



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y ENDEMISMO DE
Phyllophaga (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE:
MELOLONTHINAE) GRUPOS ANODENTATA, RAVIDA,
OBSOLETA Y SETIDORSIS PARA MÉXICO.

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
DESARROLLO RURAL.**

P R E S E N T A:

M.C. Nidia Bélgica Pérez De la O

CODIRECTORES DE TESIS:

DR. VÍCTOR LOPÉZ MARTÍNEZ

Dr. DANIEL JÍMENEZ GARCÍA



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Morelos, México. Noviembre del 2018

PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y ENDEMISMO DE *Phyllophaga* (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE: MELOLONTHINAE) GRUPOS ANODENTATA, RAVIDA, OBSOLETA Y SETIDORSIS PARA MÉXICO.

Tesis realizada por **Nidia Bélgica Pérez De la O** bajo la dirección del comité Revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR:

Co-Director de tesis: _____
Dr. Víctor López Martínez

Co-Director de tesis: _____
Dr. Daniel Jiménez García

Revisor: _____
Dr. Agustín Aragón García

Revisor: _____
Dr. Dagoberto Guillen Sánchez

Revisor: _____
Dr. Irán Alía Tejacal

Revisor: _____
Dr. Porfirio Juárez López

Revisor: _____
Dr. Héctor Sotelo Nava

Revisor: _____
Dr. Manuel de Jesús Sainz Aispuro

Cuernavaca, Morelos, Noviembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada No.260517 para realizar el doctorado durante el periodo de agosto del (2014-2018).

A la facultad de Ciencias Agropecuarias por el esfuerzo que realizan para que podamos realizar nuestros estudios.

Al Dr. Víctor López Martínez, Dr. Dagoberto Guillen Sánchez, Dr. Daniel Jiménez García, Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Irán Alía Tejacal, Dr. Agustín Aragón García, Dr. Héctor Sotelo Nava, Dr. Manuel de Jesús Sainz Aispuro, por todas sus aportaciones y apoyo a lo largo del presente trabajo de investigación.

Dedicatorias

A mi esposo: por su amistad, amor y apoyo, estando conmigo en los momentos buenos y difíciles, por siempre creer en mí y darme fuerza cuando siempre lo he necesitado.

A mis padres: Que a lo largo de toda la vida siempre me han apoyado y estado conmigo.

Mis hermanos: Alma, Michelle y Johan a quienes amo con todo mi corazón.

Mis amigos de toda la vida: Victor, Kare, Abril, Roberto, Roger, Carlitos, Ingrid, Doris, porque aun en la distancia, me apoyan con sus risas, bromas y travesuras.

A mi amigo Alexis: que aun que físicamente ya no se encuentra con nosotros, espero nos esté mirando, riendo y sabiendo que pensamos en él y seguiremos compartiendo todos nuestros logros como siempre.

A mi amiga Lety: Gracias por ser parte de mi vida, por apoyarme y estar conmigo siempre y estar ahí cuando le he necesitado.

A mi amiga Irene: por acompañarme en este proyecto que inicio desde la maestría, por compartir todos los momentos que hemos pasado a lo largo de toda esta investigación y por darnos animo mutuamente en cada paso de esta aventura.

A todas las personas y amigos que me ayudaron y dieron su conocimiento y apoyo, ayudándome en correr análisis, instalar programas y desafíos que presento esta investigación.

Índice General

Índice de Cuadros	vii
Índice de Figuras	viii
Resumen	ix
1. Introducción general	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
Literatura citada	4
Capítulo 1. Interacción geográfica del nicho ecológico de <i>Phyllophaga ravid</i> a y dos cultivos agrícolas en México	7
Interacción Geográfica del Nicho Ecológico de <i>Phyllophaga ravid</i> a y Dos Cultivos Agrícolas en México	9
Abstract	10
Introducción	10
Materiales y Métodos	11
Obtención de puntos de presencia	11
Elaboración y calibración de los modelos	12
Resultados y Discusión	16
Referencias Citadas	21
Capítulo 2	25
Patrones de distribución y endemismo de <i>Phyllophaga</i> (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupos anodentata, ravida, obsoleta y setidorsis para México	25
Resumen	26
Introducción	28
Materiales y Métodos	29
Registro de distribución de especies	29
Área de estudio	30
Elaboración de modelos de nicho potencial	31
Evaluación de modelos	31
Resultados y Discusión	33
Grupo ravida	33
Grupo obsoleta	36

Grupo setidorsis	38
Grupo anodontata	41
Conclusiones	45
Bibliografía	46
Conclusiones generales	54

Índice de Cuadros

Cuadros capítulo I

Cuadro 1. Variables Bioclimáticas Empleadas en el Modelo de <i>Phyllophaga ravida</i> para México.....	13
Cuadro 2. Complejidad (características seleccionadas en Maxent), Número de Parámetros y Métodos de Evaluación de Modelos de Nicho de <i>Phyllophaga ravida</i> en México.....	15

Cuadros Capítulo II

Cuadro 1. Especies incluidas en los análisis pertenecientes a los grupos anodontata, ravida, obsoleta y setidorsis del género <i>Phyllophaga</i>	30
Cuadro 2. Valores de los mejores modelos obtenidos de acuerdo a su complejidad y nivel de significancia, de los análisis pertenecientes a los grupos anodontata, ravida, obsoleta y setidorsis del género <i>Phyllophaga</i>	32

Índice de Figuras

Figuras capítulo I

- Figura 1. Idoneidad ambiental de *Phyllophaga ravid*a (Coleoptera: Melolonthidae) en México.....16
- Figura 2. Interacción geográfica de la idoneidad ambiental de *Phyllophaga ravid*a y municipios que cultivan maíz en México. 1: Hidalgo. 2: Morelos, 3: Oaxaca, 4: Puebla, 5: Colima, 6: Chiapas, 7: Guerrero, 8: Jalisco, 9: Michoacán.....18
- Figura 3. Interacción geográfica de la idoneidad ambiental de *Phyllophaga ravid*a y municipios que cultivan caña de azúcar en México. 1: Hidalgo. 2: Morelos, 3: Oaxaca, 4: Puebla, 5: Colima, 6: Chiapas, 7: Guerrero, 8: Jalisco, 9: Michoacán.....19

Figuras capítulo II

- Figura 1. Nicho potencial de especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo *ravid*a, en México.....34
- Figura 2. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo *ravid*a y su interacción con maíz en México.....36

Figuras capítulo II

- Figura 3. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo obsoleta en México.....37
- Figura 4. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo obsoleta e interacción con las áreas agrícolas de México...38
- Figura 5. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo setifera en México.....40
- Figura 6 Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo setifera y su interacción con el cultivo del Maíz.....41
- Figura 7 Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo anodentata en México.....43
- Figura 8. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo anodentata y su interacción con áreas agrícolas de México.....44

Resumen

El conjunto de especies que conforman el complejo "gallina ciega", integra a las plagas de suelo de mayor impacto económico en Latinoamérica. Dentro de este complejo destaca el género *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae), el cual es importante debido a que las larvas de algunas especies se asocian con cultivos agrícolas, y en muchos sitios llegan a comportarse como plagas. Los grupos anodentata, ravidata, obsoleta y setidorsis, comprenden a 51 especies, de importancia económica debido al daño causado por las formas inmaduras. Dentro de estos grupos destaca *P. ravidata*, (Blanchard) por ser la especie más frecuente en la República Mexicana. Se procedió a realizar 174 modelos candidatos de nicho potencial en el programa Rstudio® ver. 3.3, con el paquete r Kuenm. Posteriormente se sometieron a evaluación estadística, con la finalidad de valorar su complejidad y determinar su nivel de significancia. El grupo anodentata presentó la mayor área geográfica con disponibilidad ambiental, grupo ravidata mostró similitud con el del grupo obsoleta, observándose un solapamiento de nicho; mientras que el nicho del grupo setifera se concentró más al centro y sur del país.

Palabras clave: Modelo de nicho, gallina ciega, disponibilidad ambiental.

1. Introducción general

Las plagas agrícolas son una de las principales causas de pérdidas de rendimiento en los cultivos, éstas junto con las enfermedades, ocasionan la disminución entre 10 y 40 % de la producción a nivel global (Esperanza *et al.*, 2013). El conjunto de especies que conforman el complejo "gallina ciega", integra a las plagas que habitan en el suelo de mayor impacto económico en Latinoamérica, reportadas en más de 40 cultivos, en los cuales pueden causar desde un amarillamiento de las plantas hasta la pérdida total (Marín y Bújanos, 2008).

Dentro de este complejo destaca el género *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae), el cual es importante debido a que las larvas de algunas especies se asocian con cultivos agrícolas, y en muchos sitios llegan a comportarse como plagas, reduciendo los rendimientos (Pacheco y Castro, 2005) en Norteamérica y América Central (Pardo y Morón, 2006).

La diversidad y distribución de Melolonthidae en México fue estudiada por Morón *et al.* (2014) a nivel de entidad federativa, quienes consideraron que las especies con mayor abundancia se encuentran en ambientes fríos-húmedos y templado-húmedos, mientras que especies con abundancia moderada o baja, se presentan en ambientes cálidos-húmedos y cálidos-secos. Sin embargo, el papel que juegan variables ambientales en la distribución actual del género *Phyllophaga* en el país ha sido poco abordado.

Los grupos anodontata, ravidata, obsoleta y setidorsis, comprenden a 51 especies, varias consideradas de importancia económica debido al daño causado por las formas inmaduras (Morón *et al.*, 1996). Dentro de estos grupos destaca *P. ravidata*, (Blanchard) por ser la especie más frecuente en la República Mexicana (Morón, 2010), registrada principalmente como problema fitosanitario de maíz y caña de azúcar (Morón *et al.*, 1998; Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez, 2000; Pérez-Agís *et*

al., 2004; Aragón-García *et al.*, 2012) así como en agave tequilero (Lugo-García *et al.*, 2011), hortalizas y ornamentales (Vallejo *et al.*, 2007).

De acuerdo a Trotta-Moreu *et al.* (2008), la distribución real de los organismos está influida por variables geográficas, históricas o por limitantes de dispersión. Por lo que conocer las variables ambientales que limitan la distribución de estas especies ayudaría a conocer las áreas geográficas con mayor vulnerabilidad a estos insectos. Actualmente existen técnicas de modelación que suelen representar simulaciones de la distribución potencial de las especies, mapas de idoneidad o probabilidad, que indican la presencia de lugares favorables desde el punto de vista climático para la disposición de la especie. Estos modelos permiten representar cartográficamente la idoneidad de un área para la presencia de una especie en función de diferentes variables ambientales (Varela *et al.*, 2014). Para Cruz-Cárdenas *et al.* (2014) el uso de estos algoritmos permite calcular la distribución potencial de especies y entre otras cosas, identificar sitios de interés como pueden ser áreas ricas en especies o taxones amenazados (Seoane y Bustamante, 2001), o la posible interacción geográfica de insectos con cultivos agrícolas (López-Martínez *et al.*, 2016).

Estos estudios han sido realizados por diferentes autores para identificar áreas con idoneidad para insectos plagas (Pérez-De la O *et al.*, 2016a; 2016b, Luna *et al.*, 2017). Estos modelos permiten analizar objetivamente los patrones espaciales de presencia de organismos: basándose en procedimientos estadísticos y cartográficos y partiendo de datos reales de presencia, permitiendo inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales (Mateo *et al.*, 2011). Morales (2012) se refiere a estos modelos como una valiosa herramienta para determinar la distribución de especies poco estudiadas o con información limitada, y pueden ser de gran ayuda en la generación de información biológica base no disponible que puede contribuir a diseñar estrategias tendientes a disminuir los efectos dañinos hacia los cultivos agrícolas. Un ejemplo sería diseñar programas de manejo para plagas invasoras y/o calcular con mayor precisión los sitios en donde aplicar estrategias de monitoreo.

Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue identificar las áreas con idoneidad ambiental para las especies de importancia agrícola pertenecientes a cuatro grupos de especies del género *Phyllophaga* (anodentata, ravidia, setidorsis y obsoleta) en México. El capítulo primero aborda la modelación de *P. ravidia* plaga importante en maíz y caña de azúcar a nivel nacional, mientras que en el capítulo segundo se aborda la distribución de los grupos anodentata, ravidia, setidorsis y obsoleta; así como la interacción geográfica de cada grupo de *Phyllophaga* con los cultivos hospederos más relevantes por grupo de gallina ciega.

Objetivo general

Identificar las áreas con idoneidad ambiental que favorecen la presencia de cuatro grupos de especies del género *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) en México.

Conocer la Interacción geográfica del nicho ecológico de *Phyllophaga ravidia* y dos cultivos agrícolas en México.

Objetivos específicos

Estimar las áreas geográficas donde interactúan el nicho potencial de las especies del género *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) y en las áreas agrícolas de México.

Hipótesis

La mayor idoneidad ambiental de los grupos anodentata, obsoleta, ravidia y setidorsis se relaciona con las áreas agrícolas de México.

