



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación  
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente –PUIRNA

## INFORME FINAL

# **Distribución Potencial de las Abejas Nativas sin Aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante Posibles Escenarios de Cambio Climático**

Equipo de investigación

**Natalia Escobedo Kenefic**

Jéssica Esmeralda López López

Eunice Enríquez

Valeska Contreras

Denisse Escobar

Quebin Casiá

**Noviembre de 2017**

Instituto de Investigación de Ciencias Químicas y Biológicas IIQB

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán  
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. Saúl Guerra Gutiérrez  
Coordinador del Programa de Investigación

Natalia Escobedo Kenefic  
Coordinadora del proyecto

Jessica Esmeralda López  
Investigadora

María Eunice Enríquez  
Investigadora

Valeska Contreras  
Auxiliar de Investigación II

Denisse Escobar  
Quebin Casiá  
Colaboradores

Partida Presupuestaria  
4.8.63.2.06  
Año de ejecución: 2017

## Índice

|   |           |
|---|-----------|
| Título  | 5         |
| Resumen (Abstract)  | 5         |
| 1. Introducción   | 6         |
| 2. Planteamiento del problema   | 7         |
| 3. Preguntas de investigación   | 7         |
| 4. Delimitación en tiempo y espacio   | 8         |
| 5. Justificación  | 8         |
| 6. Marco teórico y estado del arte  |           |
| 6.1. Los meliponinos de Guatemala   | 9         |
| 6.2. Antecedentes del estudio de los meliponinos en Guatemala   | 9         |
| 6.3. Ecología   | 10        |
| 6.4. Diversidad y distribución en Guatemala   | 10        |
| 6.5. Conocimiento tradicional sobre la biología y manejo de las abejas nativas sin aguijón en Guatemala | 12        |
| 6.6. La colección de Abejas Nativas de Guatemala  | 14        |
| 6.7. Abejas y cambio climático  | 15        |
| 7. Materiales y métodos   | 17        |
| Ubicación geográfica y Tipo de investigación  | 17        |
| Técnicas e instrumentos   | 17        |
| Operacionalización de las variables   | 20        |
| Procesamiento de datos y plan de análisis   | 21        |
| 8. Resultados   | 23        |
| Matriz de resultados  | 23        |
| 9. Impacto esperado   | 25        |
| 10. Análisis y discusión de resultados  | 26        |
| 11. Conclusiones  | 30        |
| 12. Referencias   | 31        |
| 13. Apéndices   | 37        |
| 14. Actividades de gestión, vinculación y divulgación   | 89        |
| 15. Agradecimientos   | 91        |
| <b>16. Orden de pago</b>  | <b>92</b> |

## Índice de Ilustraciones

### Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Diversidad y distribución de meliponinos para Guatemala   | 11 |
| Tabla 2. Descripción de las diferentes especies de abejas nativas sin aguijón conocidas por los meliponicultores tradicionales en Guatemala  | 13 |
| Tabla 3. Operacionalización de las variables   | 20 |
| Tabla 4. Matriz de resultados  | 23 |
| Tabla 5. Variables bioclim (WordClim-Global Climate Data)  | 69 |
| Tabla 6. Resumen de las variables con mayor porcentaje de contribución por cada modelo, para las condiciones climáticas actuales y para los distintos escenarios de gases de invernadero   | 41 |
| Tabla 7. Porcentajes de pérdida o ganancia de área de distribución potencial (con condiciones climáticas adecuadas para la especie) en los distintos escenarios de cambio climático, respecto al área de distribución potencial actual | 76 |

### Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Proporciones de los registros revisados, por especie  | 37 |
| Figura 2. Fotografías de las distintas especies de abejas sin aguijón de Guatemala  | 39 |
| Figuras 3 a 33. Mapas de distribución potencial de las especies de abejas sin aguijón de Guatemala, en condiciones actuales y en los distintos escenarios de cambio climático | 44 |
| Figura 31. Mapa de áreas (ejemplo de la metodología para calcular los cambios en áreas de distribución potencial  | 69 |
| Figura 32. Ganancia o pérdida de áreas en el escenario RCP 4.5  | 73 |
| Figura 33. Ganancia o pérdida de áreas en el escenario RCP 6.0  | 74 |
| Figura 34. Ganancia o pérdida de áreas en el escenario RCP 8.5  | 75 |

### Material divulgativo

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Guía: Abejas sin aguijón de Guatemala | 89 |
| Calendario: Abejas de Mesoamérica     | 90 |

# **Distribución Potencial de las Abejas Nativas sin Aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala Ante Posibles Escenarios de Cambio Climático**

## **Resumen**

Los meliponinos, o abejas sin aguijón, son organismos con gran importancia económica, biológica y cultural para Guatemala, ya que son polinizadores altamente eficientes y varias especies pueden ser domesticadas para la comercialización de los productos de la colmena. El cambio climático es una de las principales amenazas para la biodiversidad, sin embargo, no existen muchos estudios que aborden su efecto sobre las especies de abejas, incluidas las abejas sin aguijón. Este proyecto realizó una descripción de los posibles efectos del cambio climático sobre las distribuciones potenciales de las abejas sin aguijón de Guatemala, tanto actuales como en posibles escenarios de cambio climático. Para esto se realizaron modelajes de distribuciones potenciales, utilizando variables ambientales actuales y predichas como posibles escenarios del cambio climático. Se generaron modelos de distribución potencial para las condiciones climáticas actuales y las predichas según los escenarios RCP 4.5, 6.0 y 8.5. La variable que más aportó a la mayoría de los modelos fue Bio-7 (rango temperatura anual), sugiriendo la importancia de la temperatura como limitante en la distribución de las abejas sin aguijón.

## **Abstract**

Meliponids, or stingless bees, are an economically and culturally important group in Guatemala, since they are highly efficient pollinators. Also, some species can be domesticated and the products of their hives can be commercialized. Climate change is one of the main threats against biodiversity, although there are not many studies that approach its effects on bee species, including stingless bees. This research project aims to describe the possible effects of climate change on the potential distributions of the stingless bees of Guatemala, both actual and projected for possible climate change scenarios. We performed potential distribution modeling, using environmental variables for actual and predicted scenarios of greenhouse gases (RCP 4.5, 6.0 and 8.5). The obtained models were used to make comparisons among the potential distributions, and to discuss the relevance of the most significant variables for each model. The Bio-7 variable

(annual temperature range) contributed highly to most models, suggesting an important effect of temperature in restricting the distribution of stingless bees.

## **1. Introducción**

Los meliponinos (Apidae: Meliponini) son el grupo de abejas conocidas como “abejas sin aguijón”, y son nativas de los trópicos del mundo (Michener, 2000). Estas especies habitan principalmente en los bosques tropicales, donde aprovechan los recursos alimenticios disponibles para la alimentación de sus colonias, que son numerosas y permanentes. En Guatemala hay reportadas 33 especies, distribuidas ampliamente en el país (Yurrita & Vásquez, 2013).

Los meliponinos son organismos con gran importancia económica cultural para Guatemala, por distintas razones. Son polinizadores importantes en distintos sistemas naturales y agrícolas, existen varias especies que han sido domesticadas y cultivadas en Mesoamérica desde la época prehispánica (Fuentes y Guzmán, 1700). Su miel y otros productos de la colmena tienen alto potencial económico debido a sus propiedades terapéuticas, avaladas por los conocimientos tradicionales así como por pruebas de laboratorio, y su potencial sigue creciendo junto a la diversificación de sus usos.

Durante los últimos 15 años las abejas sin aguijón han sido estudiadas de forma continua (Marroquín, 2000; Yurrita & Vásquez, 2013) en Guatemala, dando lugar a que actualmente se cuente con la Colección de abejas nativas de Guatemala (Cang), que se encuentra en el Centro de Estudios Conservacionistas (Cecon), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac). Esta colección tiene un gran valor en su riqueza y abundancia de especímenes y de datos de colecta; siendo la única en su tipo a nivel nacional.

El cambio climático es considerado una de las amenazas más importantes sobre la biodiversidad (Davis, Wills, Primack, & Miller-Rushing, 2010; Root, et al. 2003). Sin embargo, son muy pocos los estudios que tratan sobre sus posibles efectos sobre las poblaciones de abejas nativas (Kerr, et al., 2015; Rasmont, et al., 2015, y no se conoce ninguno en Guatemala. Dada la importancia de los meliponinos para Guatemala y a nivel regional, y considerando que se cuenta con información de calidad sobre el grupo, este proyecto planteó la realización de una descripción de los posibles

efectos del cambio climático sobre las distribuciones potenciales de las abejas sin aguijón de Guatemala.

Luego de corroborar la identificación taxonómica y la información de colecta de 6,301 registros de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang), fue posible realizar modelados de distribuciones potenciales de 29 de las 33 especies reportadas para Guatemala, tanto para las condiciones ambientales actuales como para las condiciones predichas en los posibles escenarios de cambio climático para la región. Se reportan las variables bioclimáticas que más contribuyen a los modelos. A partir de los modelos fue posible cuantificar las áreas de distribución potencial y obtener los porcentajes de ganancia o pérdida para cada escenario predicho, para cada especie.

## **2. Planteamiento del problema**

Las abejas sin aguijón son un grupo diverso en Guatemala, de gran valor cultural, potencial económico e importancia ecológica. Además de ser fuente de productos útiles para el ser humano, las abejas sin aguijón son polinizadores importantes de sistemas naturales y agrícolas en el país. A pesar de que el cambio climático es considerado una importante amenaza para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, es muy poco lo que se conoce sobre su efecto en las poblaciones de abejas, y menos aún sobre las abejas sin aguijón.

Dada la importancia del grupo, tanto cultural como en el mantenimiento de los procesos ecológicos y en la agricultura, es necesario realizar estudios que generen información sobre los posibles riesgos para sus poblaciones, además de proveer de herramientas para toma de decisiones informada respecto a las acciones necesarias para su conservación, y como parte de las medidas para enfrentar los riesgos del cambio climático.

## **3. Preguntas de investigación**

- a. ¿Cuáles son las distribuciones potenciales de las distintas especies de abejas sin aguijón de Guatemala?
- b. ¿Cómo podrían cambiar estas distribuciones en los posibles escenarios de cambio climático predichos para la región mesoamericana?

- c. ¿Qué variables ambientales pueden ayudar a predecir los cambios en la distribución de las abejas sin aguijón?

#### **4. Delimitación en tiempo y espacio**

Delimitación espacial: Este estudio se realizó con información almacenada en bases de datos sobre biodiversidad, principalmente la base de datos de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang) del Cecon. Los modelajes de las especies se realizaron a nivel nacional o regional, según la distribución de la especie. No se realizó trabajo de campo, por lo que la gran mayoría del trabajo se realizó en las instalaciones del Cecon.

Delimitación temporal: 11 meses, de febrero a diciembre del 2017.

#### **5. Justificación**

El cambio climático es considerado uno de las principales amenazas para la biodiversidad y para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, lo cual afecta directamente la calidad de vida y pone en riesgo la seguridad alimentaria de las poblaciones humanas. Entre los organismos vivos, las abejas son uno de los grupos más importantes que prestan servicios ecosistémicos a la humanidad, por ser polinizadores altamente eficientes. Se estima que las abejas polinizan alrededor del 90% de las plantas, incluyendo el 30% de los cultivos (Kjøhl, Nielsen, & Stenseth, 2011). Los meliponinos son el grupo nativo de abejas más abundante en los trópicos, por lo que constituyen un recurso ecosistémico de gran importancia. Existen pocos estudios en los que se aborden los posibles efectos del cambio climático sobre las abejas, los cuales principalmente se enfocan en abejorros del género *Bombus*. Los escasos estudios que mencionan meliponinos se refieren a la ocurrencia de cambios en sus distribuciones históricas (Lichtemberg & Brosi, 2012). En Guatemala no se conoce ningún estudio que trate el tema.

Dado el gran valor cultural, potencial económico e importancia ecológica en Guatemala de las abejas sin aguijón, el equipo de investigación de la Unidad para el Conocimiento, Uso Valoración de la Biodiversidad, del Cecon, considera de importancia primordial estudiar los factores que pongan en riesgo el mantenimiento de las poblaciones y de la biodiversidad del grupo.

Por otra parte, y dada la importancia y actualidad del tema, es necesario producir información útil para la elaboración de propuestas de conservación y para la toma de decisiones dirigidas a enfrentar los posibles riesgos del cambio climático. Asimismo, este estudio puede servir como línea base para investigaciones con otros grupos de organismos con características ecológicas semejantes.

## **6. Marco teórico y estado del arte**

### **6.1. Los meliponinos de Guatemala**

Los meliponinos (Apidae: Meliponini) son abejas sin aguijón distribuidas en los trópicos del mundo. Se caracterizan por formar colonias numerosas con castas definidas (reinas, obreras y zánganos), y almacenar miel y polen, así como por producir cera y otros materiales que utilizan en la elaboración de sus nidos (Michener, 2000). En Guatemala hay reportadas 33 especies, las cuales se distribuyen ampliamente en el país, principalmente en las zonas cálidas y húmedas (Yurrita & Vásquez, 2013). Además de su valor cultural y su potencial económico, los meliponinos son polinizadores importantes, que proveen el servicio ecosistémico de polinización a los sistemas naturales y agrícolas de la región.

### **6.2. Antecedentes del estudio de los meliponinos en Guatemala**

Ya en el siglo XVIII, Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán comentó sobre la diversidad y el cultivo de algunas especies de abejas. Describe la presencia de meliponinos en la región mesoamericana, mencionando nidos subterráneos que, por la descripción de anidamiento y de la miel, seguramente se refiere a *Geotrigona acapulconis*, comúnmente llamada talnete. También menciona la forma tradicional, que se mantiene hasta la fecha, como los indígenas cultivaron las abejas sin aguijón en troncos ahuecados llamados corchos (Fuentes y Guzmán, 1700).

Más tarde, el padre Fray Francisco Ximénez describió con mucho detalle el comportamiento, anidación, aspectos de los nidos y el cultivo de abejas sin aguijón nativas de Guatemala. Menciona aspectos precisos del manejo de una especie de abeja, que probablemente era *Melipona beecheii*. Aspectos como la época adecuada para la extracción de miel, la miel verde y la forma

de extracción de los nidos del bosque. Explica aspectos detallados de los nidos como: número de panales, depósitos de miel y polen, la reina, la abeja guardiana, etc. Asimismo, debido a las minuciosas descripciones de aspectos de la biología y comportamiento de las abejas, se puede deducir a qué especies se refiere, que en total son cinco: 1) *Tetragonisca angustula*, 2) *Nanotrigona perilampoides*, 3) *Partamona bilineata*, 4) *Geotrigona acapulconis* y 5) *Melipona beecheii* (Ximénez, 1967).

El estudio de los meliponinos de Guatemala durante el siglo XX es discontinuo, y consiste en reportes aislados de material colectado y utilizado en revisiones taxonómicas. Fue Marroquín (2000), quien en su tesis de licenciatura (no publicada), elaboró el primer listado de meliponinos de Guatemala y reportó 10 géneros y 27 Especies. Posteriormente, Enríquez, Yurrita, Ayala, Marroquín & Griswold (2012) reportan 11 géneros y 41 especies de meliponinos, basados en reportes bibliográficos. Por último, Yurrita & Vásquez (2013) reportan un total de 16 géneros y 33 especies de meliponinos, basados en las abejas presentes en la Cang. La tribu Meliponini presenta la mayor riqueza de especies dentro de la Familia Apidae para Guatemala (Enríquez et al., 2012).

### **6.3. Ecología**

Los meliponinos se desarrollan principalmente en bosques de tierras bajas, cálidas y húmedas. Las especies de este grupo se adaptaron a las condiciones climáticas de humedad y temperaturas estables de los trópicos, aprovechando la abundancia de árboles para anidar y los abundantes recursos alimenticios, para establecer colonias numerosas y permanentes (Roubik, 1989).

### **6.4. Diversidad y distribución en Guatemala**

El número de especies de meliponinos reportados para Guatemala (33, Cuadro 1) es ligeramente inferior al reportado para México (46) (Ayala 1999), sin embargo, al incrementar el esfuerzo de colecta en el país, se espera que la riqueza se aproxime a la reportada para Costa Rica (50) (Ortiz 1998) y a la de Panamá (48) (Ayala, Griswold & Bullock, 1998), permaneciendo, sin embargo, muy por debajo de la riqueza reportada para Colombia (120) (Nates-Parra, 2006) y Brasil (192) (Silveira, Melo & Almeida, 2002).

