido comprende todas las áreas de producción comercial del tejocote, por lo que futuras medidas de manejo deberán aplicarse en estos espacios y en los alrededores si se desea regular las poblaciones de *R. pomonella*.

Palabras clave: Distribución potencial, mosca de la fruta, manejo integrado de plagas.

Environmental suitability of *Rhagoletis pomonella* Walsh (Diptera: Tephritidae), and its geographic interaction with the Mexican hawthorn (*Crataegus mexicana* Moñ. & Sess, ex DC.) (Rosaceae) crops in Mexico.

ABSTRACT. Tephritid fruitflies, are considered as a main phytosanitary concern for fruit crops. In Mexico, 35 species included in 10 species groups in the *Rhagoletis* genus are reported, but "*pomonella*" species group has a significative importance as pest in Mexican hawthorn and apples. Due to its economic importance as pest, the environmental suitability for *Rhagoletis pomonella*, and its geographic interaction with Mexican hawthorn (*Crataegus mexicana* Moñ. & Sess, ex DC.) (Rosaceae) crops was calculated. Our goal is to determine its geographical distribution for future sampling, trapping, inspection and quarantine programs. 244 sampling distribution points of *R. pomonella* in Mexico were analyzed using the maximum entropy algorithm, 19 environmental and one topographic variable. Higher environmental suitability for *R. pomonella* was projected into the center of Transmexican Volcanic Belt, Sierra Madre del Sur, center-south of Mexican Plateau, and part of Veracruzana biogeographic provinces. The environmental variables that deeply influenced in the species potential distribution were Isothermality (27.5%), Altitude (24.9%), and Diurnal Range Mean (9.1%). Distribution of this tephritid fly in Mexico match with all the Mexican hawthorn commercial crop production areas, future management strategies must be directed to this orchards and surrounded areas for a potential regulation of *R. pomonella* populations.

Keywords: Potential distribution, fruitfly, integrated pest management.

INTRODUCCIÓN

Rhagoletis pomonella Walsh (Diptera: Tephritidae) es una especie de mosca de la fruta que se asocia a frutales nativos y comerciales de la familia Rosaceae. En el país se encuentra asociada principalmente al tejocote (*Crataegus* spp.) y manzano (*Malus pumila* Mill.) (Bush, 1966; Feder,

1995; Hernández-Ortiz *et al.*, 2004; Rull *et al.*, 2009). Aunque de acuerdo a Yee y Goughnour (2008), poblaciones geográficamente aisladas de este díptero han evolucionado para explotar diferentes hospedantes.

El tejocote es un cultivo de importancia económica en ciertas regiones del centro de México, y en zonas de pequeña producción en donde no se tienen sistemas de manejo de esta plaga, es común que se presenten pérdidas cercanas al 100 % de los frutos (Hernández-Ortiz *et al.*, 2004).

Debido la importancia de *R. pomonella* surge la necesidad de investigar su distribución potencial, y conocer las variables ambientales que pueden beneficiar su presencia, así como la interacción geográfica de esta especie con su hospedero. Existen herramientas que pueden ayudar a realizar estos análisis, como son los Sistemas de Información Geográfica, estos modelos pueden identificar áreas adecuadas para el desarrollo de una especie (Peterson *et al.*, 2011). Por lo que facilitaría implementar programas de monitoreo, trampeo e inspección a nivel regional, estatal y/o nacional.

Actualmente no se han establecido patrones de distribución en México de *R. pomonella* y su hospedero, por lo que ésta investigación tiene como objetivo determinar las variables ambientales que favorecen su distribución y determinar las áreas más susceptibles para que esta plaga proliferen.

MATERIALES Y MÉTODO

Registros de ocurrencia. Se obtuvieron datos de distribución de *Rhagoletis pomonella* a partir de colecciones entomológicas (Colección Nacional de Insectos CNIN-Instituto de Biología UNAM), bases de datos mundiales de diversidad (Global Biodiversity Information Facility, GBIF; www.gbif.org; Integrated Digitized Biocollections, IDigBio, www.idigbio.org) y publicaciones científicas (Michel *et al.*, 2007; Muñoz *et al.*, 2011 y Rull *et al.*, 2006). Con la información obtenida se realizó una base de datos con la estructura siguiente: especie, país, estado, localidad, latitud, longitud, hospedera, fuente de información. Para el análisis de la interacción geográfica (López-Martínez *et al.*, 2016) se construyó un archivo tipo shapefile de municipios de México que cultivan *Crataegus mexicana*, de acuerdo con SIAP (2016).