Literatura citada

- Aragón-García, A., Morón, M. A., Damián-Huato, M. A., López-Olguín, J. F., Pinson-Rincón, E. P. y Pérez-Quintanilla, J. N. 2012. Fauna de Coleoptera Lamellicornia de la zona cañera del ingenio de Atencingo, Puebla, México. *Acta Zoológica Mexicana* 28: 161-171.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E. and Ortiz, E., 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 20: 188-201.
- Esperanza A., E. V., Gaona, J. A. y Astier, M. 2013. Incidencia de gallina ciega, sistemas de manejo campesinos y variabilidad climática en la comunidad de Napízaro, Michoacán (México). *Agroecología* 8: 53-62.
- López-Martínez, V., Pérez-De-la-O, N. B., Ramírez-Bustos, I. I., Alia-Tejacal, I. y Jiménez-García, D. 2016. Current and potential distribution of the cactus weevil, *Cactophagus spinolae* (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *The Coleopterists Bulletin* 70(2): 327-334.
- Lugo-García, G. A., Ortega-Arenas, L. D., González-Hernández, H., Aragón-García, A., Romero-Nápoles, J., Rubio-Cortés, R. y Morón, M. A. 2011. Melolonthidae nocturnos (Coleoptera) recolectados en la zona agrícola agavera de Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 27: 341-357.
- Luna, A., López-Martínez, V., Pérez-De la O, N. B., Jiménez-García, D., Jones, R., Castañeda-Vildozola, Á. & 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.
- Marín, A., y Bujanos, R. 2008. Especies del complejo "gallina ciega" del género *Phyllophaga* en Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*. 34: 349-355.
- Mateo G., R., Felicísimo, A. M. Y Muñoz, J. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 217-240.

- Morales S, N. 2012. Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. *Revista Conservación Ambiental* 2 (1): 1-5.
- Morón, M. A. 2010. Diversidad y distribución del complejo "gallina ciega" (Coleoptera: Scarabaeoidea) (pp. 41-64). En: Rodríguez d., L. A. y Morón, M. A. (Eds.) *Plagas del suelo*. Editorial Aedos, S. A. México, D.F.
- Morón, M. A., Deloya C., Ramírez-Campos, A. y. Hernández-Rodríguez, S. 1998. Fauna de Coleoptera Lamellicornia de la región de Tepic, Nayarit, México. *Acta Zoologica Mexicana*. 75: 73-116.
- Morón, M. A., Hernández-Rodríguez, S. & Ramírez-Campos, A. 1996. El complejo "gallina ciega" (Coleóptera: Melolonthidae) asociado con la caña de azúcar en Nayarit, México. *Folia Entomológica Mexicana* 98: 1-44.
- Morón, M. A., Nogueira, G., Rojas-Gómez C. V. y Arce-Pérez, R. 2014. Biodiversidad de Melolonthidae (Coleóptera) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 298-302.
- Pacheco F., C. y Castro R., A. E. 2005. Primer registro de *Phyllophaga (Phytalus) rufotestacea* (Moser, 1918) (Coleoptera: Scarabaeoidea) para México y Chiapas. *Acta Zoológica Mexicana* 21(2): 157-158.
- Pardo L., L. C. y Morón, M. A. 2006. Redescrición de inmaduros y distribución de la Chisa *Phyllophaga menetriesi* (Blanchard) en los Andes colombianos. (Coleoptera: Melolonthidae). *Acta Agronómica* 55(4): 13-20.
- Pérez-Agis, E., Vázquez-García, M., González-Eguiarte, D., Pimienta-Barrios, E., Nájera Rincón, M. B. y Torres-Morán, P. 2004. Sistemas de producción de maíz y población de macrofauna edáfica. *Terra. Latin*. 22: 335-341.
- Pérez-De la O, N. B., López-Martínez, V., Jiménez-García, D. y Campos-Figueroa, M. 2016a. Model simulation of potential distribution of *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) in grape, *Vitis vinifera* (L.) vineyards regions of Mexico. *Southwestern Entomologist* 41(3): 693-703.
- Pérez-De la O, N. B., López-Martínez, V., Jiménez-García, D. y Campos-Figueroa, M. 2016b. Predicción de la disponibilidad ambiental de *Bulia schausi* (Lepidoptera: Noctuidae), una plaga potencial de brócoli en México. *Southwestern Entomologist* 41(1): 163-169.

- Ramírez-Salinas, C., y Castro-Ramírez, A. E. 2000. El complejo “gallina ciega” (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de maíz, en el madronal, municipio de Amatenango del Valle, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 79: 17-41.
- Seoane, J. y Bustamante, J. 2001. Modelos predictivos de la distribución de especies: una revisión de sus limitaciones. *Ecología* 15: 9-21.
- Trotta-Moreu, N., Lobo M., J. y Cabrero-Sañudo, F. 2008. Distribución conocida y potencial de las especies de Geotrupinae (Coleoptera: Scarabaeoidea) en México. *Acta Zoológica Mexicana* 24(2): 39-65.
- Vallejo, F., Morón, M. A. y Orduz, S. 2007. Biología de *Phyllophaga obsoleta* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae), especie rizófaga del complejo “chisa” de Colombia. *Boletín Científico, Centro de Museos de Historia Natural*. 11: 188-204.
- Varela S., Mateo, R. G, García-Valdés, R. y Fernández-González F. 2014. Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas* 23(1): 46:53.

**Capítulo 1. Interacción geográfica del nicho ecológico de *Phyllophaga ravid*
y dos cultivos agrícolas en México¹**

¹ Este capítulo fue aceptado para su publicación en la revista *The Southwestern Entomologist*, y sigue el formato de la misma.



20Sep18

Estimado Dr. López: me es grato comunicarle que su manuscrito 'Interacción Geográfica del Nicho Ecológico de *Phyllophaga ravidia* y Dos Cultivos Agrícolas en México', SWE#2970 de los autores Nidia Bélgica Pérez-De la O, Víctor López-Martínez, Daniel Jiménez-García, Agustín Aragón-García, Dagoberto Guillen-Sánchez, Porfirio Juárez-López e Irán Alía-Tejacal, ha sido aceptado para publicarse en la revista *Southwestern Entomologist*.

Sin más por el momento reciba un afectuosos saludo y le agradecemos su interés de publicar su interesante trabajo en nuestra revista.

Atentamente,

Carlos A. Blanco

Carlos A. Blanco, Editor asociado

Carlos.a.blanco@aphis.usda.gov / carlos.blanco1206@gmail.com /

cblancom@unm.edu

Cc. Dr. Bonnie Pendleton, Editor-in-Chief

Geographic interaction of the *Phyllophaga ravid*¹ Ecological Niche and Two Crops in Mexico

Interacción Geográfica del Nicho Ecológico de *Phyllophaga ravid*² y Dos Cultivos Agrícolas en México

Nidia Bélgica Pérez-De la O², Víctor López-Martínez^{3*}, Daniel Jiménez-García⁴, Agustín Aragón-García³, Dagoberto Guillen-Sánchez⁵, Porfirio Juárez-López² e Irán Alía-Tejaca²

Resumen. En México, uno de los principales problemas fitosanitarios que afectan al maíz y caña de azúcar es el daño causado por larvas rizófagas de *Phyllophaga ravid* (Blanchard) (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae). El conocimiento de su distribución actual se basa solo en datos de colecta. Los modelos de nicho potencial de especies emplean algoritmos que permiten estimar las interacciones geográficas de una plaga con respecto a la distribución de un cultivo. Esto puede ser de utilidad en el momento de diseñar programas de monitoreo. Con esta finalidad se recopiló información de la distribución de *P. ravid* proveniente de material depositado en colecciones entomológicas y literatura científica; esta información fue ingresada al logaritmo de máxima entropía Maxent con 15 variables ambientales. Se calculó que las áreas con idoneidad ambiental para *P. ravid* comprenden estados del centro y oeste del país: Hidalgo, Morelos, Oaxaca y Puebla; y áreas específicas de Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán y

² Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae.

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Av. Universidad 1001, Colonia Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. C.P. C.P. 62209, México. *Autor para correspondencia: victor.lopez@uaem.mx

⁴ Centro de Agroecología y Ambiente, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 12 Sur 6301, Col. San Manuel, Puebla, Puebla, 72570, México.

⁵ Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, UAEM, Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial Cautla, Xalostoc, Ciudad Ayala, Morelos. C.P. 62740, México.

Veracruz. Las áreas en que *P. ravidia* realiza mayor daño a los cultivos coincide con la disponibilidad ambiental apropiada.

Abstract

In México, one of the main phytosanitary problems affecting corn and sugarcane is the damage caused by the rhizophagous larvae of *Phyllophaga ravidia* (Blanchard) (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae). Knowledge of the actual distribution is largely based on specimen collection data. Potential species niche models use algorithms to estimate the geographic interactions of a pest with respect to the distribution of a crop. This tool can be useful for designing monitoring programs. For this purpose, the information on the distribution of *P. ravidia* was analyzed from material deposited in entomological collections and scientific literature; this data was incorporated into the Maxent entropy logarithm with 15 environmental variables. Areas with environmental suitability for *P. ravidia* include the central and western states of Mexico: Hidalgo, Morelos, Oaxaca, and Puebla; with particular areas in Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán and Veracruz. Areas in which *P. ravidia* does the most damage to these crops coincide with the appropriate environmental availability.

Introducción

El conjunto de especies de insectos que conforman el complejo "gallina ciega", integra a las plagas de suelo de mayor impacto económico en latinoamérica, reportadas en más de 40 cultivos, en los cuales pueden causar desde amarillamiento hasta pérdida total de la planta infestada (Marín y Bujanos 2008). El complejo de gallinas ciegas *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) es uno de los grupos de insectos plaga más importantes del cultivo

del maíz en México, con más de un millón de hectáreas afectadas (Blanco et al. 2014).

Dentro de este complejo destaca *P. ravidia* (Blanchard), registrada principalmente como problema fitosanitario de maíz y caña de azúcar (Aragón-García et al. 2012, Pérez-Agis et al. 2004, Morón et al. 1998, Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez 2000), así como en agave tequilero (Lugo-García et al. 2011), hortalizas y ornamentales (Vallejo et al. 2007).

Determinar la distribución actual y potencial de una especie plaga es vital para definir dónde establecer con mayor precisión programas de monitoreo. Los modelos de nicho ecológico son una fuente predictiva de inferencias nuevas de la distribución de las especies en el espacio, tiempo y medio ambiente (Peterson et al. 2011). Esta técnica permite representar cartográficamente la idoneidad de un área para la presencia de una especie en función de diferentes variables ambientales (Varela et al. 2014). El objetivo de este trabajo fue identificar las áreas con mejores condiciones ambientales para *P. ravidia* en México, así como calcular su interacción con dos cultivos agrícolas.

Materiales y Métodos

Obtención de puntos de presencia

Se recopiló información de la distribución de *P. ravidia* de material depositado en colecciones entomológicas (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP; Instituto Nacional de Ecología, IEXA; Colección Nacional de Insectos, CNIN), literatura científica especializada, bases de datos de diversidad (Global Biodiversity

Information facility, www.gbif.org y Red Mundial de Información sobre Biodiversidad, www.biodiversidad.gob.mx/especies/REMIB.html). La información obtenida se integró a una base de datos en Excel®, con las siguientes columnas: género, subgénero, grupo de especies, especie, autor, estado, municipio, localidad, fecha de colecta, latitud, longitud, cultivo, colección entomológica y/o cita bibliográfica.

Elaboración y calibración de los modelos.

Con base a la información obtenida, se definió el área geográfica que ha sido accesible para la especie desde su origen, a través de medios antropogénicos u otros medios (factor M= Movimiento, del diagrama BAM de Soberón y Peterson 2005), delimitando la distribución de *P. ravidia* de acuerdo al criterio de regiones bióticas planteado por Barve et al. (2011): los datos de presencia de *P. ravidia* fueron proyectados en el mapa mundial de ecorregiones de Olson et al. (2001) y se seleccionaron aquellas en donde al menos un punto de colecta fuese observado. Posteriormente se realizó una prueba de *Jackknife* con la configuración predeterminada (Phillips y Dudík 2008) de Maxent ver. 3.4 (Phillips et al. 2004) para conocer la aportación de 15 variables ambientales (Cuadro 1), al modelo con el logaritmo de máxima entropía.

Cuadro 1. Variables Bioclimáticas Empleadas en el Modelo de *Phyllophaga ravida* para México.
 Table 1. Bioclimatic Variables Used in the *Phyllophaga ravida* Ecological Niche Modelling for Mexico.

Variable	
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Media del rango diario (media de no.ly (temp max- temp min))
BIO3	Isotermalidad (P2/P7)(*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)
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

De acuerdo con Torres y Jayat (2010), Maxent implementa un algoritmo de máxima entropía que genera la distribución de probabilidad sobre los pixeles presentes en el área de estudio, considerando la estimación de una distribución de probabilidad desconocida. La solución menos sesgada es aquella que maximiza su entropía, sujeto a algunas limitantes (la asociación entre las localidades de presencia y las variables ambientales). Para eliminar variables correlacionadas, los resultados de Maxent se analizaron con PAST ver. 2.17c., y se descartaron tomando

como referencia los resultados del *Jackknife*. Consecutivamente se seleccionaron diferentes características en Maxent, utilizando *clamping*, formato de salida *logistic* y el resto de las opciones predeterminadas del software.