Tabla 1

*Diversidad y distribución de meliponinos para Guatemala*

|    | Especie  | Distribución  | Rango Altitudinal msnm |
|----|--|---|------------------------|
| 1  | <i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)  | AV, CHIQ, SR  | 0-1500                 |
| 2  | <i>Dolichotrigona schulthessi</i> (Friese, 1900)   | AV, QUE, REU, SM  | 0-1500                 |
| 3  | <i>Frieseomelitta nigra</i> (Cresson, 1878)        | PR  | 0-500                  |
| 4  | <i>Geotrigona acapulconis</i> (Strand, 1919)       | G, SR   | 1000-1500              |
| 5  | <i>Lestrimellita niitkib</i> Ayala, 1999           | AV, G, PR   | 0-2000                 |
| 6  | <i>Melipona beecheii</i> Bennett, 1831             | AV, BV, CHIQ, QUI, PE, ESC, G, I, JUT, REU, SR, SOL                 | 0-2000                 |
| 7  | <i>M. solani</i> Cockerell, 1912                   | AV, I, QUI, PE, HUE, QUE, REU, SM                                   | 0-1500                 |
| 8  | <i>M. yucatanica</i> Camargo, Moure & Roubik, 1988 | HUE, JUT, SAC, SR   | 500-1000               |
| 9  | <i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)  | AV, BV, PE, G, I, JUT, SR, ZAC                                      | 0-2000                 |
| 10 | <i>Oxytrigona mediorufa</i> (Cockerell, 1913)      | CHIM, I, QUE, SUCH  | 500-1500               |
| 11 | <i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)   | AV, SR  | 0-1500                 |
| 12 | <i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)             | AV, BV, CHI, G, HUE, I, JUT, JAL, QUE, QUI, REU, SAC, SM, SOL, SUCH | 0-2500                 |
| 13 | <i>P. orizabaensis</i> (Strand, 1919)              | AV, CHIQ, QUI, QUE, REU, SM, SOL, SUCH                              | 0-2500                 |
| 14 | <i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)            | CHI, PE, I, ZAC   | 0-1500                 |
| 15 | <i>P. fulvopilosa</i> Ayala, 1999                  | CHI   | 1500-2000              |
| 16 | <i>P. jatiformis</i> (Cockerell, 1912)             | AV, G, SR   | 0-2000                 |
| 17 | <i>P. llorentei</i> Ayala, 1999                    | AV  | 0-500                  |
| 18 | <i>P. melanica</i> Ayala, 1999                     | BV, CHIQ, QUI   | 1500-2000              |
| 19 | <i>P. moureana</i> Ayala, 1999                     | AV, JUT, SM   | 0-1000                 |
| 20 | <i>P. parkeri</i> Ayala, 1999                      | AV, G, QUE, SM, SR  | 0-1500                 |
| 21 | <i>P. pulchra</i> Ayala, 1999                      | AV, QUI, SR   | 0-1500                 |
| 22 | <i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin-             | AV, CHIM, QUI, QUE, REU   | 0-2000                 |

|    |   |   |          |
|----|---|---|----------|
|    | Menéville, 1844)                                |   |          |
| 23 | <i>S. pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)        | QUI, REU, SM, SR  | 0-1500   |
| 24 | <i>Scaura argyrea</i> (Cockerell, 1912)         | AV, PE  | 0-1000   |
| 25 | <i>Tetragona mayarum</i> (Cockerell, 1912)      | CHIQ, I   | 0-1000   |
| 26 | <i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811) | CHIM, SUCH, QUE, REU, PR, G, JUT, I, CHIQ, AV                       | 0-2000   |
| 27 | <i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913          | AV, BV, CHIQ, PR, JUT, I, SUCH, SR, ZAC                             | 0-2000   |
| 28 | <i>T. fulviventris</i> Guérin-Ménéville, 1844   | AV, CHIQ, PE, PR, QUI, G, I, JUT, QUE, SAC, SM, SR, SOL, SUCH, ZAC, | 0-2000   |
| 29 | <i>T. fuscipennis</i> Friese, 1900              | AV, CHIM, PR, I, JUT, SUCH  | 0-1500   |
| 30 | <i>T. nigerrima</i> Cresson, 1878               | AV, PE, QUE, SR, SOL, SUCH  | 0-2500   |
| 31 | <i>T. silvestriana</i> (Vachal, 1908)           | AV, I   | 0-1000   |
| 32 | <i>Trigonisca maya</i> Ayala, 1999              | PR  | 0-500    |
| 33 | <i>T. pipioli</i> Ayala, 1999                   | BV, CHIQ  | 500-2500 |

AV Alta Verapaz, BV Baja Verapaz, CHIQ Chiquimula, CHIM Chimaltenango, ESC Escuintla, G Guatemala, HUE Huehuetenango, I Izabal, JAL Jalapa, JUT Jutiapa, PR El Progreso, PE Petén, QUE Quetzaltenango, QUI Quiché, RE Retalhuleu, SAC Sacatepéquez, SM San Marcos, SR Santa Rosa, SUCH Suchitepéquez, SOL Sololá, ZAC Zacapa. (Yurrita & Vásquez, 2013)

### 6.5. Conocimiento tradicional sobre la biología y manejo de abejas nativas sin aguijón en Guatemala

La crianza de las abejas nativas sin aguijón o meliponinos está muy arraigada a los pueblos mesoamericanos, como se observa en las representaciones mayas del códice de Madrid, donde se observan varias páginas dedicadas a la meliponicultura. Los españoles, durante su llegada a América observaron un gran desarrollo de la meliponicultura (Fuentes, 1700).

En la actualidad, los meliponicultores en Guatemala tienen un amplio conocimiento sobre diversas especies de abejas sin aguijón, así como su etología y ecología, principalmente en cuanto a sus hábitos de anidamiento (Cuadro 2). La especie de mayor importancia comercial en Guatemala es *Melipona beecheii*, ya que produce más miel y la que más utilizan para la elaboración de recetas terapéuticas.

La miel es el principal producto utilizado de las colmenas de las distintas especies de abejas sin aguijón. Pocas veces reportan el uso de polen o cera y nunca utilizan el propóleo. La mayoría utiliza la miel para su consumo propio como medicina y alimento ya que poseen muy pocas colmenas. Solo aquellos que poseen muchas colmenas las utilizan para la comercialización.

La miel de las abejas sin aguijón se cotiza a un precio hasta 3 veces mayor que la miel de *Apis mellifera*. (Enríquez, Yurrita, Aldana, Ochaeta, Jáuregui, Chau, 2004)

Tabla 2

*Descripción de las diferentes especies de abejas nativas sin aguijón conocidas por los meliponicultores tradicionales en Guatemala*

| No. | Especie                         | Nombre Común                               | Tipo de nido                                  | Características para reconocerlas  |
|-----|---------------------------------|--|---|--|
| 1   | <i>Melipona beecheii</i>        | Colmena grande, criolla, sak´qqaw, bichi   | Tronco, caja y corcho*                        | Abeja grande, amarilla, dócil, igual a <i>Apis</i> , rayada, gris con amarillo y con pelo. |
| 2   | <i>Melipona solani</i>          | Chacchow                                   | Tronco  |  |
| 3   | <i>Tetragonisca angustula</i>   | Chumelo, doncella, doncellita, anus, qánus | En tronco, corcho, caja y entre piedras       | Amarilla y delgada   |
| 4   | <i>Geotrigona acapulconis</i>   | Talnete                                    | Bajo tierra                                   | Abeja mediana, negro y gris, con alas claras. La miel es blanca.                           |
| 5   | <i>Scaptotrigona mexicana</i>   | Magua negro, congo negro                   | En tronco y corcho                            | Negra, abeja mediana, agresiva (muerde)  |
| 6   | <i>Scaptotrigona pectoralis</i> | Magua canche, alazán, congocanche, shuruya | En tronco y corcho                            | Abeja mediana y canche (amarilla)  |
| 7   | <i>Partamona bilineata</i>      | Sacar, cushpun                             | Nido sobre pared o tronco; elaborado de lodo. | Abeja negra y agresiva (muerde).   |
| 8   | <i>Trigona nigerrima</i>        | Cushusho, joloncán, homo                   | Nido sobre la rama de los árboles             | Abeja negra, agresiva y mediana.   |
| 9   | <i>Trigona silvestriana</i>     | Homo                                       | Nido sobre la rama de los árboles             | Abeja grande y negra. Miel ácida y amarilla clara.   |
| 10  | <i>Lestrimelita niitkib</i>     | Limoncillo                                 | En tierra o en pared, entrada de lodo         | Abeja negra, pequeña y con olor a limón.   |

|    |                                       |  |   |   |
|----|---------------------------------------|--|---|---|
| 11 | <i>Trigona fulviventris</i>           | Mandinga, culo de señora,<br>culo de chucho. | En tierra   | Abeja negra y abdomen<br>rojo, mediana y colecta<br>excremento.                   |
| 12 | <i>Oxytrigona mediorufa</i>           | Tamagás, pringador                           | En tronco   | Abeja negra y amarilla,<br>grande.  |
| 13 | <i>Melipona yucatanica</i>            | Tinzuca                                      | En tronco   | Parecida a la criolla o<br>colmena grande pero<br>abejas más pequeñas.            |
| 14 | <i>Cephalotrigona<br/>zexmeniae</i>   | Congo tamagás                                |   |   |
| 15 | <i>Nannotrigona<br/>perilampoides</i> | Conguito, boca de sapo,<br>serenita          | En bambú  |   |
| 16 | <i>Paratrigona<br/>guatemalensis</i>  | Chelerita                                    | Nido pequeño sobre<br>las ramas de los<br>árboles |   |
| 17 | <i>Plebeia spp.</i>                   | Sarquita, serenita, hoyito de<br>gallina     | En tronco o bambú                                 | Abejas muy pequeñas,<br>ojos claros, oscuras,<br>delgadas o amarilla o<br>negras. |

\*Corcho se refiere a la forma más común de mantener a las abejas sin aguijón que consiste en un tronco ahuecado con dos tapones a los lados, sellados con barro. (Enríquez, Monroy & Solis., 2001; Enríquez, Yurrita, Aldana, Ocheita, Jáuregui y Chau, 2005).

## 6.6. La colección de abejas nativas de Guatemala, Cecon-Usac

La Cang, ubicada en el Cecon, cuenta actualmente al menos 20,000 especímenes de abejas. En esta colección está representada gran parte de la apifauna del país. Es única en su tipo, a nivel centroamericano, y ha sido un referente para científicos nacionales y extranjeros sobre la diversidad de abejas de la región (Enríquez & Ayala 2014). También ha sido una herramienta de divulgación y asesoría sobre el estado de la diversidad de abejas de Guatemala, no solamente para el uso de la academia nacional, sino también como un servicio a distintos sectores de la sociedad.

La mayoría de las especies de la colección (47%) pertenecen a la familia Apidae, dentro de la cual se encuentra la tribu Meliponini, que agrupa a las especies de abejas sin aguijón. En la colección

se cuenta con 33 especies de meliponinos, de las cuales para el 2003 ya existían al menos 6,000 registros referenciados geográficamente (Enríquez & Ayala 2014). Estos especímenes, así como la información correspondiente a cada uno, han sido obtenidos por medio de distintos proyectos de investigación. Asimismo, constituyen una fuente de datos con un gran potencial para esfuerzos de conservación, incluyendo las evaluaciones del estado de conservación de las especies de abejas nativas de Guatemala.

## **6.7. Abejas y el cambio climático**

**6.7.1. *El cambio climático.*** Durante los últimos 500 años, la actividad humana en el planeta ha causado cambios importantes en los ambientes naturales. El aumento de temperatura, nivel y acidificación de los océanos, así como la deforestación, cambio del uso del suelo, agricultura y urbanización y el cambio climático, son algunas causas de la modificación del ambiente que han reducido y amenazado a la biodiversidad mundial. Se estima que se ha perdido entre 11,000 y 58,000 especies anualmente (Costello, May & Stork, 2013; Dirzo, et al., 2014; Potts et al., 2010; Zalasiewicz, Williams, Haywood & Ellis, 2011).

El cambio climático, es un término que se utiliza para indicar un cambio en las estadísticas del clima en un período largo de tiempo (incluyendo su promedio) (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2007). Existe un consenso a nivel mundial que la influencia del humano en el clima ha tenido efectos en la biodiversidad (i.e. cambio en la fenología de plantas, en el tiempo de reproducción de animales y/o en su distribución geográfica) (Hoffman & Sgro, 2011). Estos cambios son evidentes en los diferentes ecosistemas alrededor del mundo (PICC, 2014; Root, et al. 2003). El cambio climático probablemente es una de las amenazas más importantes para la biodiversidad en las próximas décadas (Davis, Wills, Primack, & Miller-Rushing, 2010; Root, et al. 2003).

**6.7.2. *Estudios sobre abejas y el cambio climático.*** Se considera que la temperatura y otras variables afectadas por el cambio climático, determinan la fenología y otras funciones biológicas de las abejas, de quienes depende al menos el 30% de la producción agrícola del mundo (Kjølhl et al., 2011). A pesar de que el cambio climático probablemente es una de las amenazas más importantes para la biodiversidad, son pocos los trabajos que se han se han

realizado sobre polinizadores, incluidas las abejas, frente al cambio climático. El género *Bombus* (Apidae: Bombini), constituye un grupo de abejas, llamados abejorros, que forman colonias anuales y anidan bajo la tierra (Michener, 2000). Es uno de los grupos de organismos que se ha estado estudiando dentro del contexto del cambio climático. Los abejorros están asociados por su historia evolutiva de origen paleártico a regiones montañosas con climas templados-fríos (Kerr, et al., 2015; Rasmont, et al., 2015). Asimismo, se tiene conocimiento que estos tienden a ser más sensibles a otras amenazas (i.e. fragmentación del hábitat, pesticidas) cuando estas se encuentran en sus límites climáticos (Williams & Osborne, 2009), los cuales podrían ser más severos a causa del cambio climático. Existen algunos indicadores de que el cambio climático ha tenido y tendrá un efecto devastador en las poblaciones de abejorros y su distribución geográfica en Norte América y Europa (Kerr et al., 2015; Herrera, Ploquin, Rodriguez-Pérez & Obeso, 2014; Kirilenko & Hanley, 2007). Las proyecciones al futuro de la distribución de abejorros de Rasmont, et. al., (2015) en Europa y cómo éstas sufren reducciones moderadas y altas a causa del cambio climático no son alentadoras.

6.7.3. ***El estudio de las abejas sin aguijón frente al cambio climático.*** Hasta el momento hay muy pocas publicaciones científicas sobre los efectos del cambio climático sobre la distribución de las abejas sin aguijón. Lichtenberg & Brosi (2012) reportan el registro de dos especies de abejas sin aguijón fuera de su área de distribución conocida, adjudicando esas ocurrencias al cambio climático. A pesar de la falta de información actual, Kjølhl y colaboradores (2011) mencionan a los meliponinos como uno de los principales grupos de polinizadores, e indican la importancia de monitorear la sensibilidad de los polinizadores a los cambios de temperatura.

6.7.4. ***Uso del modelado de nicho ecológico para proyecciones de distribución potencial frente al cambio climático.*** El modelado de nicho ecológico es un método que permite predecir distribuciones potenciales para los organismos, empleando datos de colecta de individuos georreferenciados, en combinación con información geográfica, climática y ecológica. Además de la información geográfica, esta técnica requiere del conocimiento de las características ambientales del nicho de una especie, mismas que son relevantes para explicar el patrón de distribución. Una vez se cuenta con esta información, se realizan mapas de distribución potencial

basados en la interacción de factores climáticos y otros factores relevantes (por ejemplo uso del suelo, clima en el pasado y futuro), con la ubicación geográfica de las especies (Peterson, 2003; Peterson & Vieglais, 2001).

Los mapas generados muestran el nicho ecológico potencial de una especie, permitiendo identificar regiones geográficas que presenten condiciones climáticas similares al de su distribución registrada, y en las cuales podría encontrarse la especie estudiada. Utilizando las variables ambientales y otros factores predichos para posibles escenarios del cambio climático, el modelado de nicho ecológico puede ser utilizado para poner a prueba hipótesis que estén relacionadas con el cambio climático a mediano y largo plazo. (McCormack, Zellmer & Knowles, 2010; Peterson, 2003; Peterson & Vieglais, 2001).

## **7. Materiales y métodos**

### **7.1. Ubicación geográfica de la investigación**

Esta investigación se realizó en las instalaciones del Centro de Estudios Conservacionistas, con la colección de abejas nativas.

### **7.2. Tipo de Investigación: no experimental**

Enfoque de la investigación: Cuantitativo.

Alcance: Exploratorio, descriptivo y predictivo.

### **7.3. Técnicas e instrumentos**

#### **7.3.1. Métodos**

7.3.1.1. Resolución de conflictos taxonómicos. Análisis detallado de especímenes, caracterización de las especies con conflictos taxonómicos. El método es taxonomía clásica.