Elaboración de modelo de distribución. La distribución potencial de *R. pomonella* fue calculada mediante el algoritmo de máxima entropía MaxEnt version 3.3.3 (Phillips *et al.*, 2006). Se utilizaron las 19 variables bioclimáticas y una topográfica procedentes de la base de datos de WorldClim (disponible en www.worldclim.com) y descritas por Hijmans *et al.* (2005), con una resolución de 2.5 min. El producto del modelo es la cuantificación de la disponibilidad de hábitat de la especie como una función de las variables ingresadas.

Evaluación del modelo. 244 puntos de distribución fueron integrados a MaxEnt, los parámetros del software para la elaboración del nicho ecológico fueron los siguientes: número máximo de interacciones (500), umbral de convergencia (0.00001), ejecución tipo replicado (10 % de puntos de validación), selección de característica de clases (auto feature), puntos de fondo (10,000) y valores de regularización (1), así como el rechazo de datos duplicados de ocurrencia en las celdas de las variables ambientales. El programa genera las curvas respuesta de la especie a las variables evaluadas, y considera la importancia de cada una de éstas en la distribución de la especie (Phillips, 2006).

El modelo de nicho generado fue evaluado con la prueba Receiver Operating Characteristics (ROC) (Hernández *et al.*, 2006; Phillips and Dudík, 2008), ésta es considerada una medida válida del desempeño relativo del modelo (Phillips y Dudík, 2008). Para evaluar el desempeño del modelo, se consideró lo establecido por Sweets (1988): AUC 0.9-1 = excelente; 0.8-0.9 = bueno; 0.7-0.8 = aceptable; 0.6-0.7 = pobre; 0.5-0.6 = no adecuado. El Optimal Cutoff Point (PCO) fue

determinado con base al umbral más estricto (dentro de 10 percentiles). La importancia de los factores ambientales para el desarrollo del modelo fue evaluada con Jackknife.

Cuadro 1. Variables ambientales bioclimáticas¹ empleadas en el modelado del nicho ecológico de *R. pomonella* en México.

Variable	
ALT	Altitud
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Media del rango diario (media de no.ly (temp max- temp min))
BIO3	Isotermalidad (B2/B7)(*100)
BIO4	Temporalidad de la temperatura (desviación estándar*100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual (P5-P6)
BIO8	Temperatura media del cuartil más húmedo
BIO9	Temperatura media del cuartil más seco
BIO10	Temperatura media del cuartil más cálido
BIO11	Temperatura media del cuartil más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más cálido
BIO15	Temporalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del cuartil más húmedo
BIO17	Precipitación del cuartil más seco
BIO18	Precipitación del cuartil más cálido
BIO19	Precipitación del cuartil más frío

¹version 1.4 (release 3), fuente: www.worldclim.org; Hijmans *et al.*, 2005.

Mapas de Predicción y Distribución. Las capas ambientales a nivel mundial fueron proyectadas para la República Mexicana siguiendo las condiciones requeridas para los modelos de nichos ecológicos y se realizó la interpretación del ecosistema modelado (Guisan y Thuiller, 2005). Los mapas de distribución potencial e interacción geográfica de *R. pomonella* fueron elaborados con ArcMap® 10.3.1 (Esri, Redlands, CA). Las provincias biogeográficas utilizadas fueron las establecidas por Morrone (2005, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor disponibilidad ambiental de *R. pomonella* en México fue concentrada en la parte centro y comprende áreas de las provincias biogeográficas del Eje Volcánico Transmexicano (centro), Sierra Madre del Sur, al centro-sur del Altiplano Mexicano, y parte de la Veracruzana. Mediana disponibilidad fue calculada en la Costa Pacífica Mexicana, Sierra Madre Occidental, Altiplano Mexicano, a lo largo de la Sierra Madre Oriental, este y oeste del Eje Volcánico Transmexicano, parte de la Sierra Madre del Sur, Cuenca del Balsas y Chiapas (Fig. 1). Probabilidad de disponibilidad ambiental baja fue proyectado en Baja California y Yucatán (Fig. 1). No se calculó disponibilidad ambiental para las provincias biogeográficas California, Sonora y Tamaulipeca.