Evaluación de modelos. Se sometieron a evaluación estadística 22 modelos con Rstudio® ver. 3.3, con la finalidad de valorar su complejidad y determinar su nivel de significancia. Se empleó el criterio de información de Akaike corregido (AICc). Esta métrica evalúa mediante la estandarización de los puntajes brutos, de modo que todas las puntuaciones dentro del espacio geográfico sumen 1 para posteriormente calcular la probabilidad de los datos proporcionados (Warren y Seifert 2011). Además, penaliza modelos con valores altos de parametrización. Posteriormente, se calculó la Roc Parcial (Peterson et al. 2008) para conocer los valores de significancia ($\alpha \leq 0.05$) para cada modelo (Cuadro 2). Se seleccionó aquel con menor complejidad, menor valor de AICc, y con significancia estadística.

Cuadro 2. Complejidad (características seleccionadas en Maxent), Número de Parámetros y Métodos de Evaluación de Modelos de Nicho de *Phyllophaga ravid*a en México.

Table 2. Complexity (features selected in Maxent), Number of Parameters, and Evaluation Methods for *Phyllophaga ravid*a's Niche Models in Mexico.

Características/features	Número de parámetros/No. Parameters	AICc*	Curva parcial ROC/Partial ROC curve
LQ	9	2773.318	0
LQP	10	2754.723	0
PL	9	2786.711	0
QP	10	2754.776	0
TH	40	2822.616	0.032
THL	42	2829.66	0.036
QTH	40	2820.059	0.038
THLQ	38	2812.037	0.038
THQ	40	2820.059	0.04
TL	5	2849.112	0.04
LQPTH	40	2811.532	0.048
QPTH	34	2787.406	0.048
HLQ	38	2812.037	0.052
PTH	36	2793.279	0.052
HL	42	2829.660	0.056
LQPT	10	2754.723	0.06
QH	40	2820.059	0.064
QPT	10	2754.776	0.104
PT	8	2788.482	0.136
HLP	36	2794.588	0.218
PH	36	2793.279	0.238
LQPH	40	2811.532	0.374

*AICc= criterio de información de Akaike corregido.

La disponibilidad ambiental se evaluó con el valor de la curva “Area Under the Receiver Operating Characteristic” (ROC) (índice AUC), el cual realiza una medida válida del desempeño relativo del modelo (Hernández et al. 2006, Phillips y Dudík 2008).

Resultados y Discusión

Las áreas con idoneidad ambiental para *P. ravidia* comprendieron estados del centro y oeste de México. Se calcularon las áreas con disponibilidad mayor en Hidalgo, Morelos, Oaxaca y Puebla; mientras que, en Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Veracruz, el nicho de la especie se delimitó a áreas específicas sin abarcar grandes superficies (Figura 1). Lo anterior coincide con lo establecido por Hernández-Cruz et al. (2014) quienes establecen que las especies de *Phyllophaga* del grupo *ravidia* proliferan en climas templados a cálidos, desde nivel del mar hasta 2500 m, con posible origen evolutivo en ambientes de mediana elevación en vertientes occidentales del país.

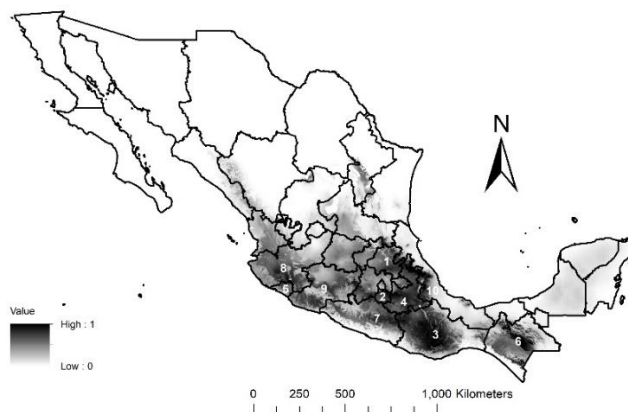


Figura 1. Idoneidad ambiental de *Phyllophaga ravidia* (Coleoptera: Melolonthidae) en México.

Figure 1. Environmental suitability for *Phyllophaga ravidia* (Coleoptera: Melolonthidae) in Mexico.

Desde el punto de vista alimentario, el maíz es el cultivo más importante en México, cultivándose 7'540,942.12 ha. Noventa y cuatro por ciento de los municipios del país siembran este grano básico (SIAP 2018), de éstos solo aquellos pertenecientes a Hidalgo, Estado de México, Puebla, Morelos y Oaxaca, coinciden con la mayor disponibilidad ambiental para *P. ravida*; así como municipios del centro del estado de Jalisco, norte de Colima, centro y noreste de Guerrero, centro y noreste de Chiapas y oeste de Veracruz (Figura 2). Esta interacción coincide con lo reportado por Ramírez y Castro (1998), quienes señalan que, en Chiapas, *P. ravida* provoca daños severos al sistema radicular, lo que favorece el acame de plantas (Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez 2000).

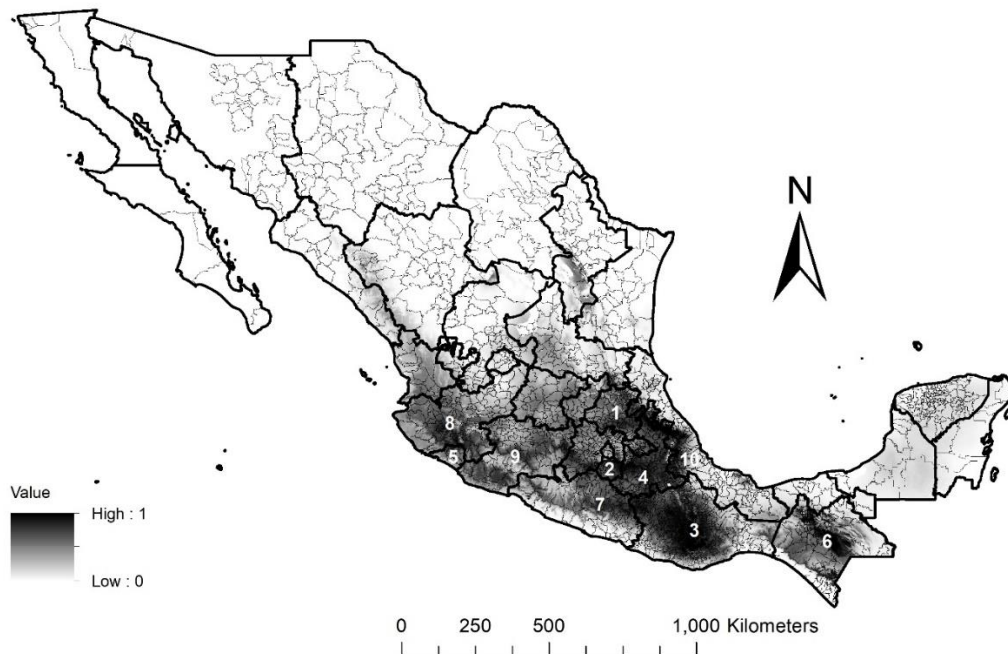


Figura 2. Interacción geográfica de la idoneidad ambiental de *Phyllophaga ravidata* y municipios que cultivan maíz en México. 1: Hidalgo, 2: Morelos, 3: Oaxaca, 4: Puebla, 5: Colima, 6: Chiapas, 7: Guerrero, 8: Jalisco, 9: Michoacán.

Figure 2. Geographic interaction between *Phyllophaga ravidata* environmental suitability and Mexican municipalities where corn is cultivated.

La caña de azúcar tiene gran importancia económica en el país (Jiménez et al. 2004), de acuerdo a SIAP (2018), se siembra en 15 estados, entre los que sobresalen por mayor superficie Veracruz, Jalisco y Oaxaca. El nicho de *P. ravidata* interactúa con la distribución de este cultivo principalmente en Colima, Chiapas, Michoacán, Morelos, y Puebla (Figura 3). Lo que coincide con la importancia que esta especie tiene, siendo reportada en Chiapas (Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez 2000).

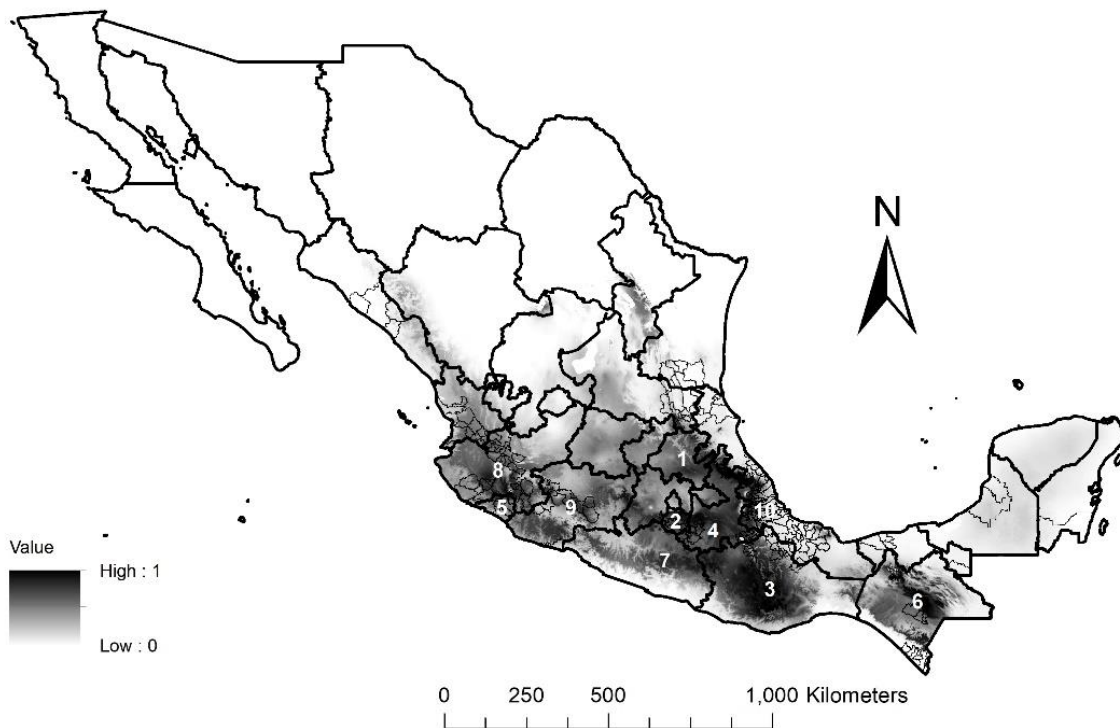


Figura 3. Interacción geográfica de la idoneidad ambiental de *Phyllophaga ravidana* y municipios que cultivan caña de azúcar en México. 1: Hidalgo, 2: Morelos, 3: Oaxaca, 4: Puebla, 5: Colima, 6: Chiapas, 7: Guerrero, 8: Jalisco, 9: Michoacán.

Figure 3. Geographic interaction between *Phyllophaga ravidana* environmental suitability and Mexican municipalities where sugarcane is cultivated.

La asociación geográfica de *P. ravidana* con estos cultivos, puede ser efecto de su rango de hospederos y adaptabilidad a factores ambientales. Además, puede estar influenciada por la amplia disponibilidad de los cultivos y su manejo agronómico. Los monocultivos no favorecen la estabilidad del agroecosistema

(Pérez-Agis et al. 2004), y quizá afecta la presencia de enemigos naturales de la gallina ciega.

En México, el maíz es cultivado sin programas adecuados de Manejo Integrado de Plagas (Blanco et al. 2014) ni estrategias viables para las plagas que afectan el sistema radicular (Palacios et al. 2009). El manejo de las plagas del suelo (incluyendo al complejo *Phyllophaga*) en el centro del país implica la aplicación de programas de monitoreo de larvas en suelo y la aplicación de medidas culturales, biológicas y químicas (CESAVEM, 2015). Sin embargo, los criterios para seleccionar la superficie a muestrear tienden a ser extensivos (CESAVEQ, 2014), sin delimitar las áreas a monitorear con base a las necesidades ambientales de los insectos plaga.

Los modelos de nicho ecológico se han desarrollado y aplicado con éxito para estimar los rangos geográficos de las especies registradas en función de las variables encontradas Beck (2013). El uso de este tipo de modelación en la agricultura mexicana puede convertirse en una herramienta útil en la selección de sitios adecuados para aplicar técnicas de muestreo y eficientizar el uso de recursos humanos y económicos.

Referencias Citadas

- Aragón-García, A., M. A. Morón, M. A. Damián-Huato, J. F. López-Olguín, E. P. Pinson-Rincón, y J. N. Pérez-Quintanilla. 2012. Fauna de Coleoptera Lamellicornia de la zona cañera del ingenio de Atencingo, Puebla, México. *Acta Zool. Mex.* 28: 161-171.
- Barve, N., V. Barve, A. Jiménez-Valverde, A. Lira-Noriega, S. P. Maher, A. T. Peterson, J. Soberón, and F. Villalobos. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecol. Model.* 222: 1810–1819.
- Beck, J. 2013. Predicting climate change effects on agriculture from ecological niche modeling: who profits, who loses? *Clim. Change* 116: 177-189.
- Blanco, C. A., G. Pellegaud, U. Nava-Camberos, D. Lugo-Barrera, P. Vega-Aquino, J. Coello, A. P. Terán-Vargas, y J. Vargas-Camplis. 2014. Maize pests in Mexico and challenges for the adoption of Integrated Pest Management programs. *J. Integ. Pest Mangmt.* 5(4): E1-E9.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Querétaro (CESAVEQ). 2014. Programa de trabajo del manejo fitosanitario del maíz, a operar con recursos del componente de sanidad del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria 2015, en el estado de Querétaro. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Querétaro, A.C. Querétaro, México. 14 p.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM). 2015. Plagas rizófagas del maíz. Campaña Manejo Fitosanitario del Mái. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México. Toluca, México. 8 p.