7.3.1.2. Distribuciones potenciales actuales y proyectadas en escenarios predichos de cambio climático: Modelaje de nicho ecológico, según factores ambientales actuales y predichos para la región.

7.3.1.3. Comparaciones entre distribuciones potenciales actuales y en escenarios predichos del cambio climático: Relaciones y/o diferencias cuantificables, entre variables geoespaciales (área, configuración) de las distribuciones potenciales actuales y las predichas.

### **7.3.2. Técnica**

7.3.2.1. *Resolución de conflictos taxonómicos.* Revisiones taxonómicas detalladas, utilizando claves especializadas para los géneros de interés. Se tomaron fotografías de los caracteres importantes para la identificación de los géneros y especies.

*Modelos de distribución potencial.* Se generaron modelos de distribución potencial que corresponden a las áreas geográficas en las cuales existirán las condiciones climáticas adecuadas para las especies de abejas sin aguijón. Para esto, se crearon capas de información geográfica que incluyen las coordenadas de los puntos de colecta georreferenciados (registros) y los datos climáticos asociados a estos puntos, utilizando los paquetes para sistemas de información geográfica ArcGis 10.4 (ESRI, 2016), y QGIS 2.14.3 (Quantum GIS Development Team, 2016).

Se utilizaron las variables climáticas bioclim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005) asociadas al complejo de especies constituido por las abejas sin aguijón (Meliponini) de Guatemala. Se realizó un análisis de correlación de las variables empleando el programa PAST (Hammer, Harper & Ryan, 2001). Se eliminaron las variables altamente correlacionadas ( $r > 0.80$ ), seleccionando las variables a utilizar sobre la base de su relevancia en la interpretación biológica del conjunto de especies. Los escenarios futuros utilizados en este trabajo corresponden a modelos elaborados a partir de los estudios sobre cambio climático realizados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) en su actualización del 2014. Los escenarios utilizados fueron los de gases de efecto invernadero (GEI) de nivel moderado (RCP4.5, RCP6) y alto (RCP8.5).

Los modelos se generaron con el algoritmo de máxima entropía, utilizando el programa MaxEnt (Phillips, Anderson & Schapire, 2006). Luego de poner a prueba el desempeño de

las variables, se eligió el modelo con el valor de AUC (ROC) más alto para cada caso. Se reporta la variable que contribuyó más a cada modelo (Apéndice II, Tabla 6).

Para cada especie modelada se calculó la prueba de Jackknife, la cual permite determinar la contribución relativa de cada variable al modelo. Los modelos elegidos fueron exportados para la elaboración de mapas, utilizando los paquetes para sistemas de información geográfica citados anteriormente.

*7.3.2.2. Comparaciones entre distribuciones potenciales actuales y en escenarios predichos del cambio climático.* Una vez generados los mapas con áreas de distribución potencial actual y predicha, se utilizaron herramientas de análisis espacial para sobreponer las áreas de las condiciones climáticas actuales y las predichas para los distintos escenarios futuros. A partir de esta información se calculó aritméticamente la relación entre área actual y predicha, utilizando una hoja de cálculo de Excel.

### **7.3.3. Instrumento**

*7.3.3.1. Resolución de conflictos taxonómicos.* Consistió en la revisión y determinación taxonómica de los especímenes, utilizando un estereoscopio para uso entomológico. Se tomó fotografías de los caracteres cualitativos necesarios para elaborar diagnósticos. Las identificaciones taxonómicas se realizaron utilizando claves de Apoidea (como Michener, 2000) y especializadas por grupos (por ejemplo, Ayala, 1999), así como otras revisiones de Meliponini (por ejemplo, Nates-Parra, 2001).

*7.3.3.2. Distribuciones potenciales actuales y proyectadas en escenarios predichos de cambio climático.* La información necesaria se obtuvo de los registros georreferenciados de las especies que forman parte de la Cang. En este trabajo se utilizaron únicamente registros de la base de datos de dicha colección, a modo de asegurar que la información utilizada pudiera ser revisada y depurada. La depuración se realizó según los siguientes criterios: fiabilidad de identificación, fiabilidad de la toma de datos, congruencia espacial (que los registros no correspondan a áreas geográficas donde no puede existir la especie).

7.3.3.3. *Comparaciones entre distribuciones potenciales actuales y en escenarios predichos del cambio climático.* La información se obtuvo de los modelados de distribución potencial, en forma de archivos de imagen (*raster Ascii*).

#### 7.3.4. Muestreo y diseño del muestreo

No se realizó muestreo en forma de trabajo de campo. En el caso de la resolución de conflictos taxonómicos, se revisaron la totalidad de los especímenes presentes en la Cang. Para la generación de los modelos se utilizó la población completa, la cual consiste en todos los datos disponibles que cumplan los criterios de inclusión (registros con fecha, localidad, coordenadas geográficas y nombre de identificador).

#### 7.4. Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Tabla 3

*Operacionalización de variables o unidades de análisis*

| Objetivos específicos   | Variables   | Técnicas  | Instrumentos   | Medición o cualificación   |
|---|---|---|--|--|
| Resolver incertidumbres taxonómicas sobre algunas especies sin aguijón de Guatemala.  | Caracteres taxonómicos cualitativos.  | Taxonomía clásica   | Claves taxonómicas, publicaciones científicas, consultas con expertos.                                     | Clasificación de los especímenes de abeja, según los caracteres observados en cada uno, según las claves taxonómicas.  |
| Modelar las distribuciones potenciales de las 33 especies de abejas sin aguijón de Guatemala, tanto actuales como predichas según los posibles escenarios de cambio climático en la región mesoamericana. | Registros georreferenciados de colectas de abejas sin aguijón de Guatemala. Variables ambientales actuales y calculadas según los posibles escenarios de cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014) | Registros de especies: Revisión de bases de datos, principalmente la de la Cang. Corroboración de datos geográficos, fechas, identificación y otros datos importantes. Corroboración con especímenes voucher que se encuentran en la colección. Variables ambientales: Las variables ambientales se obtendrán de la base de datos WordClim, | Bases de datos de colecciones entomológicas nacionales (Cang), y bases de datos de biodiversidad en línea. | Cualitativa: presencia o ausencia de registros referenciados geográficamente. Cuantitativas y continuas: variables ambientales (bioclim) actuales y predichas. |

---

|  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
|  |   | tanto actuales como futuros, según el modelo climático global GCM, datos de la quinta evaluación de IPCC).   |   |  |
|  | VARIABLES AMBIENTALES elegidas para realizar el modelaje de las distribuciones potenciales.   | La información se obtuvo de las bases de datos mencionadas para el inciso anterior. Según el modelo obtenido se identificaron las variables con mayor valor predictivo.          | Software para modelaje de distribuciones potenciales, utilizando el algoritmo de máxima entropía. | Se determinaron las variables que formen parte del mejor modelo obtenido a partir del análisis (modelación con el algoritmo de máxima entropía). |
| Comparar las distribuciones potenciales actuales de las especies de abejas sin aguijón de Guatemala con sus distribuciones potenciales, ante los posibles escenarios de cambio climático para la región. | Áreas de distribución potencial actual y predicha, porcentajes de pérdida o ganancia de área. | Se obtuvieron las variables espaciales a partir de capas digitales, las cuales fueron resultado de los modelajes. Se utilizaron herramientas de SIG para obtener las mediciones. | Exportación de datos desde software de GIS.   | Variable cuantitativa continua: área (en kilómetros cuadrados).  |

---

## 7.5. Procesamiento de datos y plan de análisis

7.5.1. **Resolución de conflictos taxonómicos.** Se revisó la totalidad de los especímenes de abejas sin aguijón de la Cang. Se asignó todos los especímenes a una especie, siempre que estos contaran con las características necesarias para tener certeza de su identidad taxonómica.

7.5.2. **Mapas de distribución potencial.** Para los modelos de distribución potencial (modelaje de nicho ecológico) de las especies de abejas sin aguijón, se utilizó la totalidad de datos (registros) disponibles, siempre y cuando su fiabilidad taxonómica y de georreferenciación pudiera ser corroborada. Se utilizó un análisis de correlación utilizando las variables climáticas (Hijmans et al., 2005) asociadas al complejo de especies constituido por las abejas sin aguijón

(Meliponini) de Guatemala, con el objetivo de eliminar las variables altamente correlacionadas ( $r > .80$ ,  $\alpha = .05$ ), y utilizar las que sean más relevantes para la interpretación biológica del conjunto de especies.

En cuanto al modelado de distribuciones, el método de máxima entropía, por medio del paquete MaxEnt, estima la probabilidad de ocurrencia de las especies por medio del cálculo de una medida de “ganancia”, semejante a la “desviación” (*deviance*) que se utiliza para la bondad de ajuste en los modelos lineales generalizados y modelos aditivos generalizados. La “ganancia”, está definida como la probabilidad de presencia de las muestras, menos una constante que hace que en una distribución uniforme la “ganancia” sea igual a 0. La ganancia del modelo indica qué tanto se concentra alrededor de la presencia de muestras, por ejemplo, si la “ganancia” es igual a 2, la probabilidad (*Likelihood*) de la presencia de muestras es  $\exp(2)$ , lo que es aproximadamente 7.4 más alta que la de un “pixel” promedio (Phillips et al., 2006).

Para calcular la significancia estadística del modelo, se asignará datos de prueba con los que MaxEnt calcula la significancia estadística utilizando una prueba binomial de omisión ( $\alpha = .05$ ). Para evaluar la contribución de cada variable se aplicará una prueba de Jackknife a las áreas bajo la curva (AUC), en las cuales las iteraciones de prueba generan un valor de “ganancia” para cada variable.

**7.5.3. Comparaciones entre distribuciones potenciales actuales y en escenarios predichos del cambio climático.** Se operó aritméticamente la diferencia entre el área de distribución potencial actual (área con condiciones climáticas óptimas para la especie), y el área predicha para cada modelo. Estas áreas corresponden a una clasificación a partir del umbral de probabilidad que corresponde al percentil 10 de la presencia de entrenamiento. Se obtuvo el porcentaje de pérdida o ganancia de área potencial para cada caso (cambio en área / área original\*100).

## 8. Resultados

Tabla 4  
*Matriz de resultados*

| Objetivo Específico   | Resultado Esperado  | Resultado Obtenido   |
|---|---|--|
| Revisar la clasificación taxonómica de los especímenes de abejas sin aguijón que forman parte de la Cang.   | Resolución de conflictos taxonómicos, de modo que todas las especies de abejas sin aguijón de Guatemala (Apidae: Meliponini) en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, cuenten con especímenes debidamente identificados y caracterizados, que puedan ser utilizados en este estudio y como material de referencia. | Se realizó la revisión de varios especímenes de cada especie de meliponinos que se encuentra en la Cang. A partir de la revisión, se elaboró una propuesta de clave taxonómica para los géneros de meliponinos de Guatemala (Apéndice IV). Se tomó fotografías de especímenes de todas las especies, y de las estructuras importantes para su identificación taxonómica (Apéndice I) |
| Utilizar variables ambientales para modelar las distribuciones potenciales de las 33 especies de abejas sin | Contar con una base de datos depurada que pueda ser utilizada para la generación de los modelos.  | Se realizó la revisión y depuración de 7,242 registros, de los cuales fueron elegidos 6.301, correspondientes a 30 especies abejas sin aguijón para ser utilizados en los análisis (Apéndice I, Fig. 1).   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>aguijón de Guatemala, tanto actuales como predichas según los posibles escenarios de cambio climático en la región mesoamericana.</p>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener modelos de distribución potencial de las 33 especies de abejas sin aguijón de Guatemala, tanto en condiciones actuales como en condiciones predichas en posibles escenarios de cambio climático.</li> </ul>  | <p>Se obtuvieron los modelos de distribuciones potenciales de las distintas especies de abejas sin aguijón, según las condiciones ambientales actuales (presente), y las proyectadas para los escenarios de gases de RCP 4.5, 6.5 y 8.5, para los años 2050 y 2070, en Mesoamérica (Apéndice II).</p>  |
| <p>Identificar las variables con mayor utilidad para predecir el efecto del cambio climático en la distribución de las abejas sin aguijón de Mesoamérica</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se obtendrá un “mejor modelo” en función de su poder predictivo, para cada especie.</li> <li>• Este modelo incluirá las variables con mayor utilidad en la predicción del efecto del cambio climático en la distribución potencial de las especies evaluadas.</li> </ul> | <p>Para cada modelo, se obtuvieron las variables que más contribuyeron (Apéndice II, Tabla 6). También se presenta una gráfica de Jackknife para cada especie, indicando la pérdida de “ganancia” cuando esta variable no está presente. La validez del modelo está dada por el valor de AUC, indicado para cada caso (Apéndice II, figuras 3 a 30).</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>Comparar las distribuciones potenciales actuales de las especies de abejas sin aguijón de Guatemala con sus distribuciones potenciales, ante los posibles escenarios de cambio climático.</p> | <p>•Se obtendrán medidas que permitan comparar cuantitativamente las distribuciones potenciales según los posibles escenarios del cambio climático, con las distribuciones potenciales actuales.</p> | <p>Se obtuvo las áreas en kilómetros cuadrados correspondientes a las áreas con condiciones adecuadas para cada especie, en cada escenario. Utilizando herramientas de análisis espacial, se calculó los porcentajes de pérdida o de ganancia de área potencial, para cada modelo.</p> |
|  | <p>• Se obtendrán resultados y recomendaciones que puedan ser útiles en la elaboración e implementación de estrategias para la conservación de la biodiversidad en Guatemala.</p>                    |  |

## 9. Impacto esperado

El tema de esta investigación ha sido poco estudiado, por lo que se espera que los resultados de este trabajo sean publicables en revistas indexadas, dando lugar a la difusión de la investigación científica realizada en la Usac. Se espera que los resultados de este trabajo aporten al conocimiento de la situación actual de un grupo de insectos con gran valor cultural y potencial económico e importancia en la seguridad alimentaria de Guatemala, y la región mesoamericana. Los resultados de este trabajo pueden servir también como base para discusiones a nivel de la comunidad científica, que sirvan para alertar a otros sectores de la sociedad sobre los posibles efectos del cambio climático sobre este grupo de organismos, y la biodiversidad nacional en general.

Se espera que este estudio sea pionero y sirva de base para la aplicación de este análisis en otros grupos relacionados o con características ecológicas semejantes. El material divulgativo realizado, servirá para crear conciencia y sentido de pertenencia de las abejas sin aguijón, y las abejas nativas en general, dentro de la población. Asimismo, las recomendaciones generadas a partir de los resultados podrán ser utilizadas como fundamento teórico y herramientas para la toma de decisiones respecto a la conservación de la biodiversidad nacional y de las medidas para enfrentar las posibles consecuencias del cambio climático en nuestra región.

## **10. Análisis y discusión de resultados**

### **10.1. Revisión taxonómica de especímenes**

En cuanto a la revisión taxonómica de los especímenes de abejas sin aguijón que forman parte de la Cang, se corroboró la presencia de varias características que son utilizadas en la clave de Ayala (2009), y las cuales pueden ser utilizadas para separar e identificar los géneros presentes en Guatemala. Para esto se elaboró como parte del proyecto una clave taxonómica simplificada para los géneros de Guatemala (Apéndice IV). Aunque esta clave está basada en buena parte en la publicada por Ayala (2009), muestra varias diferencias importantes. En este trabajo se incluyen únicamente caracteres que son necesarios para diferenciar a las especies nacionales, con lo cual se logró una clave notablemente simplificada. Por otra parte, la nomenclatura de los géneros se presenta según Camargo (2008). Con esta actualización, los géneros para Guatemala aumenta el número de géneros de 11, según Ayala (2009) a 17, de acuerdo con lo publicado por Yurrita y Vásquez (2013). Como apoyo, se presentan fotografías de las características utilizadas a lo largo de la clave. En el manuscrito generado como producto de esta investigación, se discute la relevancia de cada característica (Apéndice IV, Figura 1).

Se logró revisar 7,247 registros que corresponden a colectas georreferenciadas de abejas sin aguijón de Guatemala. Algunas especies presentaron datos abundantes, como en el caso de *T. fulviventris* (19% de los datos). Otras especies con datos abundantes fueron *Partamona bilineata* (16%), *Melipona beecheii* (13%), y *Tetragonisca angustula* (9%). Estas últimas dos especies se encuentran entre las que son usadas comúnmente para la meliponicultura (Enríquez et al., 2012).

En contraste, algunas especies están representadas por el 1% de los datos, o menos. Entre ellas se encuentran las especies del género *Plebeia*, mismas que también tienen potencial para la meliponicultura, pero han sido relativamente poco estudiadas (Ayala, 2016) (Apéndice I, Figura 1). De estos registros, 6,301 cumplieron con los criterios para ser utilizados en los modelos de distribución potencial.