La distribución potencial de *R. pomonella* coincide con lo reportado para dos de los tres grupos de *Crataegus* por Nuñez-Colin *et al.* (2008) en México. Esto indicaría que *R. pomonella* comparte espacios geográficos y similitudes ambientales con su hospedero, como resultado de una relación

coevolutiva. La distribución afín de asociaciones planta hospedera-fitófago parece ser algo común en México, ya que se ha demostrado situación similar para el picudo del nopal, *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal) y áreas cultivadas con nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) (López-Martínez *et al.*, 2016), y para cinco plagas del aguacate (*Persea americana* Mill.) y este frutal (Luna *et al.*, 2017).

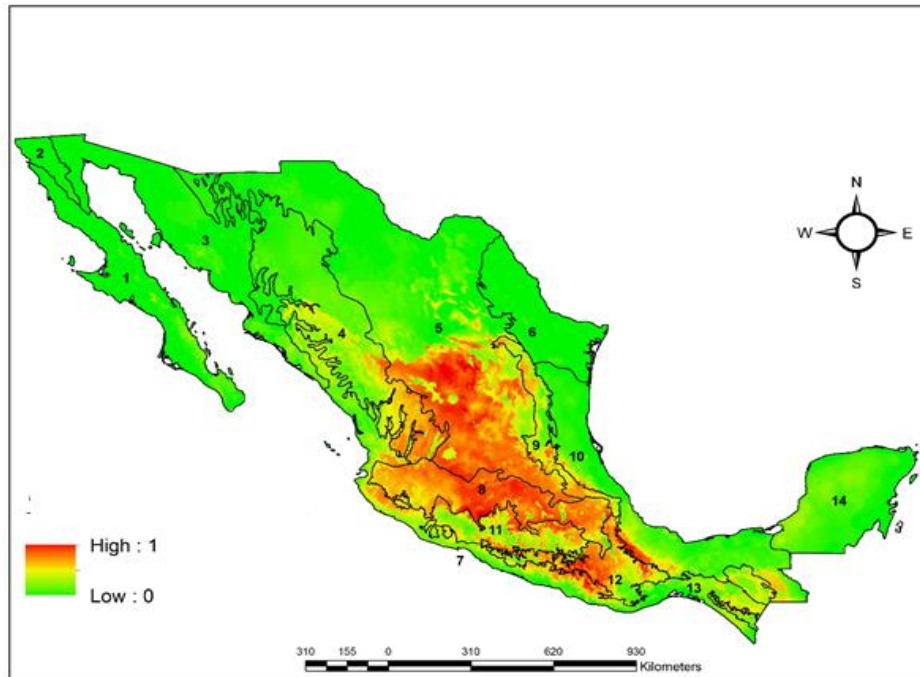


Fig. 1. Distribución potencial de *R. pomonella* en México, de acuerdo a provincias biogeográficas: 1 = California, 2 = Baja California, 3 = Sonora, 4 = Sierra Madre Occidental, 5 = Altiplano Mexicano, 6 = Tamaulipeca, 7 = Costa Pacífica Mexicana, 8 = Eje Volcánico Transmexicano, 9 = Sierra Madre Oriental, 10 = Veracruzana, 11 = Cuenca del Balsas, 12 = Sierra Madre del Sur, 13 = Chiapas, 14 = Yucatán (Morrone 2005, 2014).

Evaluación del modelo ambiental de *R. pomonella*. Las variables que influyeron en la distribución potencial de la especie fueron Isotermalidad (27.5 %), Altitud (24.9 %) y Media del rango diurno (9.1 %). El valor obtenido de AUC fue de 0.992, de acuerdo con lo establecido por Sweets (1988) es considerado excelente. En el país, *Crataegus* spp. se distribuye principalmente entre los 1000 y 2800 m de altitud, en regiones donde los niveles de precipitación pluvial se estiman entre los 500 y 1500 mm anuales y que están ocupadas por bosques de pino-encino (Rzedowski, 1988). Este posiblemente es el ambiente de desarrollo de *R. pomonella*.