- Hernández-Cruz, J., M. A. Morón, J. Ruíz-Vega, J. A. Sánchez-García, L. Martínez-Martínez, y R. Pérez-Pacheco. 2014. Bionomía de las especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae) en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. *Acta Zool. Mex.* 30: 144-160.
- Hernandez, P. A., C. H. Graham, L. L. Master, 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.
- Jiménez, A., V. Vargas, W. E. Salinas, M. Aguirre, y D. Rodríguez. 2004. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Invest. Geog.* 53: 58-74.
- Lugo-García, G. A., L. D. Ortega-Arenas, H. González-Hernández, A. Aragón-García, J. Romero-Nápoles, R. Rubio-Cortés, y M. A. Morón. 2011. Melolonthidae nocturnos (Coleoptera) recolectados en la zona agrícola agavera de Jalisco, México. *Acta Zool. Mex.* 27: 341-357.
- Marín, A., y R. Bujanos. 2008. Especies del complejo “gallina ciega” del género *Phyllophaga* en Guanajuato, México. *Agric. Téc Méx.* 34: 349-355.
- Morón, M. A., C. Deloya, A. Ramírez-Campos, y S. Hernández-Rodríguez. 1998. Fauna de Coleoptera Lamelliconia de la región de Tepic, Nayarit, México. *Acta Zool. Mex.* 75: 73-116.
- Olson, D. M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, G. V. Powell, E. C. Underwood, J. A. D'Amico, I. Itoua, H. E. Strand, J. C. Morrison, C. J. Loucks, T. F. Allnutt, T. H. Ricketts, Y. Kura, J. F. Lamoreux, W. W. Wettengel, P. Hedao, and K. R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51: 933-938.

- Palacios, V., M. Vázquez, D. R. González, K. F. Byerly, E. Villareal, y J. A. Quijano. 2009. Estudio y modelación del daño a la raíz por *Phyllophaga ravidia* (Blanchard) (Coleoptera: Melolonthidae), en el cultivo de maíz en la zona de Teuchitlán, Jalisco. *Folia Entomol. Mex.* 48: 7-20.
- Pérez-Agis, E., M. Vázquez-García, D. González-Eguiarte, E. Pimienta-Barrios, M. B. Nájera Rincón, y P. Torres-Morán. 2004. Sistemas de producción de maíz y población de macrofauna edáfica. *Terra. Latin.* 22: 335-341.
- Peterson, A. T., M. Papes, and J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecol. Model.* 213: 63-72.
- Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura, y M. Bastos A. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press. Oxfordshire, UK. 314 p.
- Phillips, S. J., and M. Dudík. 2008. Modelling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Phillips, S. J., M. Dudík, and R. E. Schapire. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proc. ICML* 21: 655-662.
- Ramirez, C. y Castro R., A. E., 1998. Estudio morfológico del estadio larval de seis especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae) de la región de los Altos de Chiapas. *In* M. A. Morón, y A. Aragón [ed.], *Avances en el Estudio de la Diversidad, Importancia y Manejo de los Coleopteros Edafícolas Americanos*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla/Sociedad Mexicana de Entomología.

- Ramírez-Salinas, C., y A. E. Castro-Ramírez. 2000. El complejo “gallina ciega” (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de maíz, en el madronal, municipio de Amatenango del Valle, Chiapas, México. *Acta Zool. Mex.* 79: 17-41.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. On line: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Accesado: 22 Enero 2018.
- Soberón, J., y A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Torres, R., y P. Jayat. 2010. Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozool. Neotrop.* 17: 335-352.
- Vallejo, F., M. A. Morón, y S. Orduz. 2007. Biología de *Phyllophaga obsoleta* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae), especie rizófaga del complejo “chisa” de Colombia. *Bol. Cient. Centro de Mus. His. Nat.* 11: 188-204.
- Varela, S., R. Mateo, R. García-Valdés, y F. Fernández-González. 2014. Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas* 23: 46:53.
- Warren, L., and S. Seifert. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecol. Appl.* 21: 335-342.

Capítulo 2

Patrones de distribución y endemismo de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupos *anodontata*, *ravida*, *obsoleta* y *setidorsis* para México.

Distribution and endemism pattern of *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) *anodontata*, *ravida*, *obsolete* and *setidorsis* groups for Mexico.

Resumen

El conjunto de especies que conforman el complejo "gallina ciega", integra a las plagas de suelo de mayor impacto económico en Latinoamérica. Dentro de este complejo destaca el género *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae), el cual es importante debido a que las larvas de algunas especies se asocian con cultivos agrícolas, y en muchos sitios llegan a comportarse como plagas. Los grupos *anodentata*, *ravida*, *obsoleta* y *setidorsis*, comprenden a 51 especies, de importancia económica debido al daño causado por las formas inmaduras. Dentro de estos grupos destaca *P. ravida*, (Blanchard) por ser la especie más frecuente en la República Mexicana. Se procedió a realizar 174 modelos candidatos de nicho potencial en el programa Rstudio® ver. 3.3, con el paquete *r Kuenm*. Posteriormente se sometieron a evaluación estadística, con la finalidad de valorar su complejidad y determinar su nivel de significancia. El grupo *anodentata* presentó la mayor área geográfica con disponibilidad ambiental, grupo *ravida* mostró similitud con el del grupo *obsoleta*, observándose un solapamiento de nicho; mientras que el nicho del grupo *setifera* se concentró más al centro y sur del país.

Palabras clave: Modelo de nicho, gallina ciega, disponibilidad ambiental.

Abstract

The set of species that make up the "gallina ciega" complex, integrates soil pests with the greatest economic impact in Latin America. Within this complex stands out the genus *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae), which is important because the larvae of some species are associated with agricultural crops, and in many places they come to behave like pests. The groups *anodentata*, *ravida*, *obsoleta* and *setidorsis*, comprise 51 species, of economic importance due to the damage caused by the immature forms. Within these groups stands out *P. ravida*, (Blanchard) for being the most frequent species in the Mexican Republic. We proceeded to carry out 174 candidate models of potential niche in the Rstudio® ver 3.3, with the package *r Kuenm*. Subsequently they underwent statistical

evaluation, in order to assess their complexity and determine their level of significance. The anodontata group presented the largest geographic area with environmental availability, raveda group showed similarity with that of the obsolete group, observing a niche overlap; while the niche of the Setifera group was more concentrated in the center and south of the country.

Key words: Niche model, gallina ciega, environmental availability.

Introducción

Diversas especies de Melolonthidae tienen importancia económica debido a que producen pérdidas en distintos cultivos, sobre todo durante su estado larvario (Aragón *et al.*, 2001). Las plagas agrícolas son una de las principales causas de pérdidas económicas en la agricultura mundial (Ruíz *et al.*, 2013). En México, el complejo de gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae: *Phyllophaga*) tiene fuerte impacto en la agricultura, debido a que afecta diversos cultivos, desde granos básicos, hortalizas, frutales, pastizales y cultivos industriales (Aragón-García *et al.*, 2008; Morón *et al.*, 1996; Pérez-Agis *et al.*, 2008; Ramírez-Salinas and Castro-Ramírez, 2000; Ruiz *et al.*, 2012).

La diversidad y distribución de Melolonthidae en México fue estudiada por Morón *et al.* (2014) a nivel de entidad federativa, quienes consideraron que las especies con mayor abundancia se encuentran en ambientes fríos-húmedos y templado-húmedos, mientras que especies con abundancia moderada o baja, se presentan en ambientes cálidos-húmedos y cálidos-secos. Sin embargo, el papel que juegan variables ambientales en la distribución de las especies de *Phyllophaga* en México ha sido poco abordado, de acuerdo a Pearson and Dawson (2003), diversos factores influyen en la distribución de las especies en diferentes rangos de escalas espaciales.

El modelo de nicho ecológico se ha convertido en la herramienta principal para calcular la distribución potencial de especies (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014), y permite entre otras cosas, identificar sitios de interés como pueden ser áreas ricas en especies, taxones amenazados (Seoane y Bustamante, 2001), o la posible interacción geográfica de insectos con cultivos agrícolas (López-Martínez *et al.*, 2016). Conocer la distribución de especies plaga y las variables ambientales que la benefician puede contribuir a diseñar estrategias tendientes a disminuir los efectos dañinos hacia los cultivos agrícolas. Por ejemplo, al diseñar programas de manejo

integrado en áreas amplias, y calcular con mayor precisión los sitios en donde aplicar estrategias de monitoreo y control.

Phyllophaga es un género con gran diversidad en México. Los grupos anodontata, ravidia, obsoleta y setidorsis, comprenden a 51 especies, varias consideradas de importancia económica debido al daño causado por las formas inmaduras (Morón et al., 1996). Hasta el momento, los trabajos dirigidos al muestreo y combate de estos escarabajos se ha realizado de manera local y/o regional; sin considerar a escalas geográficas amplias la complejidad de interacciones ambientales en la distribución potencial de las especies de gallina ciega.

Por lo que el objetivo de esta investigación fue conocer las áreas geográficas con idoneidad ambiental de cuatro grupos de *Phyllophaga* en México (anodontata, ravidia, obsoleta y setidorsis) y establecer las áreas con mayor diversidad de especies. La información generada tuvo como finalidad apoyar en la toma de decisiones en el manejo que contribuya a disminuir el impacto negativo de este grupo de coleópteros en los cultivos de México.

Materiales y Métodos

Registro de distribución de especies.

Se obtuvieron datos de distribución de 12 especies pertenecientes a los grupos de especies anodontata, ravidia, obsoleta y setidorsis del género *Phyllophaga* (Cuadro 1), de bases de datos (Global Biodiversity Information Facility, 2014; Integrated Digitized Biocollections, 2015), colecciones entomológicas (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP; Instituto Nacional de Ecología, IEXA; Colección Nacional de Insectos, CNIN), y literatura especializada (Aragón y Morón, 2004; Aragón et al., 2001; Aragón et al., 2005; Aragón-García et al., 2008; Bates, 1886-1890; Bustos-Santana et al., 2003; Carrillo-Ruíz and Morón, 2003; Cruz-López et al., 2001; Delgado y Márquez, 2006; Díaz et al., 2006; Espinosa-Islas et al., 2005; García et al., 2009; Gómez et al., 1999; Hernández-Cruz et al., 2014, 2015; Alcázar-

Ruíz *et al.*, 2003; Lobo y Morón, 1993; Lugo *et al.*, 2013; Lugo-García *et al.*, 2011; Marín y Bujanos, 2008; Morón, 1982, 1994, 2006; Morón y Aragón, 1997; Morón y Deloya, 1991; Morón *et al.*, 1996; Morón *et al.*, 1998; Morón *et al.*, 2013; Moser, 1918, 1921; Pacheco *et al.*, 2006; Pacheco *et al.*, 2008; Pérez-Agis *et al.*, 2008; Ramírez-Salinas *et al.*, 2000; Robinson, 1948; Rodríguez-del-Bosque, 1984, 1996; Rodríguez-del-Bosque *et al.*, 1995; Rodríguez-del-Bosque *et al.*, 2003; Sanderson, 1958; Saylor, 1941). Con la información recabada, se construyó una base de datos en Excel© con la siguiente estructura: género, subgénero, grupo de especies, nombre científico, estado, municipio, localidad, latitud, longitud, fuente bibliográfica, los datos sin coordenadas geográficas fueron georreferenciados con Google Earth® ver 7.1.2.2041. (Google Inc., USA), información que no pudo ser georreferenciada fue desechada (i.e., especímenes etiquetados solamente como “México”).

Cuadro 1. Especies incluidas en los análisis pertenecientes a los grupos anodontata, ravida, obsoleta y setidorsis del género *Phyllophaga*.

Género	Subgénero	Grupo de especies	Especies	Núm. de registros
Phyllophaga	<i>Phyllophaga</i>	Anodontata	<i>P. brevidens</i>	40
			<i>P. crinita</i>	180
			<i>P. lenis</i>	82
			<i>P. misteca</i>	22
			<i>P. vetula</i>	53
			<i>P. dasypoda</i>	26
		Ravida	<i>P. dentex</i>	71
			<i>P. fulviventris</i>	55
			<i>P. ravida</i>	131
			<i>P. menetriesi</i>	32
		Setidorsis	<i>P. setifera</i>	41
			<i>P. obsoleta</i>	268
		<i>Phytalus</i>	Obsoleta	

Área de estudio.

Se seleccionaron áreas con datos de presencia clasificadas por ecorregiones para su transferencia y definición de M, de acuerdo al diagrama BAM de Barve *et al.* (2011). Soberon *et al.* (2017) explica el diagrama BAM como una representación idealizada del espacio geográfico, donde se ilustran diferentes regiones, que representan las observaciones de poblaciones que dependen de la calidad del muestreo y donde existan las condiciones abióticas y bióticas necesarias, y que

hayan estado accesibles para la dispersión de la especie desde la región de su origen histórico, o bien, desde alguna región definida en un momento temporal relevante.

Elaboración de modelos de nicho potencial.