## **10.2. Modelos de distribución potencial presente y según los escenarios del cambio climático**

Ya que los modelos presentados en este trabajo fueron elaborados a partir de variables bioclimáticas, la distribución potencial de las especies está dada por las probabilidades de que en un área determinada existan las condiciones climáticas necesarias para que la especie en cuestión pueda habitarla (Pearson, 2008). Se logró obtener modelos con valores a AUC mayores a .8 para 29 de las 33 especies reportadas para Guatemala. Para las especies restantes no se logró obtener suficientes localidades georreferenciadas con información confiable.

Los mapas que representan los resultados modelados para cada especie se muestran en las figuras 3 a la 30, junto a la gráfica del análisis de Jackknife que indican la “ganancia” aportada por cada variable. Todos los modelados presentaron valores a AUC mayores a .8, correspondiente al “ajuste” del modelo. Sin embargo, ya que el valor de AUC tiende a aumentar para especies con distribuciones restringidas, esta interpretación del desempeño del modelo debe tratarse con reserva (Philips, 2017).

Los modelados obtenidos predicen la pérdida de áreas potenciales para algunas especies, mientras para otras el área total aumenta. El modelado que corresponde a *Melipona yucatanica* muestra un aumento observable de área potencial, lo cual es contrario a lo predicho para *M. beecheii* y *M. solani*. Esto puede deberse en parte a que se contó con 9 localidades solamente (Tabla 7), por lo que se contó con poca información de distribuciones conocidas. Sin embargo, estudios genéticos y geográficos realizados a poblaciones de *M. yucatanica* de México y Guatemala sugieren que dentro de esta especie están incluidas dos unidades taxonómicas distintas (May-Itzá, Quezada-Euán, Medina Medina, Enríquez & De la Rúa, 2010). La existencia de un complejo podría dar

lugar a diferencias en requerimientos de hábitat de la especie, lo que explicaría una posible sobreestimación en la ampliación de su distribución potencial.

### **10.3. Variables útiles en la predicción de las distribuciones potenciales**

En los modelos realizados para las condiciones actuales, la variable Bio-7 (rango de temperatura anual) fue frecuentemente la más significativa (14 de las 29 especies). Esto indica que la temperatura anual puede ser un factor determinante en la distribución de las especies de abejas sin aguijón. En algunos casos, como *Dolichotrigona schulthessi*, *Melipona solani*, *Oxytrigona mediorufa*, *Paratrigona guatemalensis* y *Plebeia jatiformis*, las variables relacionadas a la precipitación (Bio-16 y 17) fueron más importantes. Para todas las especies, las variables que más contribuyen a los modelos son las mismas en todos los escenarios, con la excepción de los modelos de los escenarios RCP 6.0 del 2070 y RCP 8.5 del 2050 para *M. solani*, donde la variable que más contribuye es Bio-7.

### **10.4. Aumento y pérdida en áreas de distribución potencial en los distintos escenarios de cambio climático**

Los cambios en las áreas se calcularon como porcentajes de pérdidas o de ganancias, utilizando los valores (en kilómetros cuadrados) de las áreas. Se tomaron en cuenta las áreas donde la probabilidad de que se presenten las condiciones ambientales propicias para la especie, sean iguales o mayores al umbral logístico del percentil 10 calculado por Maxent. De esta forma, se evita incluir áreas donde la predicción podría deberse al azar (Philips, 2017). Los porcentajes de pérdidas y ganancias se presentan por escenario de cambio climático (Figuras 32, 33 y 34), y por especie (Tabla 7).

En el escenario RCP (*Representative Concentration Pathways*) 4.5 (moderado) se predice una reducción del área de distribución potencial de 15 de las 29 especies modeladas, mientras que algunas como *M. yucatánica*, *Plebeia frontalis* y *Trigona fuscipennis* mostraron un aumento considerable en sus áreas predichas para este escenario. Cabe mencionar que estas especies no han sido reportadas en altitudes mayores a 1,500 msnm (Yurrita & Vásquez, 2013), por lo que probablemente sean favorecidas por temperaturas cálidas.

En el escenario RCP 6.0 las tendencias son similares a las del escenario RCP 4.5. Sin embargo, aunque se observa que la distribución de algunas especies podría aumentar en el año 2050, en el escenario del 2070 podría disminuir nuevamente hasta tener un área menor que la del presente. Esto sugiere que aunque las especies podrían estar favorecidas por temperaturas cálidas, el aumento excesivo podría limitar la capacidad de las especies de ocupar áreas que antes eran propicias.

El escenario RCP 8.5 es el más drástico en cuanto a concentraciones de gases en la atmósfera, que provocarían el aumento de temperatura por efecto de invernadero (Meinshausen et al., 2011). En este escenario, 19 de las 29 especies modeladas podrían perder algún porcentaje de sus áreas habitables para el año 2070. En la figura 34 se representa con líneas azules las especies cuyos rangos de distribución altitudinal alcanzan alturas de más de 1,500 msnm, por lo que aunque no son exclusivas de climas templados, podrían ser afectadas negativamente por un aumento drástico de temperatura.

Para 11 de las especies en cuyos modelos la variable de rango de temperatura anual (Bio-7) fue más importante, se predice una disminución drástica de su área de distribución potencial en el escenario RCP 8.5 (Figura 34). En el caso de *M. becheii*, *M. solani* y *Trigonisca pipioli*, las predicciones muestran que, en este escenario, para el año 2070 podrían perder más del 90% de su distribución potencial (Tabla 7).

En términos generales, las especies cuyos modelos fueron realizados a partir de más registros, mostraron tendencias constantes. Este es el caso de *Trigona fulviventris* y *Partamona bilineata*, para las cuales se pudo utilizar más de 100 localidades de colecta en los modelados. Para ambas especies se predicen pérdidas en sus áreas de distribución potencial en todos los escenarios ensayados (Tabla 7). Esto sugiere que al contarse con un mayor número de registros, los resultados podrían dar predicciones más sólidas y que presenten mayor constancia en las tendencias de los resultados. Asimismo, las especies menos frecuentes podrían ser más vulnerables a los cambios climáticos cuando están adaptadas a climas determinados (p. ej. Williams, 2004). Todo esto sugiere que las predicciones para las especies con pocos datos se deben interpretar con precaución, tomando en cuenta posibles sobreestimaciones.

Por otra parte, se debe considerar que estos modelos solamente están tomando en cuenta variables climáticas, y no consideran otras condiciones. Por ejemplo, el tipo y grado de conservación de la cobertura vegetal podría ser importante para el establecimiento de colonias de abejas sin aguijón. Finalmente, es conveniente recordar que la ampliación de las distribuciones potenciales no necesariamente debe interpretarse como un resultado positivo en términos ecológicos. Los cambios en condiciones climáticas pueden propiciar comportamientos invasivos, competencia, propagación de enfermedades, y otras consecuencias negativas sobre las comunidades locales de las áreas propensas a ser colonizadas.

## **11. Conclusiones**

- A partir de las revisiones taxonómicas de los especímenes de abejas sin aguijón de la Cang, se corroboró la identidad taxonómica de los mismos y se elaboró una clave para los 17 géneros presentes en Guatemala.
- Se obtuvo una base de datos depurada con 6,301 registros revisados de colectas de abejas sin aguijón de Guatemala.
- Se generaron modelos de distribuciones potenciales para las condiciones climáticas actuales y para los escenarios de gases RCP 4.5, 6.0 y 8.5. La variable que fue más significativa en la mayoría de los modelos fue Bio-7, que corresponde al rango de temperatura anual.
- Para aproximadamente la mitad de las especies de abejas sin aguijón se predice una reducción de su distribución potencial en los escenarios RCP moderados (4.5 y 6.0), mientras que en el escenario drástico (RCP 8.5) esto ocurre para al menos dos terceras partes de las especies. Para algunas de las especies, la pérdida se calcula en más del 90% del área potencial.

## 12. Referencias

- Ayala, R. (2016). Las abejas del género *Plebeia* Schwarz (Apidae: Meliponini) de México. *Entomología mexicana*, 3, 937-942.
- Ayala, R. (1999). Revisión de las Abejas sin Aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomológica Mexicana*, 106, 1-123.
- Ayala, R., Griswold, T., & Bullock, S. (1998) Las abejas nativas de México. Orígenes y Distribución. En T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa. (Eds.), *Diversidad biológica de México* (pp. 179-225). México: Instituto de Biología, UNAM.
- Davis, C., Willis, C., Primack, R., & Miller, A. (2010). The importance of phylogeny to the study of phenological response to global climate change. *Philosophical Transactions of The Royal Society* 365, 3201-3213.
- Dirzo, R., Young, H., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, J., & Collen B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345 (6195), 401-406.
- Enríquez, E., Monroy, C., & Solis, A. (2001). Situación actual de la meliponicultura de Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa, Guatemala. Trabajo presentado en II Seminario mexicano sobre abejas sin aguijón. Realizado por Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Depto. de Apicultura, en Mérida, Yucatán, México, 120 pp.
- Enríquez, E., Yurrita, C., Aldana, C., Ocheíta, J., Jáuregui, R., & Chau, P. (2004). Desarrollo de la crianza de abejas sin aguijón –Meliponicultura- para el aprovechamiento y comercialización de sus productos, como una alternativa económica sustentable en el

área de El Trifinio, Chiquimula. Informe Final Proyecto SENACYT No. 037-2002. Guatemala.

Enríquez, E., Yurrita, C., Aldana, C., Ocheíta, J., Jáuregui, R., & Chau, P. (2005). Conocimiento tradicional acerca de la biología y manejo de las abejas nativas sin aguijón en Chiquimula. *Revista Agricultura*, 69, 27-30.

Enríquez E., Yurrita, C., Ayala, R., Marroquín, A., & Griswold, T. (2012). Diversidad de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) de Guatemala. En E. B. Cano. (Ed.), *Biodiversidad de Guatemala Vol II* (pp. 2-20). Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

Enriquez, E., & Ayala, R. (2014). Impacto de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, luego de 14 años de su conformación. *Ciencia y Conservación*, 5, 38-47.

Fuentes y Guzman, F. A., (ca. 1643-1699 o 1700). *Historia de Guatemala: o Recordación Florida* / Escrita el Siglo X vii por el Capitán D. Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán; que fue Publicado por primeravez con notas e ilustraciones D. Justo Zaragoza. Madrid: L. Navarro, 1882-83.

Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electrónica* , 4(1), 1-9.

Herrera, J., Ploquin, E., Rodríguez, J., & Obeso, J. (2014). Determining habitat suitability for bumblebees in a mountain system: a baseline approach for testing the impact of climate change on the occurrence and abundance of species. *Journal of Biogeography*, 41, 700-712.

- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
- Kerr, J., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L. G., Potts, S. G., Roberts, ...& Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349, 177-180.
- Kirilenko, A., & Hanley, R. (2007). Using multiple methods to predict climate change impacts on bumblebees in North America. *Proceedings of the Third IASTED International Conference on Environmental Modelling and Simulation* (pp. 42-47). USA: Acta Press.
- Kjøhl, M., Nielsen, A., & Stenseth, C. (2011). *Potential effects of climate change on crop pollination*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Recuperado de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Biodiversity-pollination/Climate\\_Pollination\\_17\\_web\\_\\_2\\_.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Biodiversity-pollination/Climate_Pollination_17_web__2_.pdf)
- Lichtenberg, E., & Brosi, B. J. (2012). Expanded Ranges of Two Stingless Bee (Hymenoptera:Apidae) Species: *Aparatrigonai sopterophila* and *Ptilotrigona occidentalis*. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 85(4), 374-377.
- Marroquín, A. (2000). *Sistemática e historia natural de las abejas (Hymenoptera: Apoidea) de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- May-Itzá, W. J., Quezada-Euán, J., Medina Medina, L. A., Enríquez, E. & De la Rúa, P. (2010). Morphometric and genetic differentiation in isolated populations of the

endangered Mesoamerican stingless bee *Melipona yucatanica* (Hymenoptera: Apoidea) suggest the existence of a two species complex. *Conservation Genetics*, 11, 2079-2084.

Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L., Lamarque, J. F., Matsumoto, K., ... van Vuuren, D. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109, 213–241.

Michener, C. (2000). *The bees of the world*. Estados Unidos: Johns Hopkins University press.

Nates-Parra, G. (2001) Las Abejas sin Aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) de Colombia. *Biota Colombiana*. 2(3), 233-248.

Nates-Parra, G. (2006). Familia Apidae. En F., Fernández, & M. J., Sharkey. (Eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2007). Global Climate Report. USA. Recuperado de <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/200713>

Pearson, R. G. (2008). Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. American Museum of Natural History. 50 pp. Recuperado de <http://academic.uprm.edu/~jchinea/UIP-MAPR/refs/modelos/pearson2008.pdf>

Peterson, A. T., & Vieglais, D. A. (2001). Predicting species invasions using ecological niche modeling: New approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience*, 51(5), 363-371.

- Peterson, T. (2003). Predicting the geography of species invasion via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology*, 4(78), 419-433.
- Phillips, S. J. (2017). A Brief Tutorial on Maxent. Recuperado de [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/).
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231–259
- Phillips, S. R., Sánchez, V., & Soberón, J. (1999). Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285,1265-1267.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate Change: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*, Geneva, Switzerland. 151 pp.
- Potts, S., Biesmeijer, J., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 6(25), 345-353.
- Rasmont, P., Franzén, M., Lecocq, T., Harpke, A., Roberts, S. P., Biesmeijer, J. C., & Schweiger, O. (2015). Climatic risk and distribution atlas of European bumblebees. *Biorisk* (special edition) 10, 1- 246.
- Root, T., Price, J. T., Hall, K. R., Schneier, S. H., Rosenweig, C., & Pounds, J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421, 57-60. doi:10.1038/nature01333.
- Roubik, D. (1989). *Ecology and natural history of tropical bees*. Estados Unidos: Cambridge, University press.

- Silveira, F., Melo, G., & Almeida, E. (2002). *Abelhas Brasileiras, Sistemática e Identificação*. Primera Edición. Belo Horizonte, Brasil: Ministerio de Medio Ambiente, PROBIO-PNUD.
- Williams, P. (2004). Does specialization explain rarity and decline among British bumblebees? A response to Goulson et al. *Biological Conservation*, 122 (1), 33-43.
- Williams, P., & Osborne, J. (2009). Bumblebee vulnerability and conservation worldwide. *Apidologie*, 40, 367-387
- Ximénez, F. (1967). *Historia Natural del Reino de Guatemala*. (Escrita originalmente en el año de 1722). Guatemala: Editorial José de Pineda Ibarra
- Yurrita, C., & Vásquez, M. (2013). Taxonomy and distribution of stingless bees in Guatemala. En P., Vit, S., Pedro, & D., Roubik. (Eds.), *Pot-Honey: a legacy of stingless bees* (pp. 100-111). Nueva York, Estados Unidos: Springer, New York. USA.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A., & Ellis, M. (2011). The Anthropocene: a new epoch of geological time? *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 369, 835-841.

### 13. Apéndices

#### Apéndice I

Revisión de registros: se revisó un total de y depuró alrededor de 7,670 registros, de los cuales 6,301 cumplían con los criterios para ser utilizados en los modelos. Los correspondientes a 27 especies.