Importancia económica. En México, el tejocote tiene una producción nacional estimada en 4,335.91 toneladas anuales, cultivado principalmente en Puebla, quien aporta el 93.85 % de la producción (SIAP, 2016). Hernández-Ortiz *et al.*, 2004, menciona que pese a las pérdidas económicas atribuidas a *R. pomonella*, no existe un protocolo regular para evaluar sus poblaciones, o en su caso, se utilizan los mismos protocolos (tanto biológicos como de detección) establecidos para otras moscas de la fruta (i.e., *Anastrepha* spp.). *Rhagoletis pomonella* muestra distribución amplia que comprende todas las zonas productoras de tejocote en México (Fig. 2), inclusive su presencia es proyectada en zonas en donde posiblemente se desarrolla en hospederos silvestres o de traspatio.

Los mapas que ubican la disponibilidad ambiental de insectos de importancia agrícola son de vital importancia para los responsables en las unidades agrícolas y para quienes toman decisiones políticas (Kumar *et al.*, 2014), bajo este contexto, los resultados reportados aquí permitirán definir geográficamente en dónde aplicar esquemas de manejo integrado de plagas. Proteger las áreas de tejocote en México contra *R. pomonella* deberá comprender los espacios geográficos que las rodean, con la finalidad de regular poblaciones silvestres de este tefrítido.

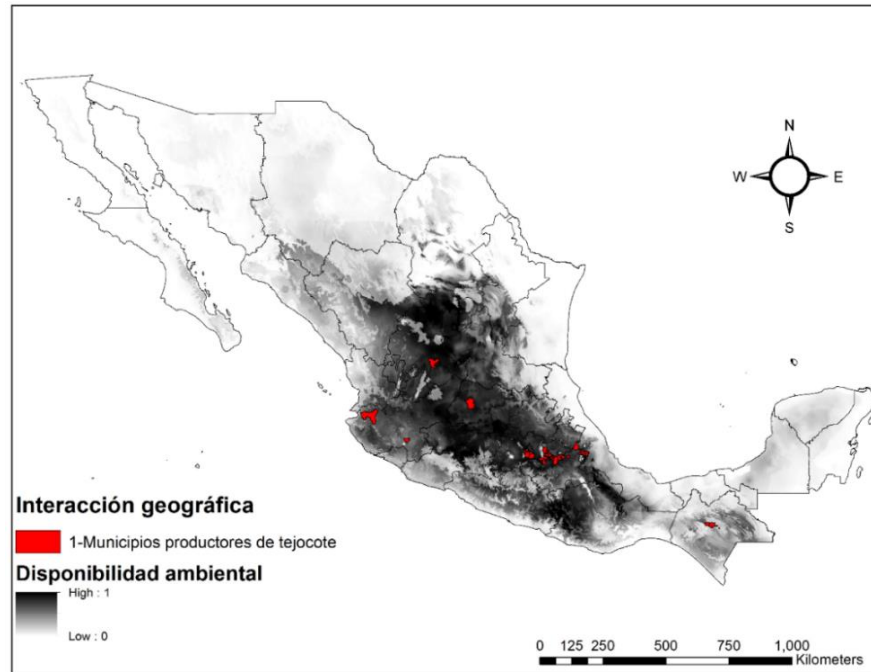


Figura 2. Interacción geográfica de las zonas agrícolas de los municipios productores

CONCLUSIÓN

Rhagoletis pomonella presenta una amplia distribución potencial en México, incluye la parte central del país en las zonas biogeográficas: Eje Volcánico Transmexicano, Sierra Madre del Sur, al centro-sur del Altiplano Mexicano, y parte de la Veracruzana. Las variables que mayor aportaron al modelo de distribución de *R. pomonella* son Isotermalidad, Altitud y Media del rango diurno. Las áreas productoras de tejocote en México se encuentran dentro de las áreas de disponibilidad ambiental del tefrítido. Esta información permite establecer que las zonas de producción de tejocote están rodeadas por ambiente propicio para el desarrollo de *R. pomonella*.

Agradecimientos

A la Colección Nacional de Insectos por el acceso a los registros de colecta. Andrea Luna Sámano recibe apoyo de CONACyT para realizar estudios de posgrado (CONACyT No. 780604).