Se extrajeron los datos de las variables ambientales asociadas a los puntos de presencia de las especies aquí estudiadas (Cuadro 1) con ArcGis ver. 10.3®, para posteriormente realizar una correlación de Pearson con PAST ver. 2.17c. Seguidamente se eliminaron variables correlacionadas de acuerdo a su porcentaje de aportación al modelo mediante una prueba de Jackknife en Maxent ver. 3.4.0 (Phillips *et al.*, 2008). Una vez que se obtuvo esta información, se procedió a realizar 174 modelos candidatos en el programa Rstudio® ver. 3.3, con el paquete *r* Kuenm, este programa genera modelos candidatos en Maxent para probar múltiples combinaciones de parámetros incluidos distintos valores de multiplicador de regularización y diferentes conjuntos de variables de entorno (Cobos *et al.*, 2018). Los parámetros utilizados para la elaboración de los modelos fueron: Regularization multiplier (0.1, 1, 2), Background (10000), Random test percentage (50), y Maximum iterations (500).

Evaluación de modelos.

Los modelos candidatos (174) fueron sometidos a evaluación estadística con Rstudio® ver. 3.3, con el paquete *r* *kuenm_ceval*, el cual evalúa estos modelos en términos de significancia estadística (ROC parcial), capacidad de predicción (tasas de omisión) y complejidad del modelo (AICc) (Cobos *et al.*, 2018). Posteriormente a la evaluación, esta función selecciona el mejor modelo de acuerdo a su complejidad y nivel de significancia. Los mejores modelos obtenidos se pueden observar en el Cuadro 2. Los criterios más importantes a la hora de seleccionar el modelo son: el criterio de información de Akaike corregido (AICc), la Roc parcial y el Delta AICc. Akaike corregido es una métrica que evalúa mediante la estandarización de los puntajes brutos, de modo que todas las puntuaciones dentro del espacio geográfico sumen 1 para posteriormente calcular la probabilidad de los datos proporcionados

(Warren y Seifert 2011). Además, penaliza modelos con valores altos de parametrización. La Roc Parcial (Peterson *et al.*, 2008) proporciona valores de significancia ($\alpha \leq 0.05$) y Delta AICc es una medida de comparación de cada modelo en relación con el mejor (Mazerolle, 2006).

Cuadro 2. Valores de los mejores modelos obtenidos de acuerdo a su complejidad y nivel de significancia, de los análisis pertenecientes a los grupos anodontata, raveda, obsoleta y setidorsis del género *Phyllophaga*.

Especie	Mean AUC ratio	Partial Roc	Omission	AICc	Delta AICc	Número Parameters
<i>P. brevidens</i>	1.1330	0	0.5	1037	0	12
<i>P. crinita</i>	1.6331	0	0.037	4961	0	28
<i>P. lenis</i>	1.0466	0	0.4	1924	0	9
<i>P. misteca</i>	1.3350	0	0.333	502	0	5
<i>P. vetula</i>	1.3231	0	0	1245	0	8
<i>P. dasypoda</i>	1.4603	0	0	671	0	3
<i>P. dentex</i>	1.3282	0	0.142	1925	0	16
<i>P. fulviventris</i>	1.0714	0	0.529	1402	0	9
<i>P. raveda</i>	1.3151	0	0.2	2773	0	10
<i>P. menetriesi</i>	1.3828	0	0.222	810	0	16
<i>P. setifera</i>	1.1442	0	0.230	1054	0	20
<i>P. obsoleta</i>	1.071	0	0.4	1615	0	25

Resultados y Discusión

Grupo *ravida*.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el nicho potencial de este grupo abarcó estados como Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Puebla, Veracruz, Morelos, México, Hidalgo, Guanajuato, Querétaro, Colima, Michoacán, Jalisco, Nayarit, San Luis Potosí, oeste de Durango, sur de Sinaloa, Nuevo León y Tabasco. Sin embargo, solo los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Yucatán cuentan con áreas donde estas especies se encuentran compartiendo nicho (Figura 1).

De acuerdo con (Hernández-Cruz *et al.*, 2014) el grupo *ravida* prolifera en climas templados a cálidos, desde tierras altas (2500 msnm) hasta los litorales (aunque son más abundantes y diversas entre 1500 a 2500 msnm), pero prefieren ambientes menos húmedos. Móron (2003) menciona que este grupo está ampliamente distribuido en todo el país y la considera una de las plagas subterráneas más importantes en México. La modelación realizada indica que no existe disponibilidad ambiental para este grupo al norte del país. *Phyllophaga ravida* es la especie que más contribuye a la distribución de este grupo de especies, mientras que *P. dasypoda* y *P. dentex*, muestran nicho estrecho. Lo anterior quizá se deba a requerimientos ambientales específicos que limitan la expansión de su área de presencia, por ejemplo, barreras geográficas que impidan alcance la costa del Golfo de México o ascienda hacia el Eje Neovolcánico Mexicano.

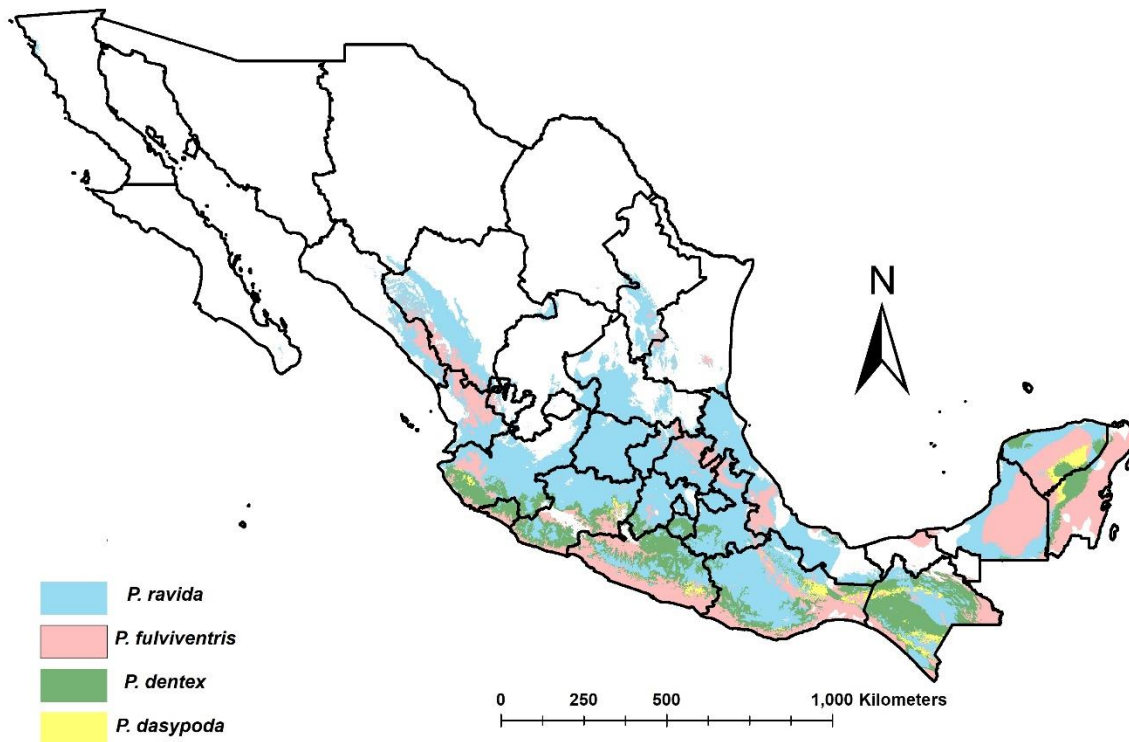


Figura 1. Nicho potencial de especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo *ravida*, en México.

Este grupo con frecuencia se encuentra asociado a cultivos de maíz, caña de azúcar, pastos y hortalizas (Morón, 2003). Chiapas, Jalisco, Veracruz, Sinaloa, Puebla y Oaxaca, ocupan los primeros lugares por superficie sembrada de maíz, contando con el 46% del total de la superficie cultivada SIAP (2018). El nicho ecológico calculado para este grupo, comprende los municipios donde se cultiva esta especie (Figura 2), excepto en el norte del país, incluyendo la península de Baja California.

Las larvas de la gallina ciega son una de las principales plagas rizófagas del maíz (*Zea mays* L.) (Lugo-García *et al.*, 2012), por lo que se considera una amenaza importante para la producción agrícola (Morón, 2010) ocasionando muchas pérdidas económicas anualmente (del Val *et al.*, 2013); sin embargo, de acuerdo a Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez (2000) el daño al maíz que cause la "gallina

ciega" dependerá del estado fenológico del cultivo, que las larvas estén en tercer estadio, de la densidad y composición específica del complejo, del manejo que el productor dé a su cultivo, y sobre todo de las condiciones climatológicas y edáficas. Aunque del Val *et al.* (2013) mencionan que en México hay un gran desconocimiento sobre el efecto del tipo de manejo de las parcelas en la incidencia y daño que causan las gallinas ciegas. Por lo que estrategias como las que reportan Rodríguez del Bosque y Morón (2010) señalando que cuando el suelo se remueve una o tres veces al año se crea una inestabilidad microambiental que afecta sobre todo a los invertebrados con ciclos vitales mayores a 6 meses de duración, desplazándose a suelos más estables. Esta es una ventaja para proteger el cultivo del maíz de estas larvas, donde los principales estados productores se encuentran interactuando con los nichos de estas especies. Las larvas del complejo gallina ciega pueden existir durante 80 a 120 días, hasta 4 a 32 meses según los taxones de esta diversificada superfamilia de coleópteros (Morón, 2010).

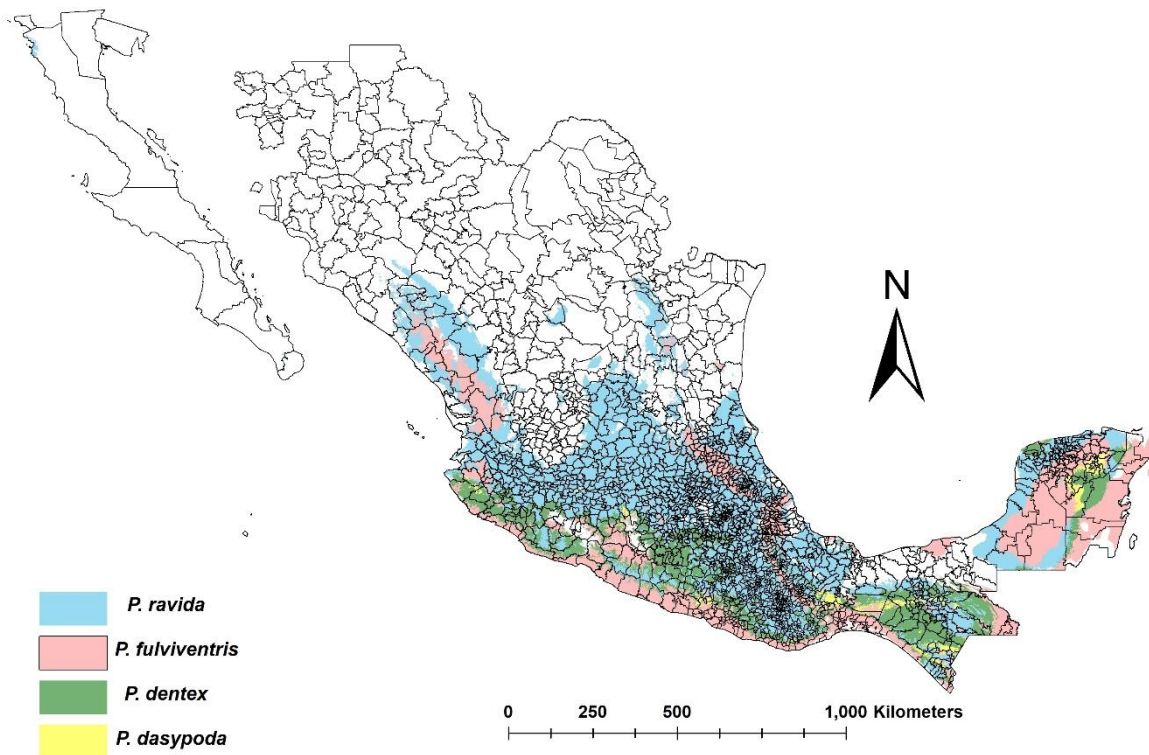


Figura 2. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo *ravida* y su interacción con maíz en México.

Grupo obsoleta.

El nicho de este grupo se basa en el análisis de *P. obsoleta*, debido a datos suficientes para la modelación del resto de especies que conforman el grupo. *Phyllophaga obsoleta* tiene nicho ecológico en principalmente tres grandes áreas separadas, el primero se distribuye en el área norte-centro de la Sierra Madre Occidental, el segundo se encuentra de manera regular entre Hidalgo, Puebla, Veracruz y Chiapas; finalmente una tercera área existe en la Península de Yucatán, en sentido sur-este (Figura 3). Estos resultados coinciden con lo reportado por Aragón *et al.* (2005), quienes reportan a la especie en Puebla y Chiapas; con Lugo-García *et al.* (2017), quien la menciona como plaga de importancia agrícola en

Veracruz; Novelo y Morón (2005) quienes la reportan en Yucatán y Lugo-García *et al.* (2011) para el estado de Sinaloa.