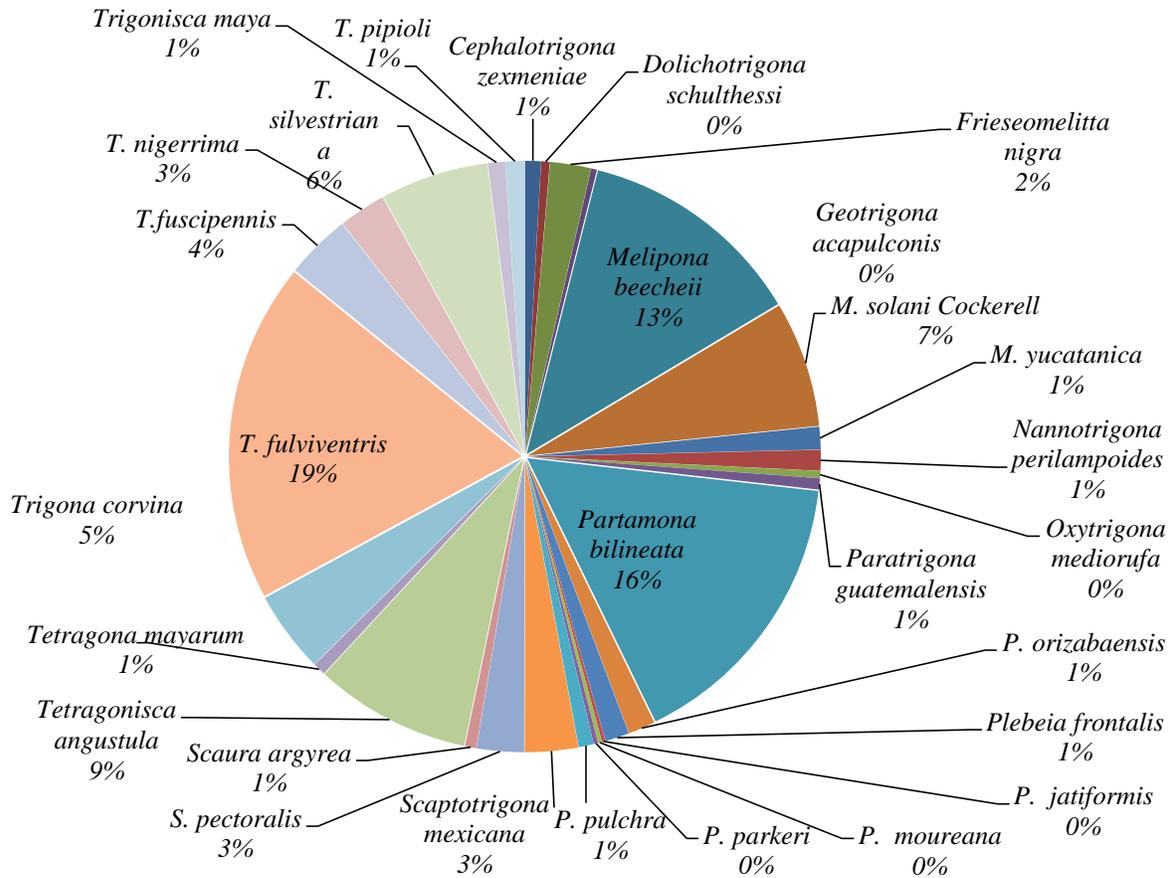


Figura 1. Proporciones de los registros revisados, por especie.



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



Figura2: Fotografías de las distintas especies de abejas sin aguijón de Guatemala: *Cephalotrigona zexmeniae*; 2. *Lestrimelitta niitkib*; 3. *Lestrimelitta niitkib*; 4. *Melipona beechii*; 5. *Melipona beechii*; 6. *Melipona solani*; 7. *Melipona yucatanica*; 8. *Nanotrigona perilampoides*; 9. *Oxytrigona mediorufa*; 10. *Paratrigona guatemalensis*; 11. *Partagona billineata*; 12. *Partamona orizabaensis*; 13. *Partamona orizabaensis*; 14. *Plebeia frontalis*; 15. *Plebeia jatiformis*; 16. *Plebeia latitarsis*; 17. *Plebeia melanica*; 18. *Plebeia moureana*; 19. *Plebeia parkeri*; 20. *Plebeia pulchra*; 21. *Scaptotrigona mexicana*; 22. *Scaptotrigona pectoralis*; 23. *Tetragona mayarum*; 24. *Trigona fuscipennis*; 25. *Trigona (frieseomelitta) nigra*; 26. *Trigona (tetragonista) angustula*; 27. *Trigona fulviventris*; 28. *Trigona nigerrima*; 29. *Trigona corvina*; 30. *Trigona corvina*; 31. *Trigona silvestriana*; 32. *Trigona silvestriana*.

## Apéndice II

Moldelaje de distribuciones potenciales de las distintas especies de abejas sin aguijón, según las condiciones ambientales actuales (presente), y las proyectadas para los escenarios de gases RCP 4.5 (moderado), 6.0 (moderado), y 8.5 (drástico) para los años 2050 y 2070, en Mesoamérica.

Tabla 5

*Variables bioclim (WordClim-Global Climate Data)*

| Variable  |
|---|
| BIO1 = Temperatura media anual  |
| BIO2 = Rango diurno medio (promedio de (temp max-temp min) mensual)   |
| BIO3 = Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)                              |
| BIO4 = Estacionalidad 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 (BIO5-BIO6)                         |
| BIO8 = Temperatura promedio del cuarto más húmedo                     |
| BIO9 = Temperatura promedio del cuarto más seco                       |
| BIO10 = Temperatura promedio del cuarto más cálido                    |
| BIO11 = Temperatura promedio del cuarto más frío                      |
| BIO12 = Precipitación anual   |
| BIO13 = Precipitación del mes más húmedo                              |
| BIO14 = Precipitación del mes más seco                                |
| BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación) |
| BIO16 = Precipitación del cuarto más húmedo                           |
| BIO17 = Precipitación del cuarto más seco                             |
| BIO18 = Precipitación del cuarto más cálido                           |
| BIO19 = Precipitación del cuarto más frío                             |

Tabla 6

Resumen de las variables con mayor porcentaje de contribución por cada modelo, para las condiciones climáticas actuales y para los distintos escenarios de gases de invernadero.

| Especie  | Variable bioclim | Escenario de gases RCP 4.5 |                    | Escenario de gases RCP 6.0 |                    | Escenario de gases RCP 8.5 |                    |
|--|------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
|  |                  | Año 2050                   | Año 2070           | Año 2050                   | Año 2070           | Año 2050                   | Año 2070           |
|  |                  | % Contr. al modelo         | % Contr. al modelo | % Contr. al modelo         | % Contr. al modelo | % Contr. al modelo         | % Contr. al modelo |
| <i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)      | Bio-7            | 76.3                       | 84.6               | 84.4                       | 87.8               | 89.5                       | 85.6               |
| <i>Dolichotrigona schulthessi</i> (Friese, 1900)       | Bio-16           | 96.7                       | 96.9               | 98.3                       | 97.4               | 96.9                       | 97.9               |
| <i>Frieseomelitta nigra</i> (Cresson, 1878)            | Bio-4            | 33.9                       | 32.2               | 35.8                       | 33.2               | 37.5                       | 34.4               |
| <i>Geotrigona acapulconis</i> (Strand, 1919)           | Bio-6            | 55.8                       | 57.2               | 59.2                       | 56.3               | 58.5                       | 59.5               |
| <i>Melipona beecheii</i> Bennett, 1831                 | Bio-7            | 63.8                       | 65.8               | 62.5                       | 62.8               | 64.7                       | 65.1               |
| <i>M. solani</i> Cockerell, 1912                       | Bio-17           | 36.4                       | 36.1               | 38.7                       | 35.7*              | 35.0*                      | 39.1               |
| <i>M. yucatanica</i> Camargo, Moure & Roubik, 1988     | Bio-6            | 72.7                       | 72.5               | 74.8                       | 73.3               | 71.7                       | 73.2               |
| <i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)      | Bio-7            | 68.0                       | 71.5               | 68.1                       | 70.9               | 70.3                       | 68.8               |
| <i>Oxytrigona mediorufa</i> (Cockerell, 1913)          | Bio-16           | 64.6                       | 62.3               | 67.2                       | 65.1               | 71.9                       | 73.3               |
| <i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)       | Bio-16           | 77.4                       | 80.8               | 77.3                       | 79.7               | 80.7                       | 74.9               |
| <i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)                 | Bio-7            | 55.7                       | 55.5               | 54.5                       | 54.6               | 56.2                       | 58.7               |
| <i>P. orizabaensis</i> (Strand, 1919)                  | Bio-16           | 27.3                       | 31.9               | 25.4                       | 30.1               | 26.5                       | 35.0               |
| <i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)                | Bio-7            | 27.3                       | 59.7               | 57.5                       | 52.5               | 57.5                       | 54.7               |
| <i>P. jatiformis</i> (Cockerell, 1912)                 | Bio-17           | 69.8                       | 66.5               | 69.3                       | 71.8               | 73.4                       | 70.1               |
| <i>P. moureana</i> Ayala, 1999                         | Bio-16           | 69                         | 69.4               | 65.3                       | 65.0               | 69.9                       | 70.7               |
| <i>P. parkeri</i> Ayala, 1999                          | Bio-16           | 86.7                       | 89.0               | 82.0                       | 80.5               | 82.0                       | 80.5               |
| <i>P. pulchra</i> Ayala, 1999                          | Bio-16           | 71.6                       | 78.2               | 78.0                       | 72.1               | 72.2                       | 76.3               |
| <i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin-Méneville, 1844) | Bio-7            | 48.4                       | 50.7               | 47.9                       | 47.5               | 46.1                       | 47.9               |
| <i>S. pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)               | Bio-7            | 70.1                       | 72.6               | 70.4                       | 71.3               | 69.2                       | 73.2               |
| <i>Scaura argyrea</i> (Cockerell, 1912)                | Bio-17           | 71.2                       | 71.9               | 71.6                       | 74.3               | 71.7                       | 73.3               |

|  |        |      |      |      |      |      |      |
|--|--------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Tetragonisca angustula</i><br>(Latreille, 1811) | Bio-7  | 74.8 | 75.9 | 75.0 | 77.2 | 76.6 | 76.3 |
| <i>Tetragona mayarum</i><br>(Cockerell, 1912)      | Bio-7  | 45.5 | 49.1 | 51.6 | 50.3 | 49.1 | 46.8 |
| <i>Trigona corvina</i><br>Cockerell, 1913          | Bio-7  | 70.7 | 71.6 | 70.4 | 70.9 | 67.1 | 70.0 |
| <i>T. fulviventris</i> Guérin-<br>Méneville, 1844  | Bio-7  | 73.1 | 72.1 | 71.9 | 71.7 | 73.5 | 73.8 |
| <i>T. fuscipennis</i> Friese,<br>1900              | Bio-7  | 73.7 | 74.1 | 73.0 | 71.9 | 74.6 | 75.8 |
| <i>T. nigerrima</i> Cresson,<br>1878               | Bio-7  | 58.1 | 58.7 | 55.7 | 54.6 | 59.9 | 56.0 |
| <i>T. silvestriana</i> (Vachal,<br>1908)           | Bio-17 | 54.4 | 54.0 | 52.5 | 53.2 | 52.0 | 55.1 |
| <i>Trigonisca maya</i><br>Ayala, 1999              | Bio-4  | 55.0 | 55.3 | 52.3 | 52.8 | 54.0 | 55.2 |
| <i>T. pipioli</i> Ayala, 1999                      | Bio-7  | 39.3 | 40.3 | 41.3 | 42.0 | 39.1 | 38.7 |

---

\*Variable Bio-7

Mapas de los modelos de distribución potencial en Mesoamérica de las distintas especies de abejas sin aguijón de Guatemala. Se logró obtener modelos para 29 de las 33 especies de abejas sin aguijón reportadas para el país, utilizando únicamente registros del territorio nacional. Para cada especie se presenta un modelo de distribución potencial actual (áreas donde las condiciones climáticas son propicias para la especie), y seis modelos correspondientes a los escenarios de gases de invernadero predichos para los años 2050 y 2070, respectivamente: RCP 4.5 (moderado), RCP 6.0 (moderado) y RCP 8.5 (drástico).

Los mapas son una representación gráfica de la probabilidad de que existan las condiciones climáticas adecuadas para las especies. Los colores cálidos (rojos y naranjas) representan probabilidades medias a altas, el amarillo representa probabilidades bajas a medianas, y los colores verde y azul representan las probabilidades bajas. Se presenta también una gráfica la prueba de Jackknife para cada especie, donde se indica la “ganancia” de entrenamiento que corresponde a cada variable bioclimática (bioclim), y muestra la pérdida de dicha “ganancia” en el caso que la variable no forme parte del modelo.

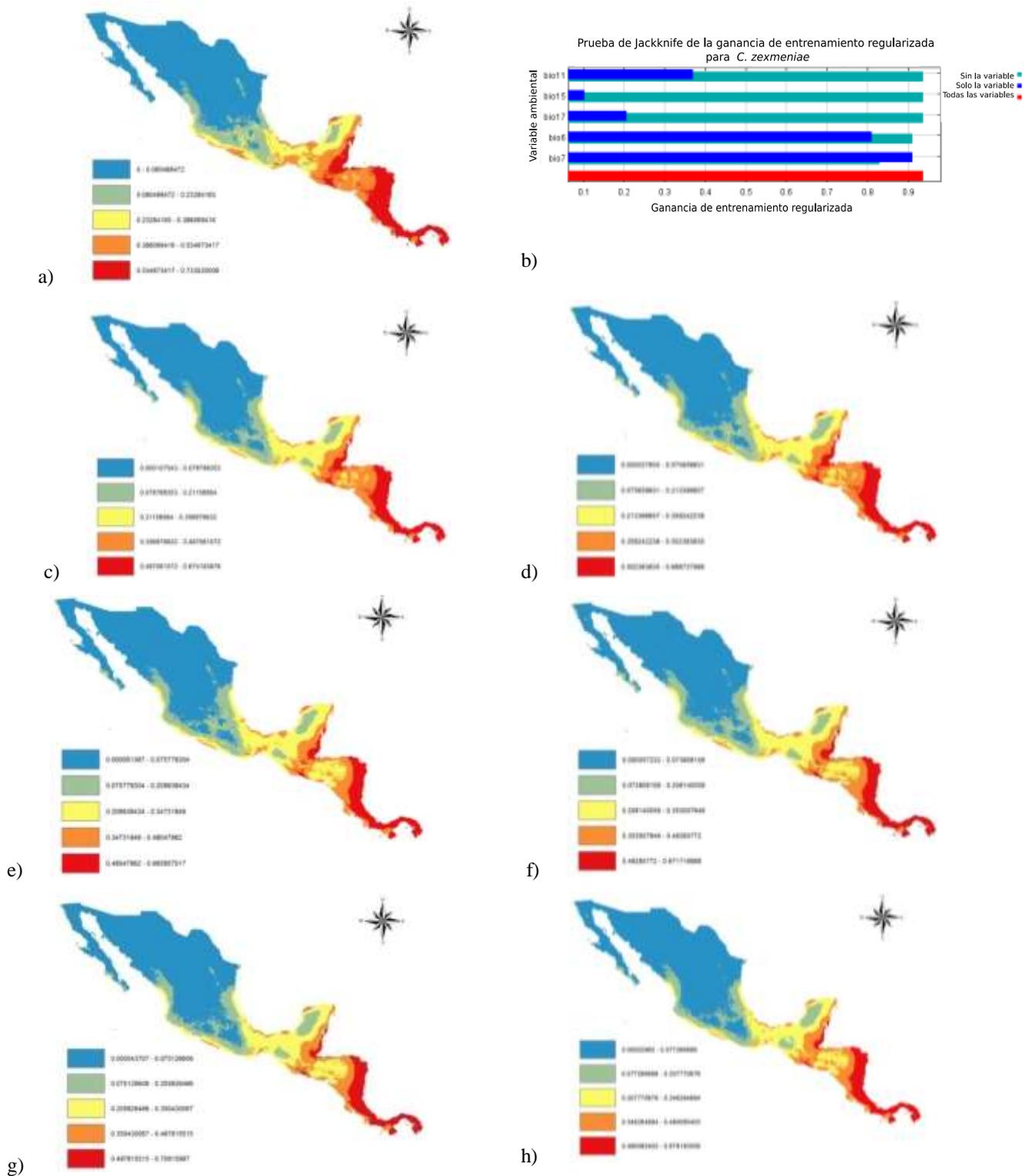


Figura 3. Mapas de distribución potencial de *Cephalotrigona zexmeniae* (Cockerell, 1912) para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .874), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .879), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .876), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .874), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .873), y h) RCP 8.5, año 2070 (AUC .880).