Literatura Citada

- Bush, G. L. 1966. The taxonomy, cytology and evolution of the genus *Rhagoletis* in North America (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 134: 438–443.
- Feder, J. L. 1995. The effects of parasitoids on sympatric host races of *Rhagoletis pomonella*. *Ecology*, 76: 801–813.

- Guisan, A. and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993–1009.
- Hernández-Ortiz, V., Morales, I. y C. Vergara. 2004. Detección de poblaciones de *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) durante la fructificación de *Crataegus mexicana* (Rosaceae) en Puebla, México. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 20: 119–129.
- Hernández, P. A., Graham, C. L., Master, L. and D. L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modelling methods. *Ecography*, 29: 773–785.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965–1978.
- Hood, G., Wee, Y., Goughnour, R., Sim, S., Egan, S., Arcella, T., Saint-Jean, G., Powell, T., Xu, C. and J. Feder. 2013. The Geographic Distribution of *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) in the Western United States: Introduced Species or Native Population. *Annals of the Entomological Society of America*, 106(1): 59–65.
- Kumar, S., Graham, J., West, A. M. and P. H. Evangelista. 2014. Using district-level occurrences in MaxEnt for predicting the invasion potential of an exotic pest in India. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103: 55–62.
- López-Martínez, V., Sánchez-Martínez, G., Pérez-De la O, N. B., Jiménez-García, D. and T. W. Coleman. 2016b. Environmental suitability for *Agrilus auroguttatus* (Coleoptera: Buprestidae) in Mexico using Maxent and database records of four *Quercus* (Fagaceae) species. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(4): 409–418.
- Luna, A., López-Martínez, V., Pérez-De la O, N. B., Jiménez-García, D., Jones, R., Castañeda-Vildozola, Á. and C. Ruiz-Montiel. 2017. Actual and potential distribution of five avocado regulated pests across Mexico, using the maximum entropy algorithm. *Florida Entomologist*, 100(1). 92–100
- Michel, A. P., Rull, J., Aluja, M. and J. L. Feder. 2007. The genetic structure of hawthorn-infesting *Rhagoletis pomonella* populations in Mexico: Implications for sympatric host race information. *Molecular Ecology*, 16: 2867–2878.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76: 207–252.
- Morrone, J. J. 2014. Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. *Zootaxa*, 3782: 1–110.
- Muñiz-Reyes E., Lomelí-Flores, J. R. y J. Sánchez-Escudero. 2011. Parasitoides nativos de *Rhagoletis pomonella* Walsh (Diptera: Tephritidae) en tejocote *Crataegus* spp. en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 27(2): 425–440.
- Núñez-Colín, C. A., Nieto-Ángel, R., Barrientos-Priego, A., Segura, F., Sahagún-Castellanos, S. y F. González-Andrés. 2008. Distribución y caracterización eco-climática del género *Crataegus* L. (Rosaceae, SUBFAM. Maloideae) en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2): 177–184.
- Phillips, S. J., Anderson R. P. and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.
- Phillips, S. J. and M. Dubik. 2008. Modelling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161–175.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. and M. B. Araújo. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press. 328 p.
- Rull, J., Aluja, M., Feder, J. and S. Berlocher. 2006. Distribution and host range of Hawthorn-infesting *Rhagoletis* (Diptera: Tephritidae) in Mexico. *Annals of the Entomological Society of America*, 99(4): 662–672.
- Rull, J., Wharton, R., Feder, J. L., Guillén, L., Sivinski, J., Forbes A. and M. Aluja. 2009. Latitudinal Variation in parasitoid guild composition and parasitism rates of North American hawthorn infesting *Rhagoletis*. *Environmental Entomology*, 38: 588–599.
- Rzedowski, J. 1988. *Vegetación de México*. Edit. Limusa, Cuarta reimpresión. México, 432 pp.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. *Atlas Agroalimentario 2016*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México.
- Sweets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240: 1285–1293
- Yee, L. W. and R. B. Goughnour. 2008. Host plant use by and new host records of apple maggot, western cherry fruit fly, and other *Rhagoletis* species (Diptera: Tephritidae) in western Washington state. *Pan-Pacific Entomologist*, 84: 179–193.