Phyllophaga obsoleta es considerada como una de las especies con mayor importancia agrícola en México (Romero-López *et al.*, 2009), alimentándose de la raíz de diversas especies vegetales (Pérez-Torres *et al.*, 2009), y cultivos como maíz, frijol, trigo y chile (Lugo-García *et al.*, 2011), estos hábitos ocasionan disminución de la raíz, disminución de la absorción de nutrientes, aspectos que afectan el crecimiento y desarrollo. Los daños más severos ocurren en plantas jóvenes, ya que éstas no se desarrollan adecuadamente, se marchitan o se deshidratan hasta morir (Pérez-Torres *et al.*, 2009).



Figura 3. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo *obsoleta* en México.

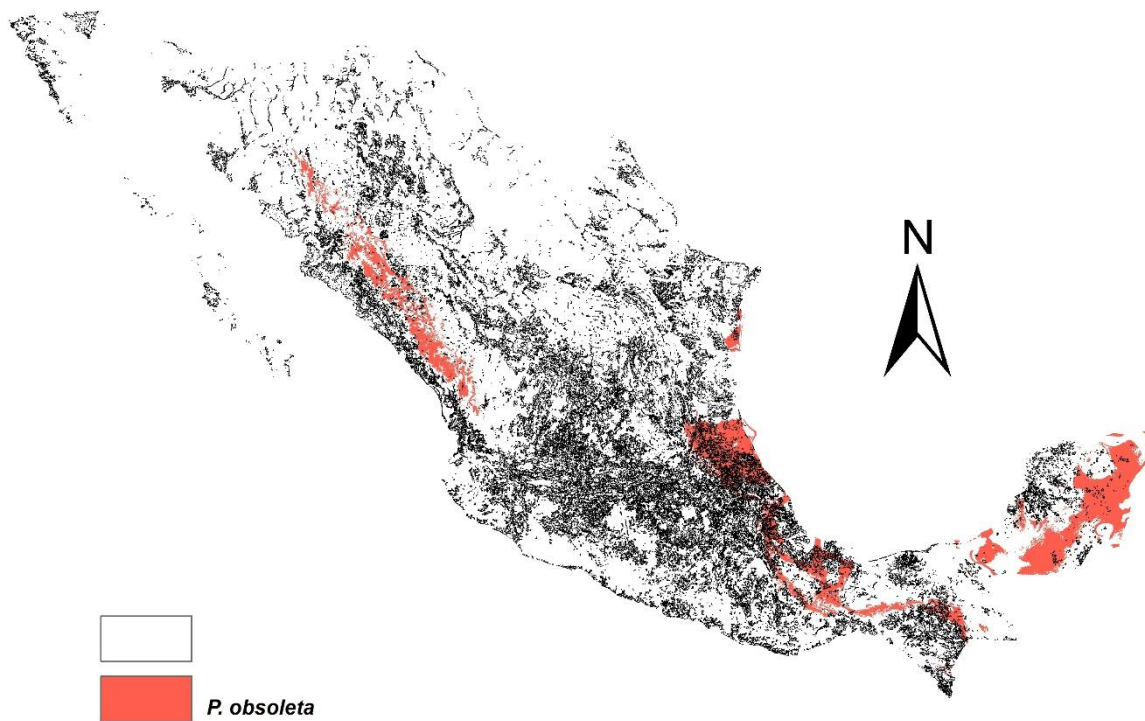


Figura 4. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo obsoleta e interacción con las áreas agrícolas de México.

Las larvas del género *Phyllophaga* representan 51 % de las especies causantes de daño a las raíces de los cultivos y sistemas forestales del estado de Puebla. En la Sierra Norte de Puebla se reconoce al complejo gallina ciega como problema fuerte para la producción de maíz Lugo-García *et al.* (2017). En México el cultivo de maíz es el más afectado por la gallina ciega, para este cultivo la superficie infestada fue de 4 a 5 millones de ha en diez estados de la Republica (Villalobos, 1992).

Grupo setidorsis.

El nicho potencial de este grupo se extiende de manera similar al calculado para el grupo ravida. Sin embargo, se extiende más al norte siguiendo las Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, con reducida penetración en el Altiplano

Mexicano y con proyección en Baja California (Figura 5). También difiere en que su presencia en la península de Yucatán ocurre en zonas aisladas de Campeche y Yucatán (Figura 5). Estos resultados coinciden con lo reportado por Marín y Bujanos (2008), quienes reporta a *P. setifera* en Guanajuato asociada al maíz, con Aragón *et al.* (2001) quienes la reportan en Puebla. Adicionalmente Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez (2000) registran a *P. menetriesi* para Chiapas. Por otro lado, Lugo-García *et al.* (2012) establecen que *P. setifera* está asociada a bosques tropicales perennifolios y caducifolios, en bosque mesófilo de montaña, cafetales, encinares y pastos ornamentales ubicados desde el nivel del mar hasta los 1600 m de altitud, sin embargo, nuestros resultados indican que la idoneidad ambiental de esta especie abarca posiblemente zonas de mayor altitud. Muestreos en el futuro podrían confirmar esta predicción.

Phyllophaga setifera y *P. menetriesi* son reportadas como plagas de importancia para maíz (Pacheco-Flores *et al.*, 2008, Marín y Bujanos, 2008). El nicho ecológico del grupo interactúa en gran medida con áreas cultivadas de maíz en México (Figura 6). *Phyllophaga menetriesi* fue reportada como plaga voraz de importancia agrícola para el país por Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez (2000): dos o tres larvas provocan el acame de una mata compuesta por tres plantas. Por otro lado, Villalobos (1995) menciona que el daño causado por este complejo puede manifestarse a otros cultivos a parte del maíz, esto dependerá de las condiciones ambientales y el desarrollo en el que se encuentre el insecto. Por lo anterior un monitoreo oportuno en cultivos ayudará a prevenir pérdidas económicas, ya que Pérez-Domínguez *et al.* (2010) señalan que uno de los problemas para el estudio y manejo de las plagas de raíz es que no se detectan oportunamente a simple vista, si no que su presencia se nota de manera indirecta a través de los síntomas que presentan las plantas.

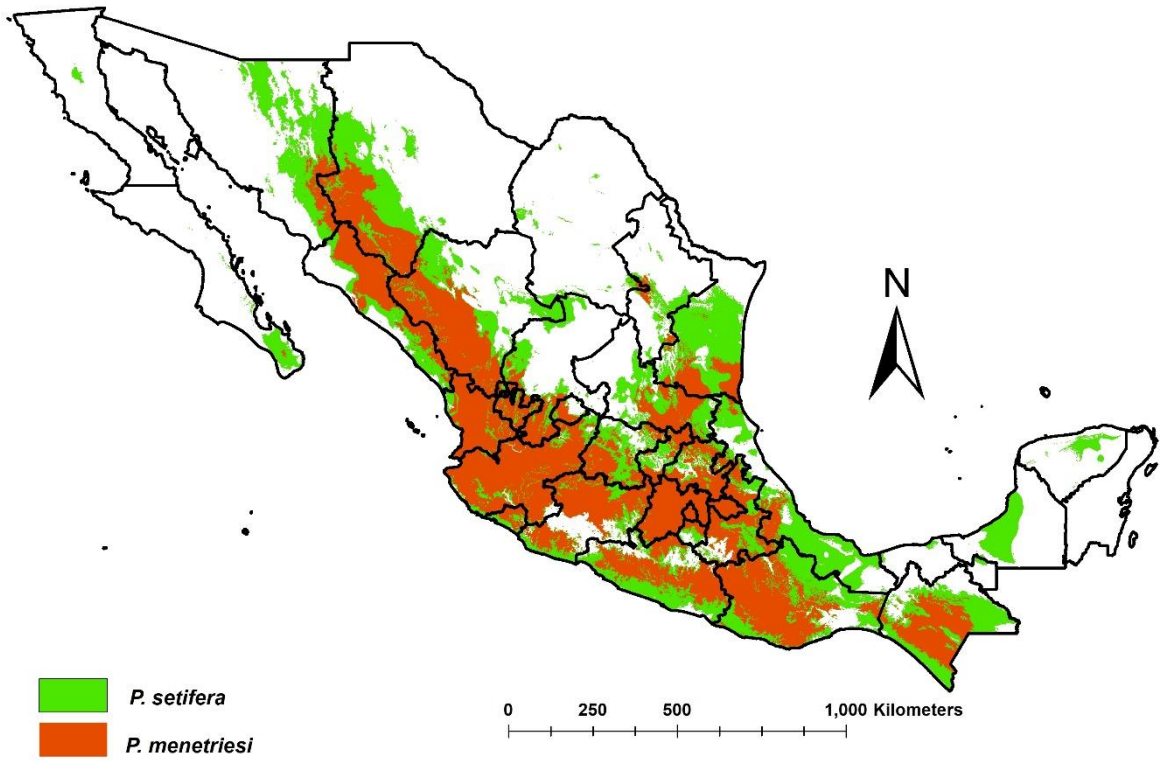


Figura 5. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo setifera en México.

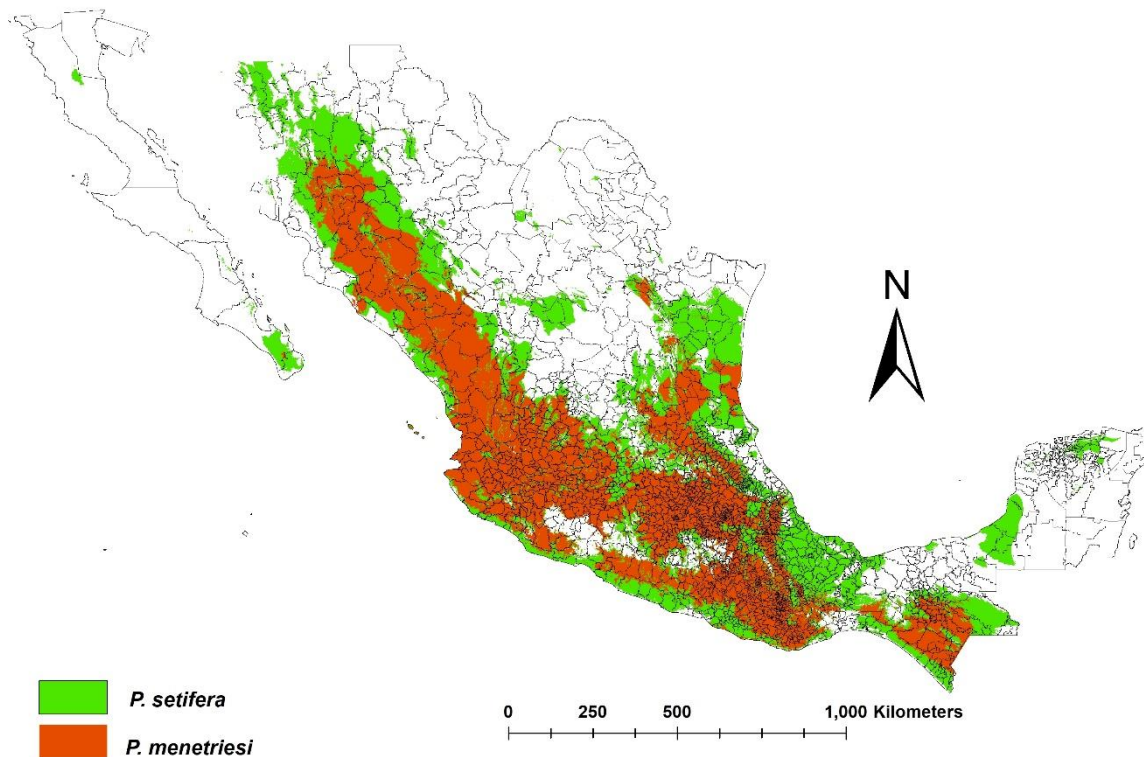


Figura 6 Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo setifera y su interacción con el cultivo del Maíz.

Grupo anodentata.

Las áreas de idoneidad de este grupo se extienden a la mayoría del país exceptuando el centro de Yucatán, Chihuahua y centro y sur de Baja California Norte, por lo no sorprende que autores como Aragón *et al.* (2001) Hernández-Cruz *et al.* (2015), Hernández-Cruz *et al.* (2014), Deloya *et al.* (1993), García *et al.* (2009) y Marín y Bújanos (2008), reporten a este grupo en diferentes estados de la República Mexicana.

Hernández-Cruz *et al.* (2014), mencionan que el grupo anodentata tiene preferencias por climas templados a cálidos, desde tierras altas (2500 msnm) hasta los litorales, y mayor abundancia y diversidad entre 1500 a 2500 msnm; con preferencias de ambientes menos húmedos, que sugieren una evolución en los

ambientes de mediana elevación en las vertientes occidentales de México. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que las preferencias de este grupo son más amplias encontrando su idoneidad ambiental desde las costas al centro del país.

El grupo de especies que lo integran se han registrado en asociación con varios cultivos como *Agave tequilana* (García *et al.*, 2009), maíz y sorgo (Branson y Ortman, 1970), caña, arroz, frijol, alfalfa y haba (Aragón-García *et al.*, 2010). De acuerdo a los resultados obtenidos las áreas de disponibilidad ambiental abarcan la mayoría de las áreas agrícolas de México (Figura 8). Esta polifagia (Branson y Ortman, 1970) y la disponibilidad ambiental calculadas, permiten que este grupo de *Phyllophaga* tenga distribución amplia en el país.