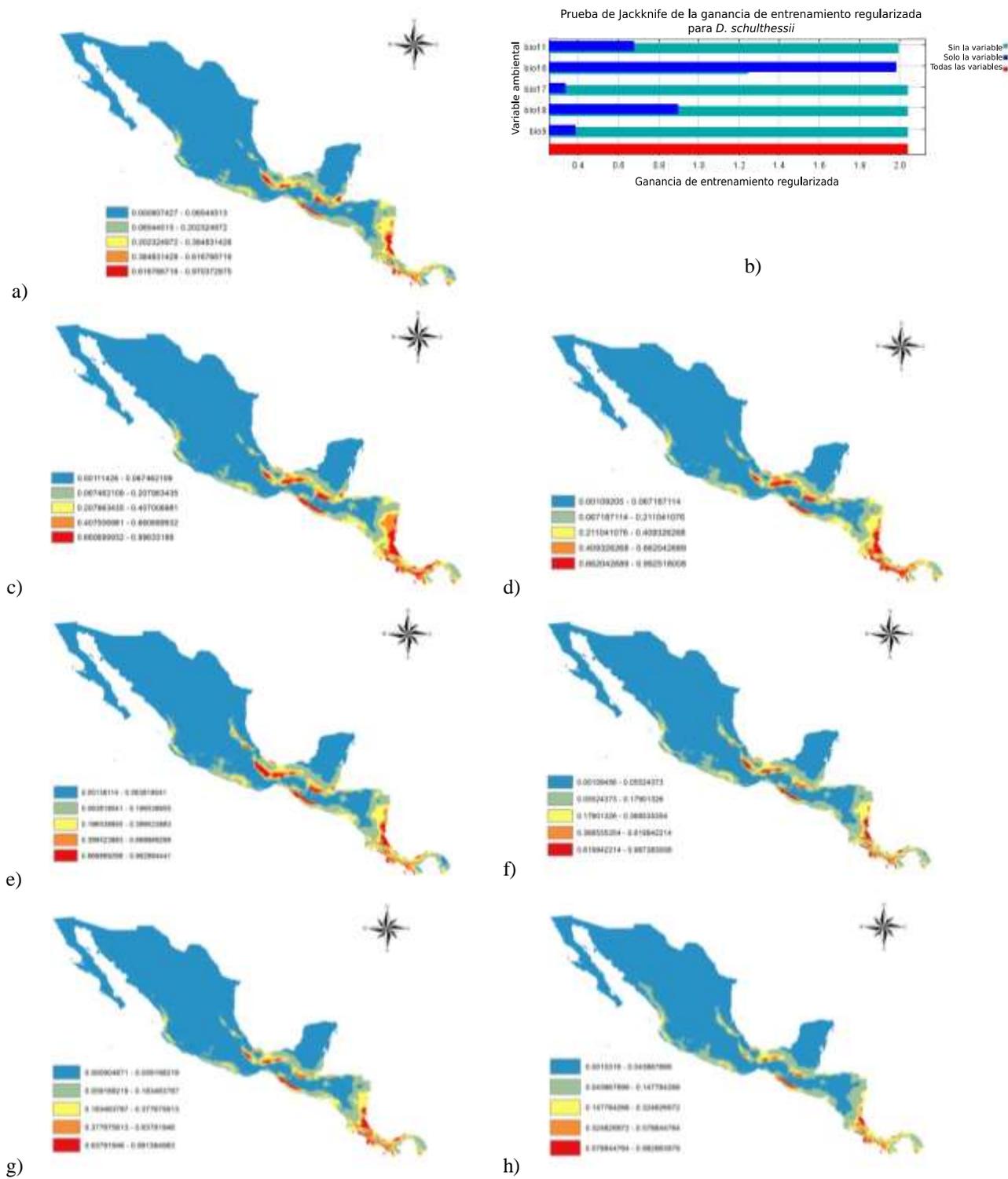


Figura 4. Mapas de distribución potencial de *Dolichotrígona schulthessii* (Friese, 1900) para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .979), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .979), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .981), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .980), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .980), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .980).

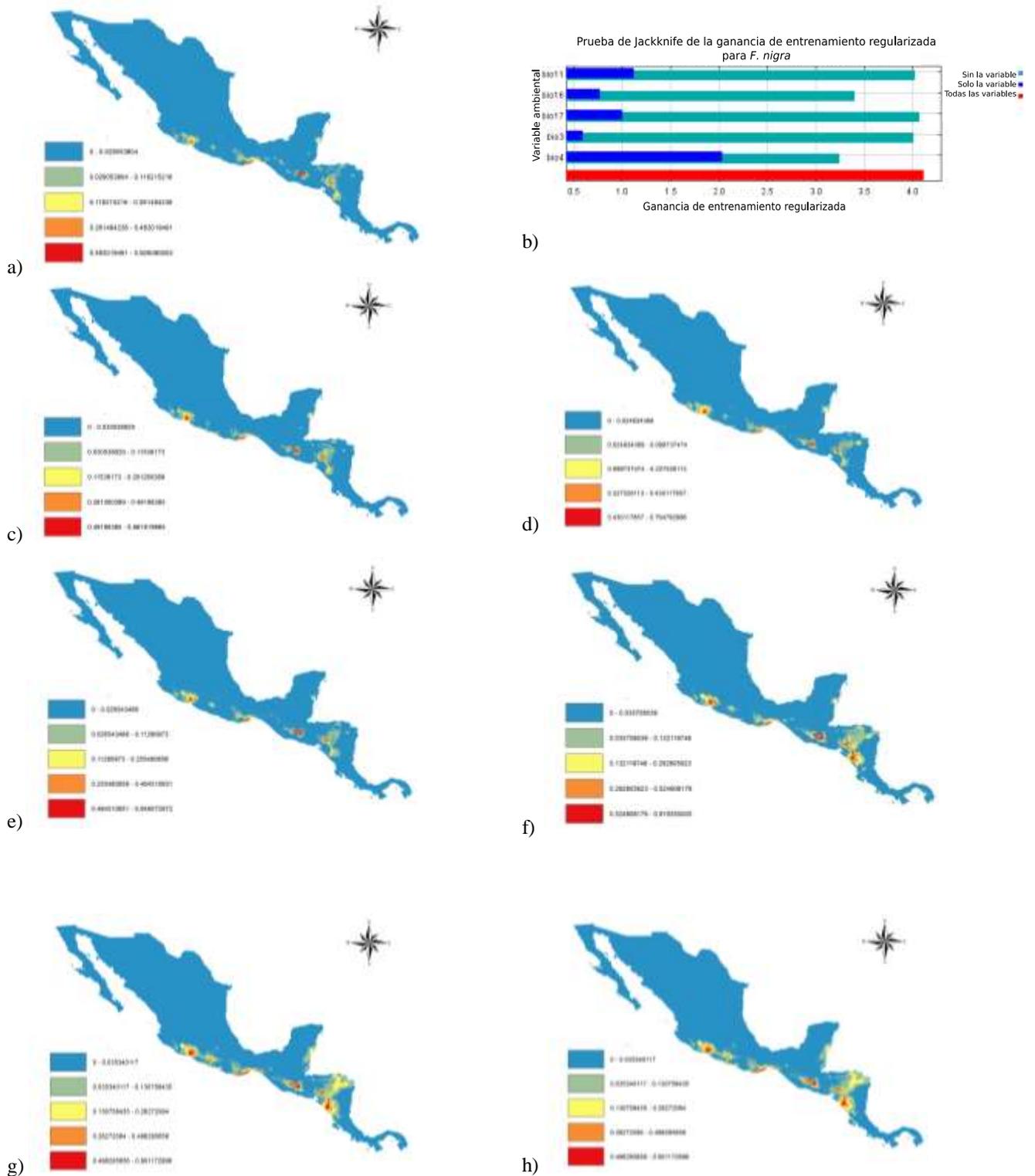


Figura 5. Mapas de distribución potencial de *Frieseomelitta nigra* (Cresson, 1878) para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .992), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .992), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .991), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .992), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .992), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .991).

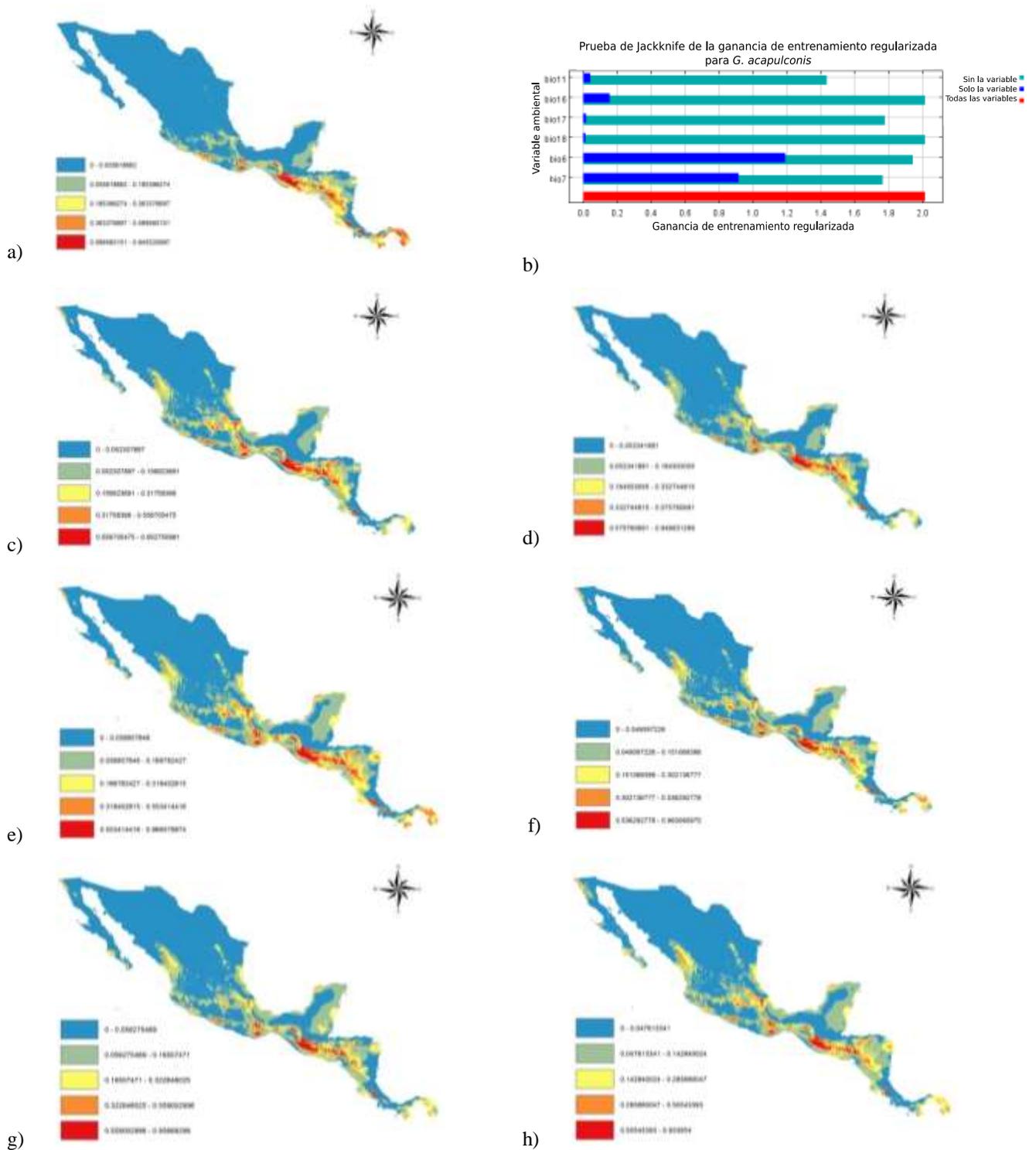


Figura 6. Mapas de distribución potencial de *Geotrizona acapulconis* (Strand, 1919) para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .976), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .975), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .973), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .972), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .976), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .973).

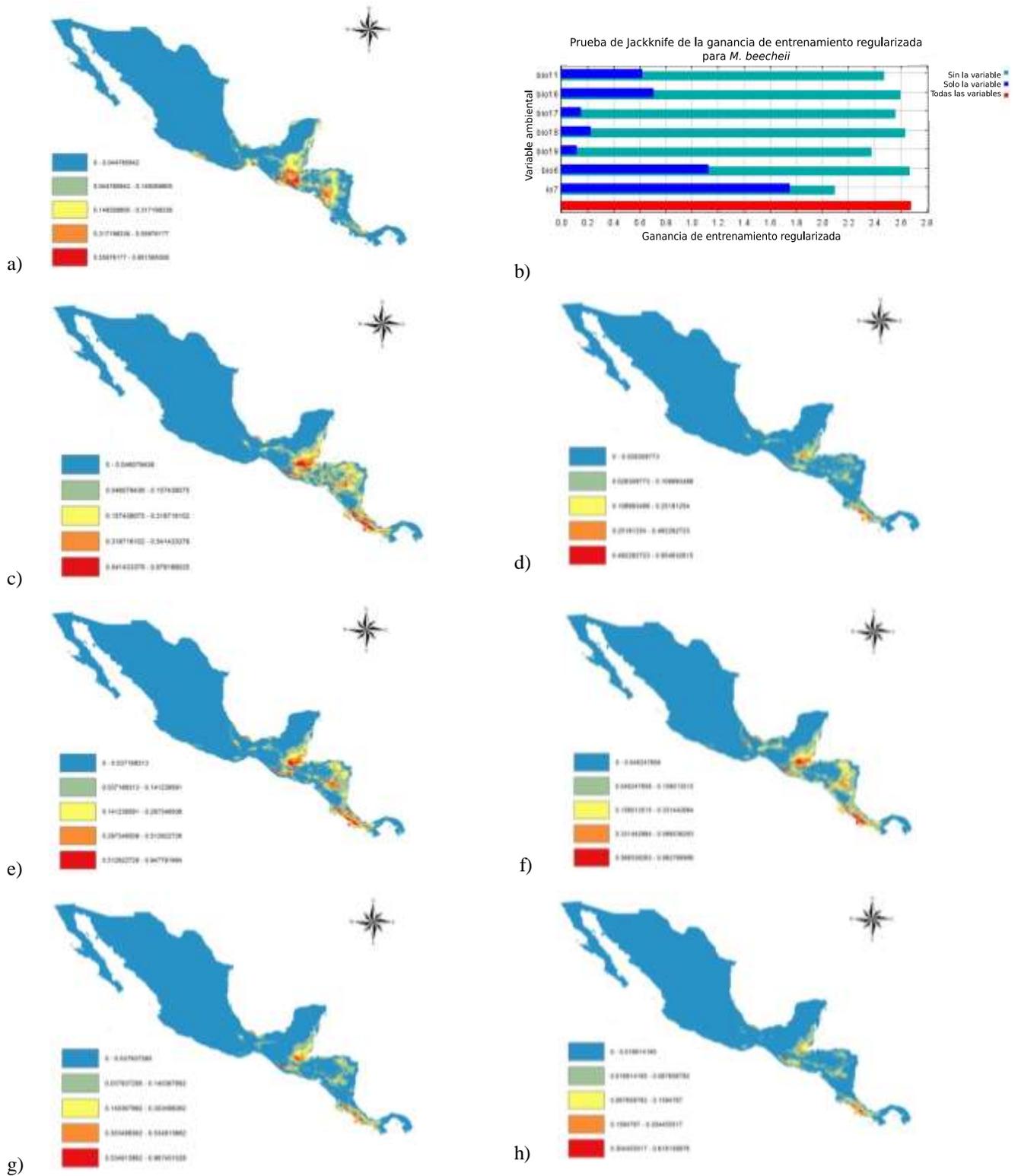


Figura 7. Mapas de distribución potencial de *Melipona beecheii* Bennett, 1831, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .984), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .984), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .984), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .984), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .985), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .986).

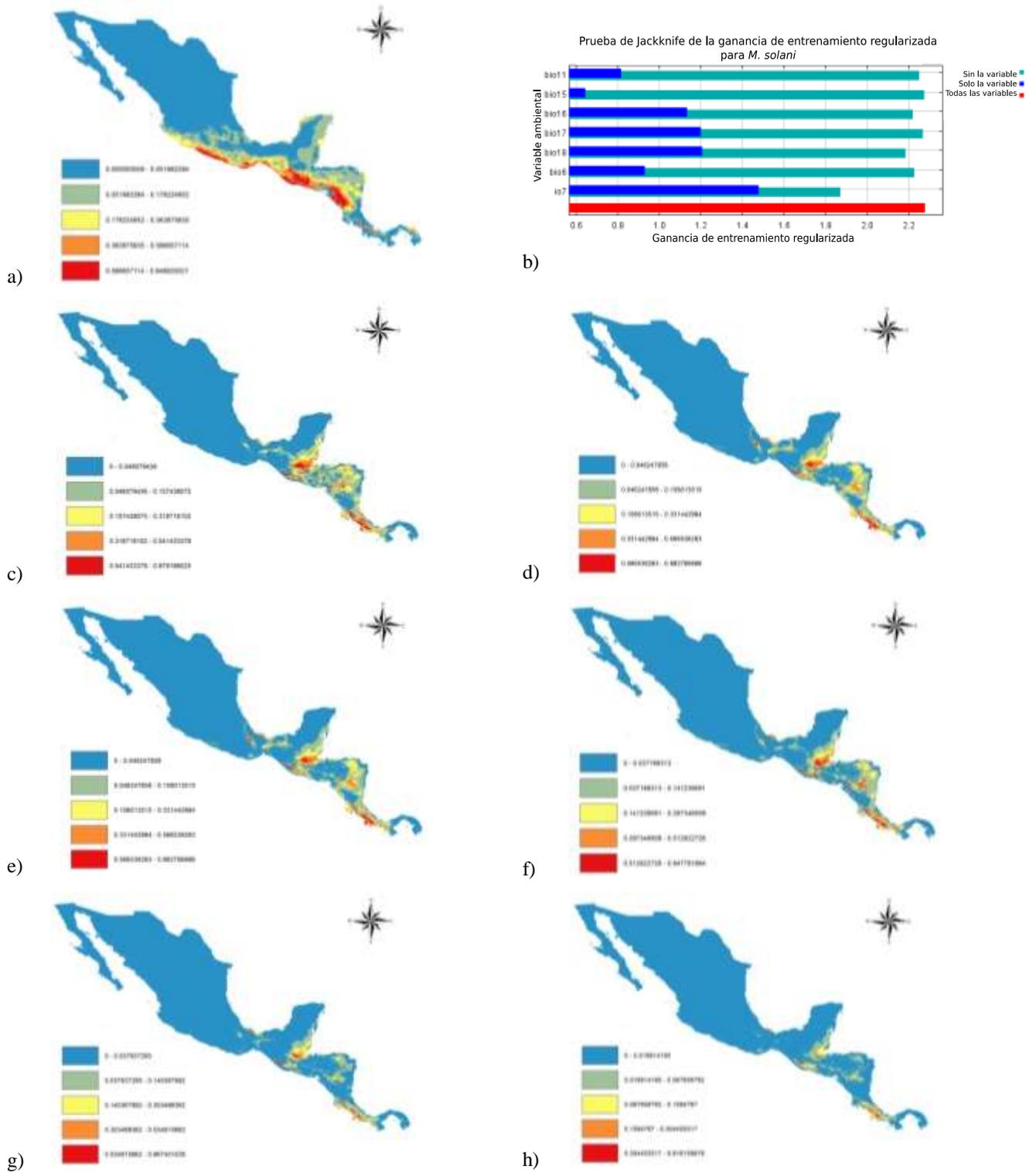


Figura 8. Mapas de distribución potencial de *Melipona solani* Cockerell, 1912, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .975), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .975), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .977), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .974), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .975), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .974).