Hernández-Cruz *et al.* (2014) observaron que si aparece una especie del grupo anodentata invariablemente aparecerá una especie del grupo ravidia, lo anterior coincide con resultados obtenidos en este estudio que muestran como el nicho potencial del grupo anodentata abarca el nicho del grupo ravidia (Figura 2 y Figura 7). Lo anterior indica una similitud en los parámetros ambientales en estos grupos de *Phyllophaga*.

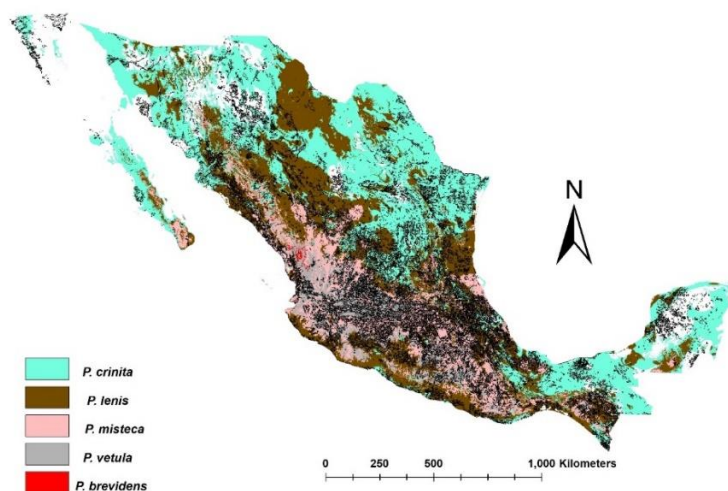


Figura 8. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo anodentata y su interacción con áreas agrícolas de México.

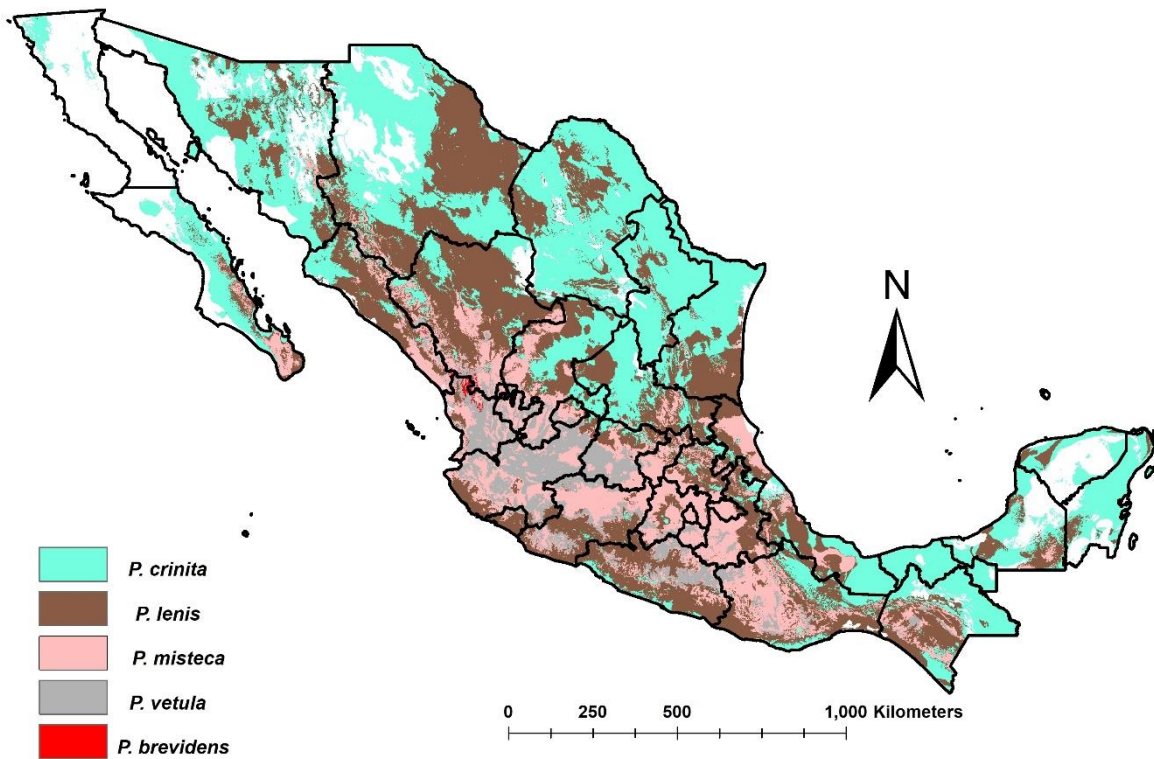


Figura 7 Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo anodentata en México.

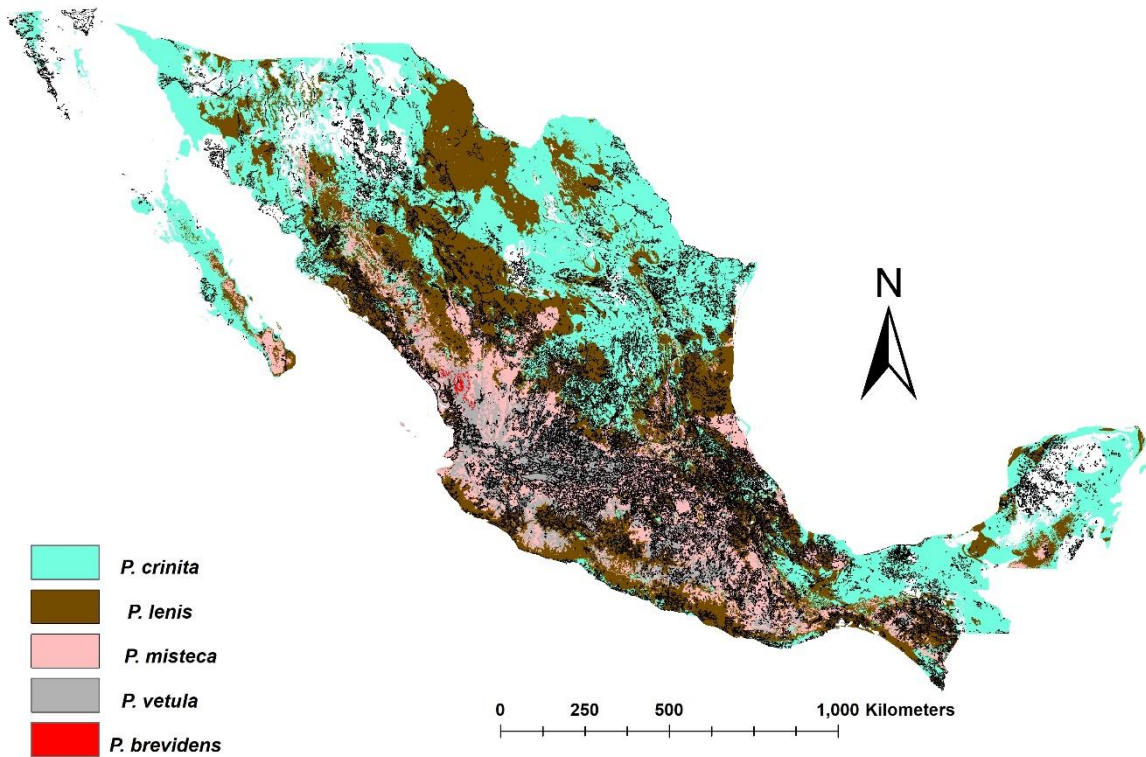


Figura 8. Nicho potencial de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) grupo anodentata y su interacción con áreas agrícolas de México.

Conclusiones

El grupo *anodentata* presentó la mayor área geográfica con disponibilidad ambiental, exceptuando el centro de Yucatán, Chihuahua y centro y sur de Baja California Norte. El grupo con menor área de idoneidad fue *obsoleta*.

El nicho potencial del grupo *ravida* mostró similaridad con el del grupo *obsoleta*, observándose un solapamiento de nicho; mientras que el nicho del grupo *setifera* se concentró más al centro y sur del país.

Los distintos grupos de *Phyllophaga* estudiados mostraron interacción positiva con áreas agrícolas del país, su nicho ecológico coincide con la distribución de sus plantas comerciales hospederas.

Las definiciones de nichos ecológicos permiten establecer programas de monitoreo y/o prácticas de manejo de poblaciones, para disminuir el impacto negativo del complejo de gallina ciega en la agricultura de México.

Bibliografía

- Alcázar-Ruíz, J. A., Morón-Ríos, A., Morón, M. A., 2003. Fauna de Coleoptera Melolonthidae de Villa Las Rosas, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 88: 59-86.
- Aragón, A. y Morón, M. A., 2004. Descripción de las larvas de tres especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) del Valle de Puebla, México. *Folia Entomológica Mexicana*. 43: 295-306.
- Aragón, A., Morón, M. A., López-Olguín, J. F. and Cervantes-Peredo, L. M., 2005. Ciclo de vida y conducta de adultos de cinco especies de *Phyllophaga* Harris, 1827 (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae). *Acta Zoológica Mexicana*. 21: 87-99.
- Aragón-García, A., Nochebuena-Trujillo, C. D., Morón, M. A. and López-Olguín, J. F., 2008. Uso de trampas de luz fluorescente para el manejo de la gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 42: 217-223.
- Aragón, A., Morón, M.A., Tapia-Rojas, A. M. and Rojas-García, R., 2001. Fauna de Coleoptera Melolonthidae en el Rancho "La Joya", Atlixco, Puebla, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 83: 143-164.
- Aragón, A., Morón, M.A., Tapia-Rojas, A.M., Pérez-Torres, B. C. y López-Olguín, J. F. 2010. "Gallina ciega en Puebla". (pp. 337-347). En: Rodríguez d., L. A. y Morón, M. A. (Eds.) *Plagas del suelo*. Editorial Aedos, S. A. México, D.F.
- Barve, N., V. Barve, A. Jiménez-Valverde, A. Lira-Noriega, S. P. Maher, A. T. Peterson, J. Soberón, and F. Villalobos. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Model*. 222:1810–1819.
- Bates, H. W. 1886-1890. *Insecta. Coleoptera. Vol II, Part 2. Pectinicornia and Lamellicornia*. *Biologia Centrali-Americana*.
- Branson, T. F. and Ortman E. E., 1970. The host range of larvae of the western corn rootworm: Futher studies. *Journal of the Kansas Entomological Society*. 44:50-52.

- Bustos-Santana, H. R. and Rivera-Cervantes, L. E., 2003. Abundancia estacional de los coleópteros nocturnos de la familia Melolonthidae (Insecta: Lamellicornia), asociados a un bosque de pino-encino en la sierra de Quila, Jalisco, México, in: Aragón, A., Morón, M. A., Marín, A. (Eds.), Estudios sobre Coleópteros del Suelo en América. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, pp. 137-148.
- Carrillo-Ruiz, H. and Morón, M. A. 2003. Fauna de Coleoptera Scarabaeoidea de Cuetzalan del Progreso, Puebla, México. Acta Zoológica Mexicana. 88: 87-121.
- Cruz-López, J. A., A. E. Castro R., C. Ramírez S. & B. Gómez y G. 2001. Supresión manual de adultos de *Phyllophaga* spp. y *Anomala* spp. en maíz en México. Manejo Integrado de Plagas. 59: 41-47.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E. and Ortiz, E., 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 20:188-201.
- Cobos, M. E., Peterson, A. T., Osorio-Olvera, L., Barve, N. 2018. kuenm: An R package for detailed development of Maxent Ecological Niche Models. R package v. 1.0.8.
- Delgado, L. & J. Márquez. 2006. Estado del conocimiento y conservación de los coleópteros Scarabaeoidea (Insecta) del estado de Hidalgo, México. Acta Zoológica Mexicana. (n.s.) 22(2): 57-108.
- Deloya, C., Burgos, A., Blackaller, J. y Lobo, J. M. 1993. Los Coleopteros Lamelicornios de Cuernavaca, Morelos, México (Passalidae, Trogidae, Scarabaeidae y Melolonthidae). Boletín de Sociedad Veracruzana de Zoología 3(1):15-55.
- del Val, E., Arnés, E., Gaona, J. A. y Astier M. 2013. Incidencia de gallina ciega, sistemas de manejo campesinos y variabilidad climática en la comunidad de Napízaro, Michoacán (México). Agroecología 8: 53-62.
- Díaz M., P., M. B. Najera R., R. Lezama G., O. Rebolledo D., H. E., Flores L. & J. A. Martínez S. 2006. Especies de gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) y

- su asociación con factores agroclimáticos y de manejo del maíz en los Altos de Jalisco, México. *Fitosanidad* 10(3): 209-215.
- Espinosa-Islas, A., M. A. Morón R., H. Sánchez A., N. Bautista M. & J. Romero N. 2005. Complejo gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) asociado con céspedes en Montecillo, Texcoco, Estado de México. *Folia Entomológica Mexicana*.41 (2): 95-107.
- García L., G., Ortega-Arenas, L., Hernández G., H., García, A. A., Napoles R, J. y Cortés R., R. 2009. Descripción de las Larvas de Tercer Instar de Melolonthidae (Coleoptera) Asociadas al Cultivo de *Agave tequilana* var. Azul y su Fluctuación Poblacional en Jalisco, México. *Neotropical Entomology* 38(6):769-780.
- Global Biodiversity Information Facility. 2014. *Phyllophaga* Harris, 1827. <http://api.gbif.org/v1/occurrence/download/request/0000815-141024112412452.zip> (accessed 28.10.14).
- Gómez, B., F. J. Villalobos, L. Ruíz, A. Castro & J. Valle. 1999. El complejo gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz en los Altos de Chiapas, México: su relación con el tiempo de uso agrícola y la materia orgánica del suelo. *Folia Entomológica Mexicana*107:1-20.
- Hernández-Cruz, J., Morón, M. A., Ruiz-Vega, J., Sánchez-García, J. A., Martínez-Martínez, L., Pérez-Pacheco, R. 2014. Bionomía de las especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae) en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 30(1): 144-160.
- Hernández-Cruz, J., Morón, M. A., Sánchez-García, J A., Martinez-Martinez, L., Girón P., S. y Jarquín L., R. 2015. Riqueza específica de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae) en San Nicolás Yaxe, Oaxaca, México *Entomología Mexicana* 2: 446-450.
- Integrated Digitized Biocollections. 2015. Search records *Phyllophaga*. <http://s.idigbio.org/idigbio-downloads/6b27da11-3e34-4f12-b273-b49e270f918e.zip>

(accessed 24.10.16).

- Lobo, J. M. & M.-A. Morón. 1993. La modificación de las comunidades de coleópteros Melolonthidae y Scarabaeidae en dos áreas protegidas mexicanas tras dos décadas de estudios faunísticos. *Giornale italiano di Entomología*. 6: 391-406.
- López-Martínez, V., Pérez-De-la-O, N. B., Ramírez-Bustos, I. I., Alía-Tejacal, I. y Jiménez-García, D. 2016. Current and potential distribution of the cactus weevil, *Cactophagus spinolae* (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *The Coleopterists Bulletin* 70(2): 327-334.
- Lugo-García, G. A., Morón, M. A., Aragón-García, A., Ortega-Arenas, L. D., Reyes-Olivas, A., y Valdez-Carrasco, J. 2011. Especies fotófilas de Coleóptera Lamellicornia en la región de los Tascates, Sinaloa y Chihuahua (México). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 49: 179–188.
- Lugo, G. A., M. A. Morón, A. Aragón & L. D. Ortega. 2013. Especies nocturnas de Scarabaeoidea (Coleoptera: Polyphaga) en el norte de Sinaloa, México. *Revista Colombiana de Entomología* 39(1): 95-104.
- Lugo-García, G. A., Morón, M. A., Aragón-Sánchez, M., Reyes-Olivas, A., Sánchez-Soto, B. H., y Saucedo-Acosta, C. P. 2017. especies de “gallina ciega” (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en Sinaloa, México. *Agrociencia* 51: 799-811.
- Lugo-García, G. A., Ortega-Arenas, L. D., Aragón-García, A., González-Hernández, H., Romero-Nápoles, J., Reyes-Olivas, A. y Morón, M. A. 2012. Especies de gallina ciega (Coleoptera: Scarabaeoidea) asociadas al cultivo de maíz en Ahome, Sinaloa, México. *Agrociencia* 46: 307-320.
- Marín, A., y R. Bujanos. 2008. Especies del complejo “gallina ciega” del género *Phyllophaga* en Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*. 34: 349-355
- Mazerolle, M. J. 2006. Improving data analysis in herpetology: using Akaike's Information Criterion (AIC) to assess the strength of biological hypotheses. *Amphibia-Reptilia* 27: 169-180

- Morón, M. A. 2003. Diversidad, distribución e importancia de las especies de *Phyllophaga* Harris en México (Coleoptera: Melolonthidae) (pp. 1-27). En: Aragón, G. A., M. A. Morón y A. Marín J. (Eds.). Estudios sobre Coleópteros del suelo en América. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- Morón, M. A. 2010. Diversidad y distribución del complejo "gallina ciega" (Coleoptera: Scarabaeoidea) (pp. 41-64). In: Rodríguez d., L. A. y Morón, M. A. (Eds.) Plagas del suelo. Editorial Aedos, S. A. México, D.F.
- Morón, M. A., C. Deloya, A. Ramírez-Campos, y S. Hernández-Rodríguez. 1998. Fauna de Coleoptera Lamellicornia de la región de Tepic, Nayarit, México. Acta Zoologica Mexicana 75: 73-116.
- Morón, M. A. 1994. Fauna de Coleoptera Lamellicornia en las montañas del noreste de Hidalgo, México. Acta Zoológica Mexicana (n.s.) 63: 7-59.
- Morón, M. A. 1982. Lectotype designations in the "Rhizotroginae" species described by H. W. Bates in the Biologia Centrali-Americana, 1888-89. (Coleoptera, Melolonthidae, Melolonthinae). Folia Entomologica Mexicana 53: 87-102.
- Morón, M. A. & A. Aragón. 1997. New species of *Phyllophaga* Harris Coleoptera: Melolonthidae, Melolonthinae from the upper Mixteca Puebla-Oaxaca Mexico. Journal of the Kansas Entomological Society 70(1): 39-46.
- Morón, M. A., A. Aragón-García & H. Carrillo-Ruiz. 2013. Fauna de escarabajos del Estado de Puebla. Primera edición. Editado por Miguel Ángel Mórón Ríos. Veracruz, México. 317 p.
- Morón, M. A. & C. Deloya. 1991. Los coleópteros lamellicornios de la reserva de la biosfera "La Michilía", Durango, México. Folia Entomológica Mexicana.81: 209-283.
- Morón, M. A., Hernández-Rodríguez, S. & Ramírez-Campos, A. 1996. El complejo "gallina ciega" (Coleóptera: Melolonthidae) asociado con la caña de azúcar en Nayarit, México. Folia Entomológica Mexicana 98: 1-44.
- Morón, M. A., G. Nogueira, C. V. Rojas-Gómez and R. Arce-Pérez. 2014. Biodiversidad de Melolonthidae (Coleóptera) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85: 298-302.

- Morón, M. A. 2006. Revisión de las especies de *Phyllophaga* (*Phytalus*) grupos obsoleta y pallida (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae). Folia Entomológica Mexicana 45 (Supl. 1) 1-104.
- Moser J. 1918. Neue Arten der gattungen lachnosterna hope und phytalus Er. (Col.). Stettiner Entomologische Zeitung 79: 19-74.
- Moser J. 1921. Neue melolonthiden-arten der gattungen lachnosterna hope, *Phytalus* Er. Und *Listrochelus* Blch. (Col.). Deutsche Entomologische Zeitschrift 2(1): 247-262.
- Novelo, E. R. y Morón, M. A. 2005. Fauna de Coleoptera Melolonthidae y Passalidae de Tzucacab y Conkal, Yucatán, México. Acta Zoológica Mexicana 21(2): 15-49.
- Pearson, G. P. & T. P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? Global Ecology Biogeography 12: 361-371.
- Pacheco F., C., A. E. Castro R., M. A. Morón & B. Gómez y G. 2008. Fauna de escarabajos melolóntidos (Coleoptera: Scarabaeoidea) en el municipio de Villaflores, Chiapas, México. Acta Zoologica Mexicana (n.s.) 24(1): 139-168.
- Pacheco F., C., C. Deloya & P. Cortés g. 2006. Phytophagous scarab beetles from the Central region of Guerrero, Mexico (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae, Rutelinae, Dynastinae, Cetoniinae). Revista Colombiana de Entomología 32(2): 191-199.
- Pérez-Agis, E., Vázquez-García, M., González-Eguiarte, D., Pimienta-Barrios, E., Nájera Rincón, M. B. y Torres-Morán, P. 2004. Sistemas de producción de maíz y población de macrofauna edáfica. Terra Latinoamericana 22: 335-341.
- Pérez-Dominguez, J. F., Najera-Rincon, M. B. y Alvarez-Zagoya, R. 2010. Plagas del suelo en Jalisco (pp. 251-261). In: Rodríguez d., L. A. y Morón, M. A. (Eds.) Plagas del suelo. Editorial Aedos, S. A. México, D.F.
- Pérez-Torres, B. C., Aragón G., A., Bautista M., N., Tapia R., A. M., y López-Olguín, J. F. Entomofauna asociada al cultivo de jamaica (*Hibiscus Sabdariffa* L.) en el municipio de Chiautla de tapia, Puebla.

- Phillips, S. J., and M. Dudík. 2008. Modelling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Ramírez-Salinas, C., y Castro-Ramírez, A. E. 2000. El complejo "gallina ciega" (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de maíz, en el madronal, municipio de Amatenango del Valle, Chiapas, México. *Acta Zoologica Mexicana*. 79: 17-41.
- Robinson, M. 1948. Studies in the Scarabaeidae. IV. (Coleoptera). *Transactions of the American Entomological Society* 74(1): 29-36.
- Rodríguez-del-Bosque., L. A. 1984. Oviposición de *Phyllophaga crinita* Burmeister sobre diferentes cultivos en el norte de Tamaulipas, México. *Southwestern Entomologist* 9(2): 184-186.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. 1996. Pupation and adult longevity of *Phyllophaga crinita*, *Anomala flavipennis* and *A. foraminosa* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Southwestern Entomologist* 21(1): 55-58.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A., R. L. Crocker, & E. J. Riley. 1995. Diversity and abundance of *Phyllophaga* and *Anomala* species in agroecosystems of northern Tamaulipas, Mexico. *Southwestern Entomologist* 20(1): 55-59.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A., J. Avila-Valdez, & E. Garza-Urbina. 2003. *Phyllophaga crinita* (Coleoptera: Scarabaeidae): a new pest in the Huastecas area of Mexico. *Southwestern Entomologist* 28(2): 155-156.
- Rodríguez del Bosque, L. A. y Morón, M. A. 2010. *Plagas del Suelo*. Mundi-Prensa México. México. 415 pp.
- Romero-López, A.A., Arzuffi, R., Valdez, J., y Morón M. A. 2009. Morfología y protrusión-retracción de la cámara genital femenina de *Phyllophaga obsoleta* (Coleoptera: Melolonthidae). *Acta Zoológica Mexicana* 25(2): 315-321.
- Ruíz C., J.A., E. Bravo M., G. Ramírez O., A.D. Báez G., M. Álvarez C., J.L. Ramos G., U. Nava C. y K.F. Byerly M. 2013. *Plagas de importancia económica en México: aspectos de su biología y ecología*. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 447 p.
- Ruíz V., J., T. Aquino B., M. E. Silva. R. and S. Girón P. 2012. Control integrado de la gallina ciega *Phyllophaga vetula* Horn (Coleoptera: Melolonthidae) con

- agentes entomopatógenos en Oaxaca, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3): 609-616.
- Sanderson, M. W. 1958. Faunal affinities of Arizona *Phyllophaga*, with notes and descriptions of new species (Coleoptera, Scarabaeidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 31(2): 158-173.
- Saylor, L. W. 1941. Descriptions of new beetles of the genus *Phyllophaga* from Neotropical regions. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 54: 25-30.
- Seoane, J. y Bustamante, J. 2001. Modelos predictivos de la distribución de especies: una revisión de sus limitaciones. *Ecología* 15: 9-21.
- Soberon, J., Osorio-Olvera, L. y Peterson, T. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 437-441.
- Trotta-Moreu, N., Lobo M., J. y Cabrero-Sañudo, F. 2008. Distribución conocida y potencial de las especies de Geotrupinae (Coleoptera: Scarabaeoidea) en México. *Acta Zoológica Mexicana* 24(2): 39-65.
- Villalobos, F. J. 1992. The potential of entomopathogens for the control of White grubs pests of corn in Mexico. In: T. Glare y T. A. Jackson (eds.), *The Pest Management of Soil Scarab Beetles*. Intercept. Pp. 253-260.
- Villalobos, F. J. 1995. El manejo sostenible de plagas del suelo: el caso de las larvas de Melolonthidae. En: A. Aragón (ed.). *Control de Plagas con Métodos Alternativos al Químico*. Pub. Esp. Sociedad Mexicana de Entomología. Puebla, Pue. Mex. Pp. 69-89.
- Warren, L., and S. Seifert. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications* 21: 335-342.

Conclusiones generales

Las áreas con idoneidad ambiental para *P. ravidia* comprendieron estados del centro y oeste de México. Se calcularon las áreas con disponibilidad mayor en Hidalgo, Morelos, Oaxaca y Puebla; mientras que, en Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Veracruz, el nicho de la especie se delimitó a áreas específicas sin abarcar grandes superficies. El nicho de *P. ravidia* interactuó con el cultivo de la caña de azúcar en los estados de Colima, Chiapas, Michoacán, Morelos, y Puebla, mientras que con el cultivo del maíz los estados que mostraron mayor disponibilidad ambiental fueron Hidalgo, Estado de México, Puebla, Morelos y Oaxaca.

Los diferentes grupos de *Phyllophaga* estudiados mostraron interacción positiva con áreas agrícolas del país, su nicho ecológico coincidió con la distribución de sus plantas comerciales hospederas.

El grupo *anodontata* presentó la mayor área geográfica con disponibilidad ambiental, grupo *ravidia* mostró similaridad con el del grupo *obsoleta*, observándose un solapamiento de nicho; mientras que el nicho del grupo *setifera* se concentró más al centro y sur del país.