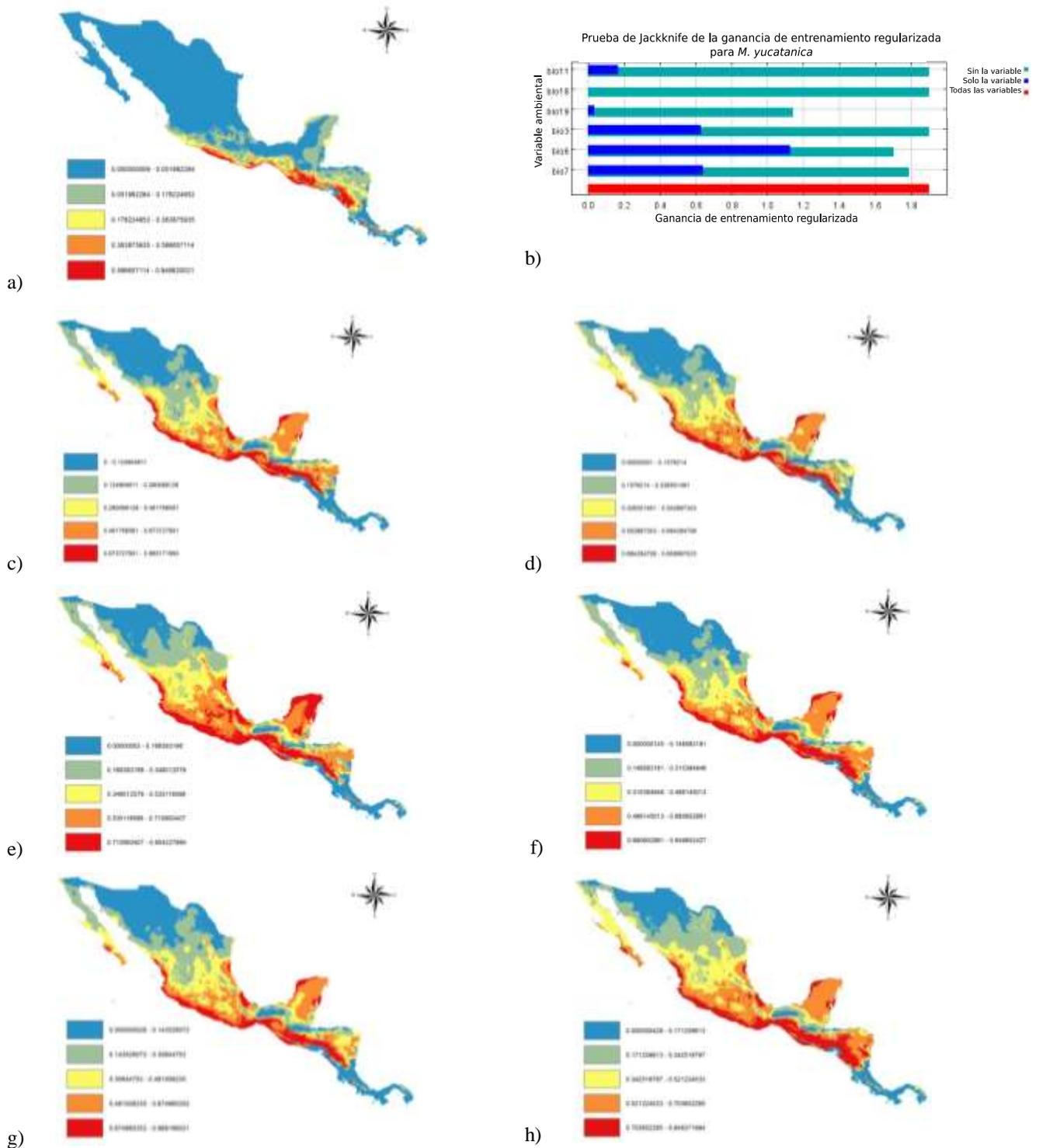


Figura 9. Mapas de distribución potencial de *Melipona yucatanica* Camargo, Moure & Roubik, 1988, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .971), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .971), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .970), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .970), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .971), y h) RCP 8.5, año 2070 (AUC .970).

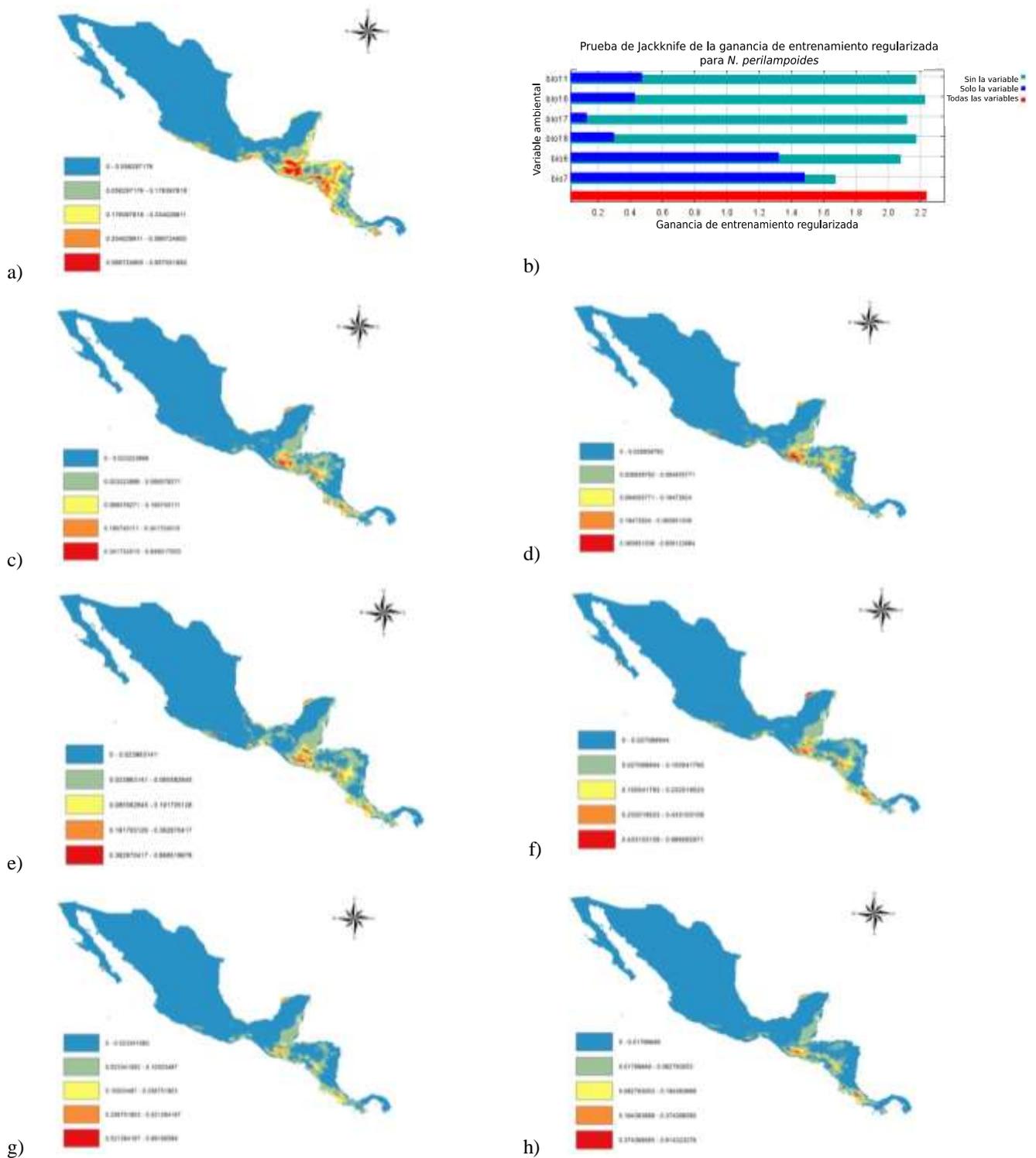


Figura 10. Mapas de distribución potencial de *Nannotrigona perilampoides* (Cresson, 1878), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .975), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .974), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .973), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .974), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .975), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .976).

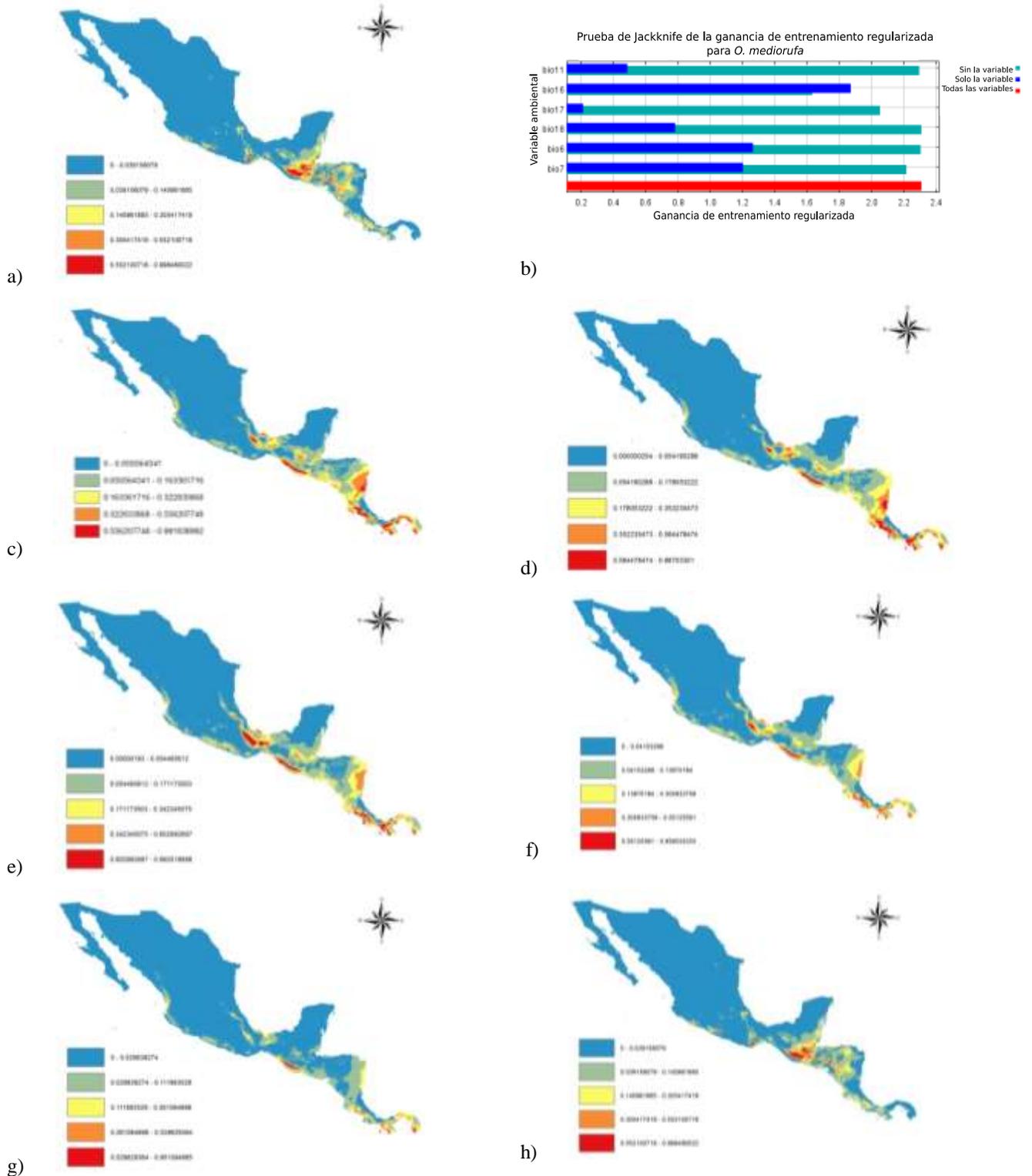


Figura 11. Mapas de distribución potencial de *Oxytrigona mediorufa* (Cockerell, 1913), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .952), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .955), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .955), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .955), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .954), y h) RCP 8.5, año 2070 (AUC .957).

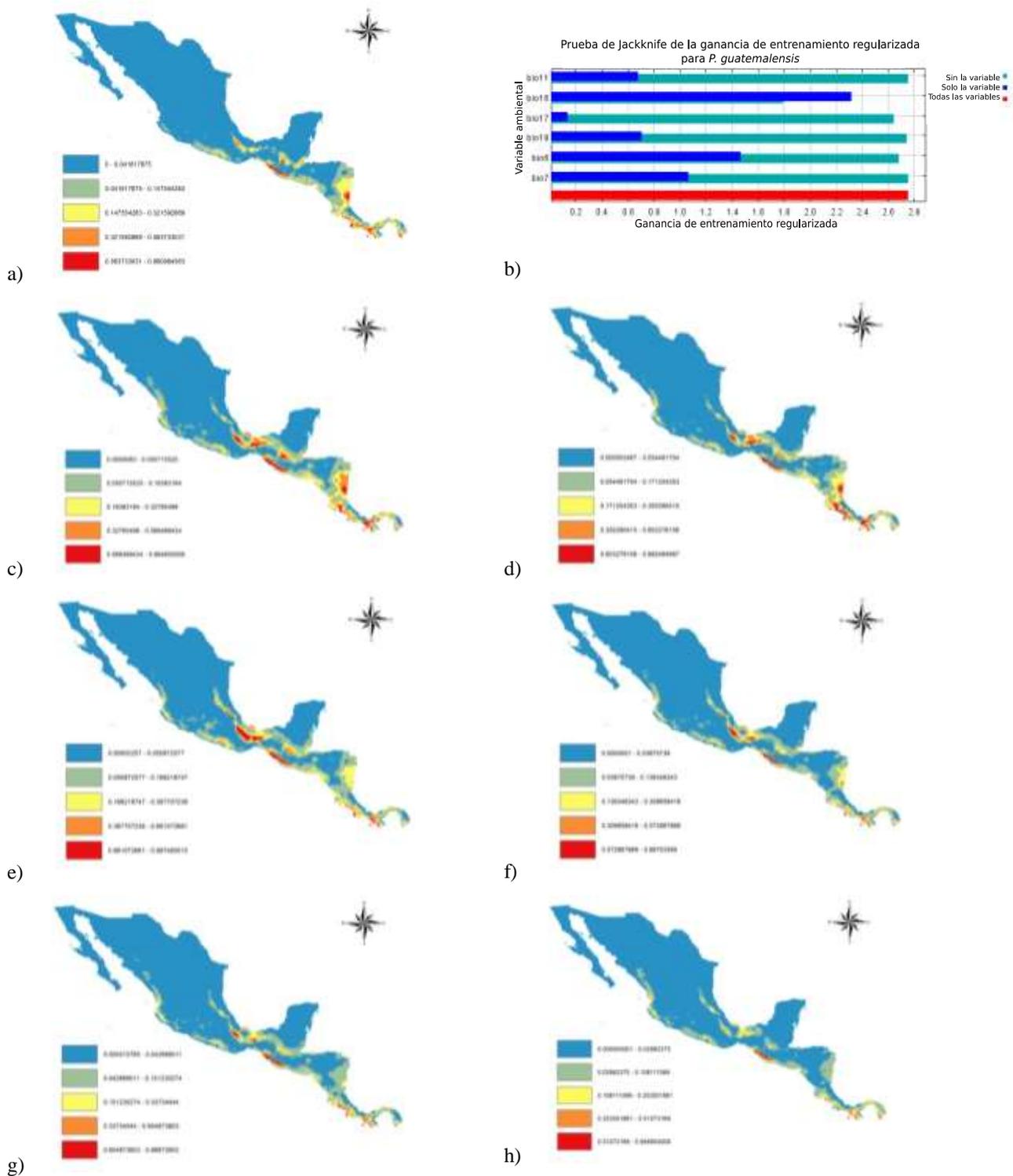


Figura 12. Mapas de distribución potencial de *Paratrígona guatemalensis* (Schwarz, 1938), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .975), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .975), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .974), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .977), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .976), y h) RCP 8.5, año 2070 (AUC .973).

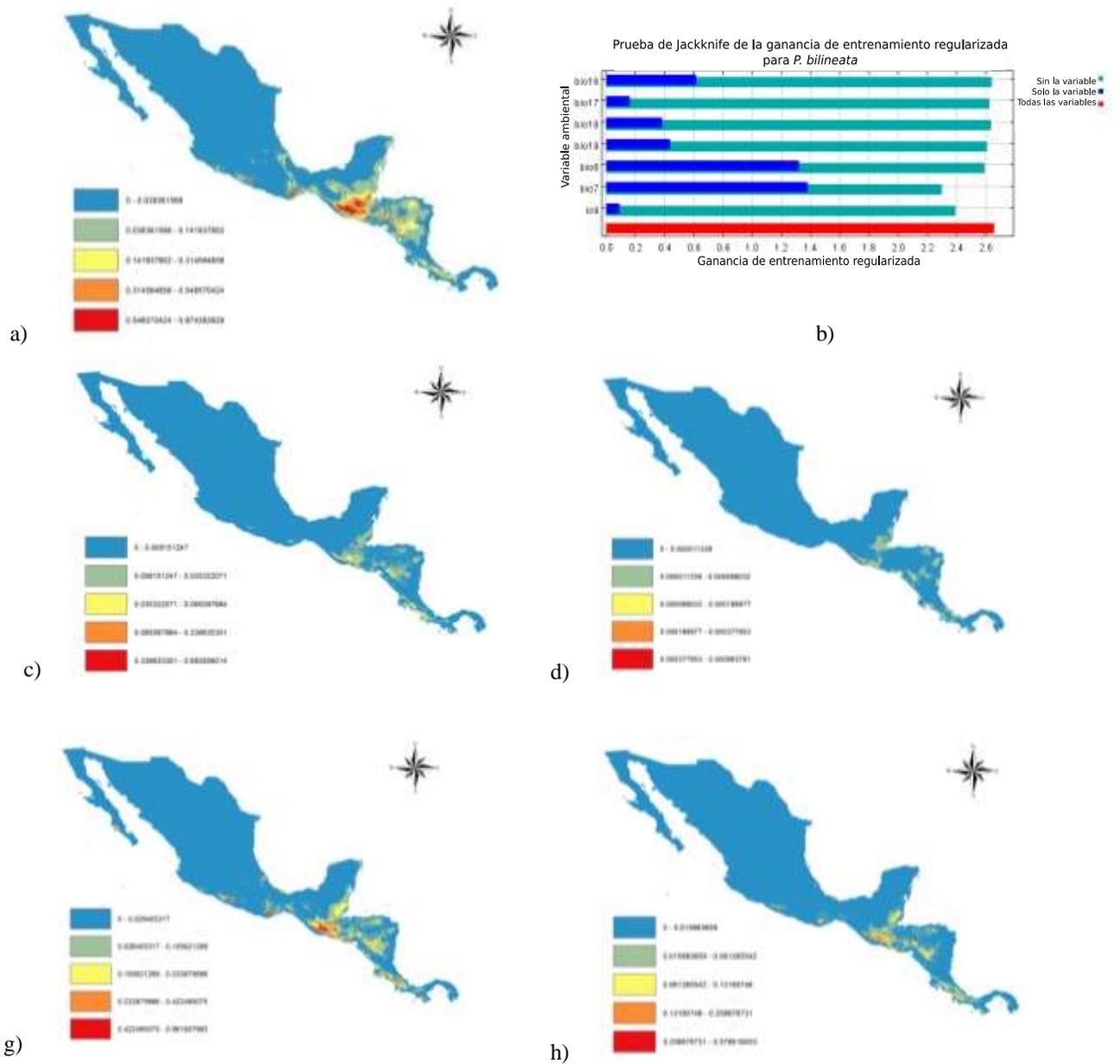


Figura 13. Mapas de distribución potencial de *Partamona bilineata* (Say, 1837), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .984), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .984), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .983), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .984), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .982), y h) RCP 8.5, año 2070 (AUC .983).

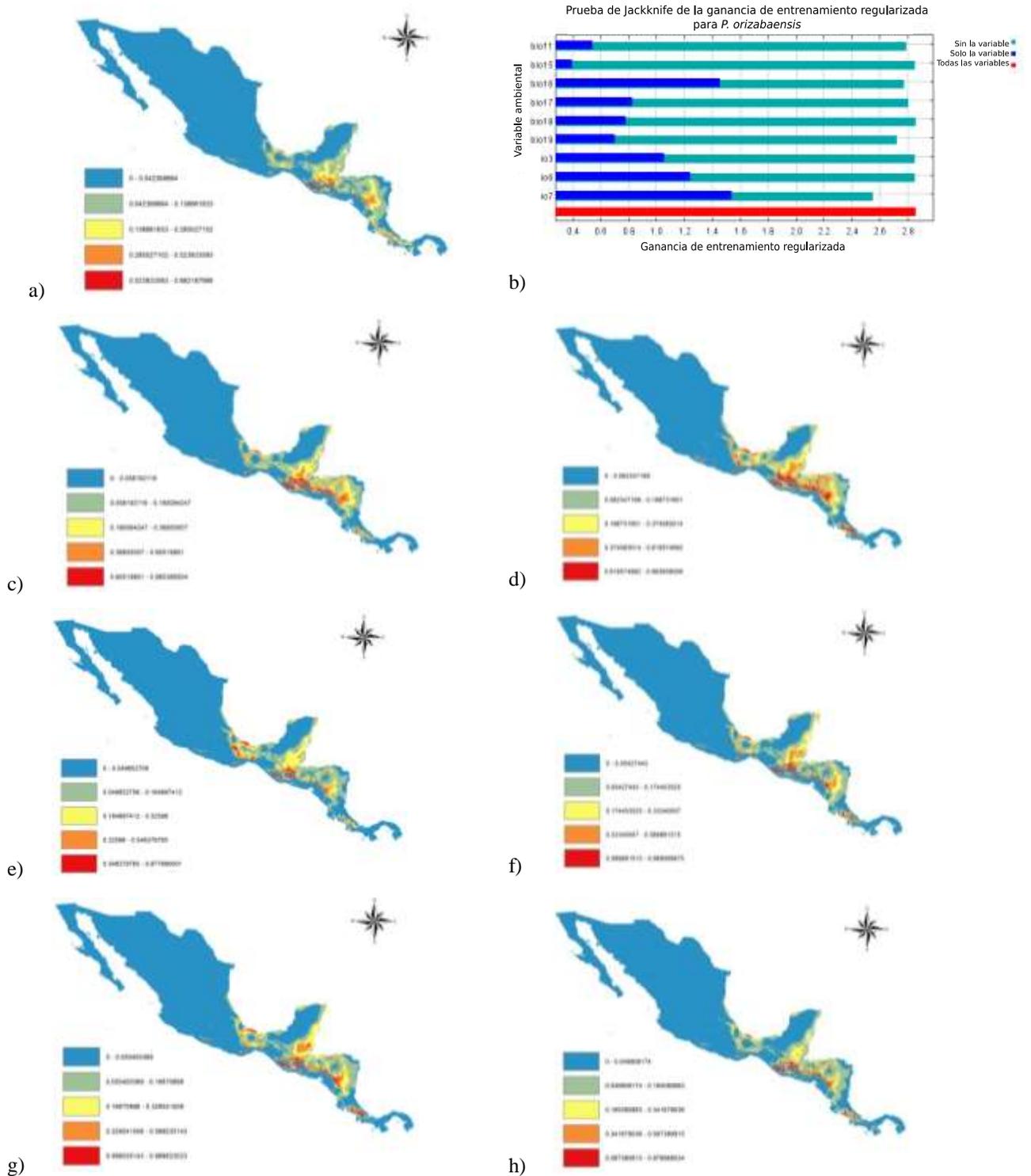


Figura 14. Mapas de distribución potencial de *Partamona orizabaensis* (Strand, 1919), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .981), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .981), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .980), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .980), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .980), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .980).

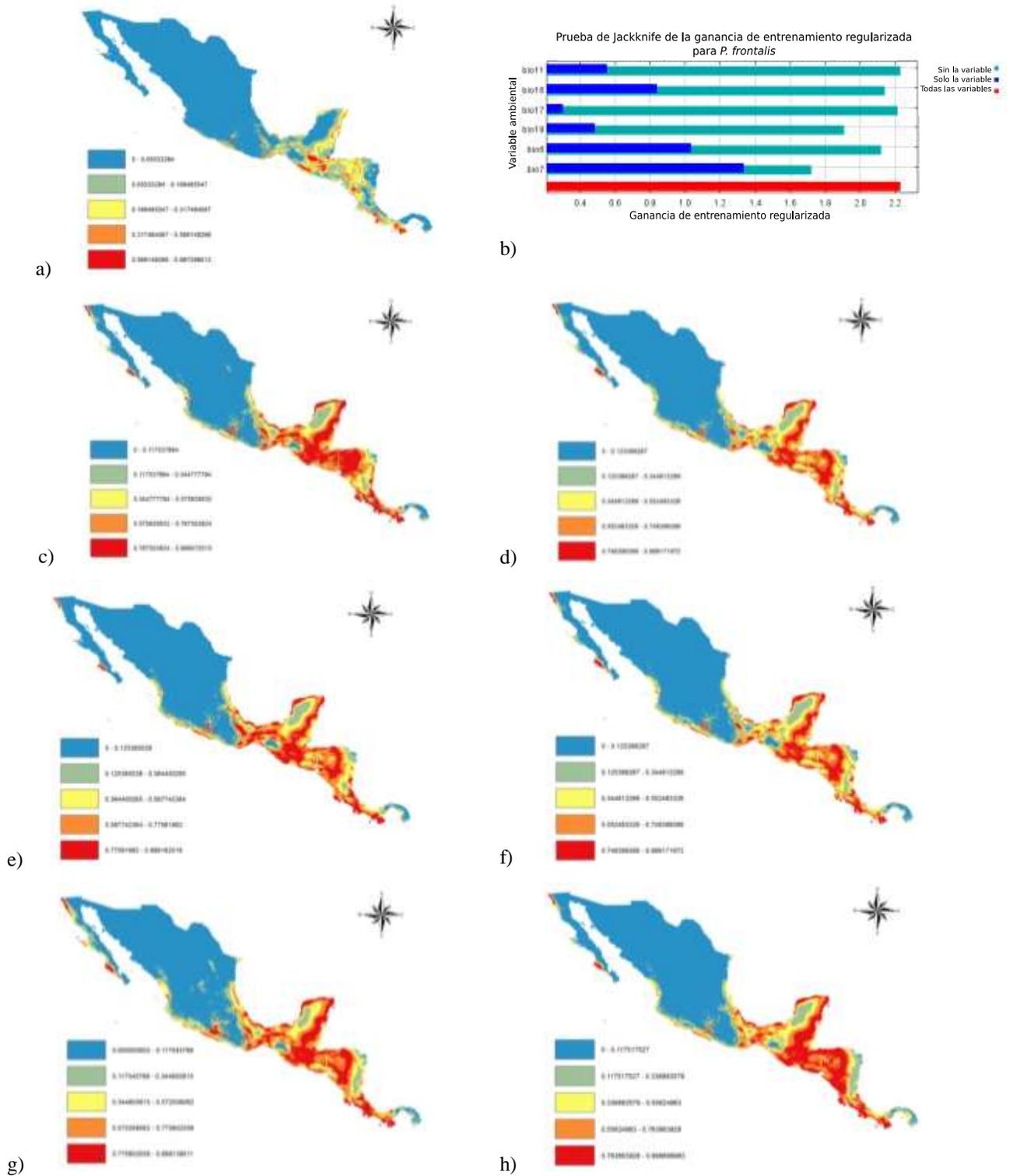


Figura 15. Mapas de distribución potencial de *Plebeia frontalis* (Friese, 1911), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .986), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .981), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .983), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .983), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .984), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .984).

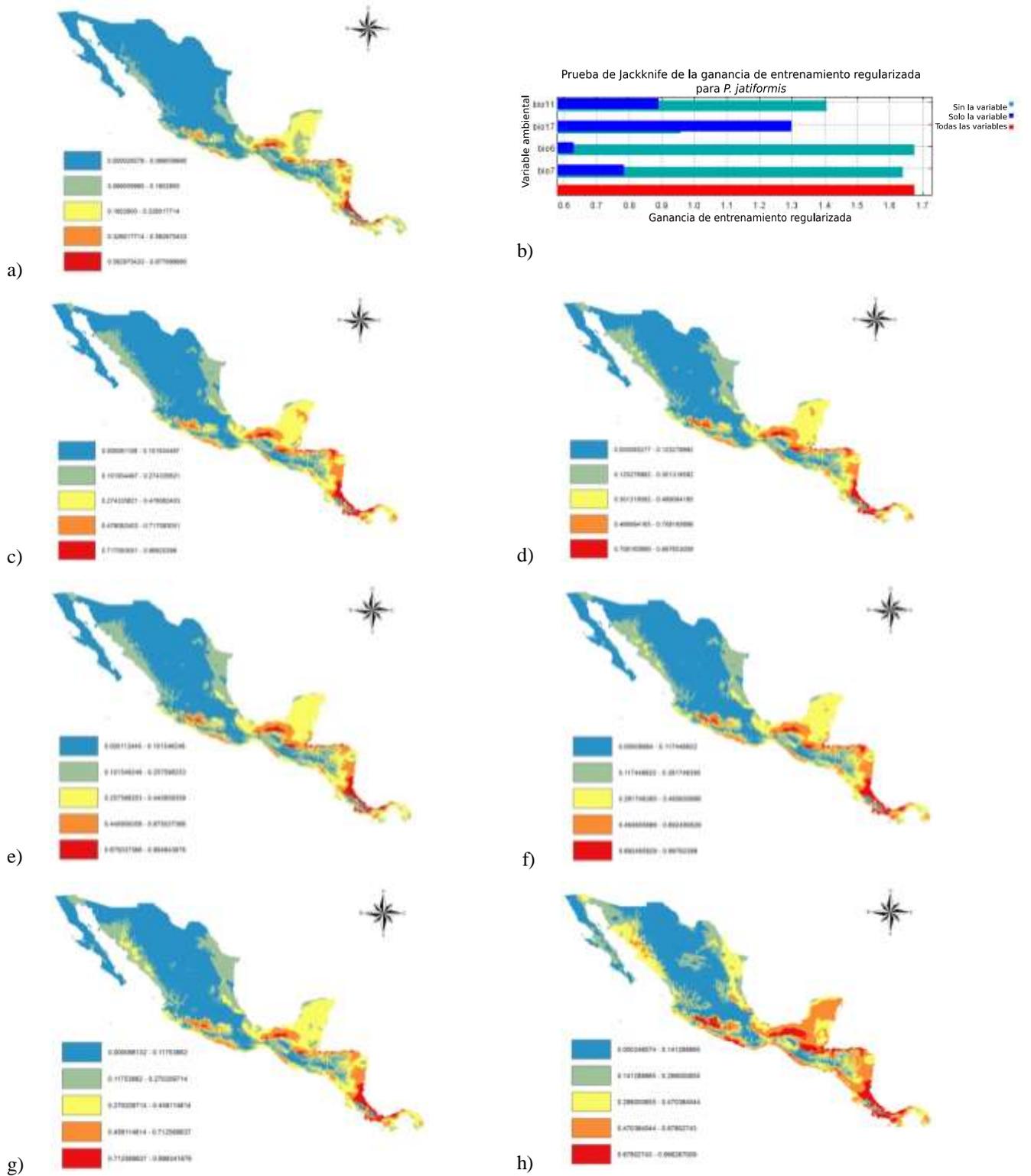


Figura 16. Mapas de distribución potencial de *Plebeia jatiformis* (Cockerell, 1912), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .984), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .985), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .984), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .985), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .986), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .982).

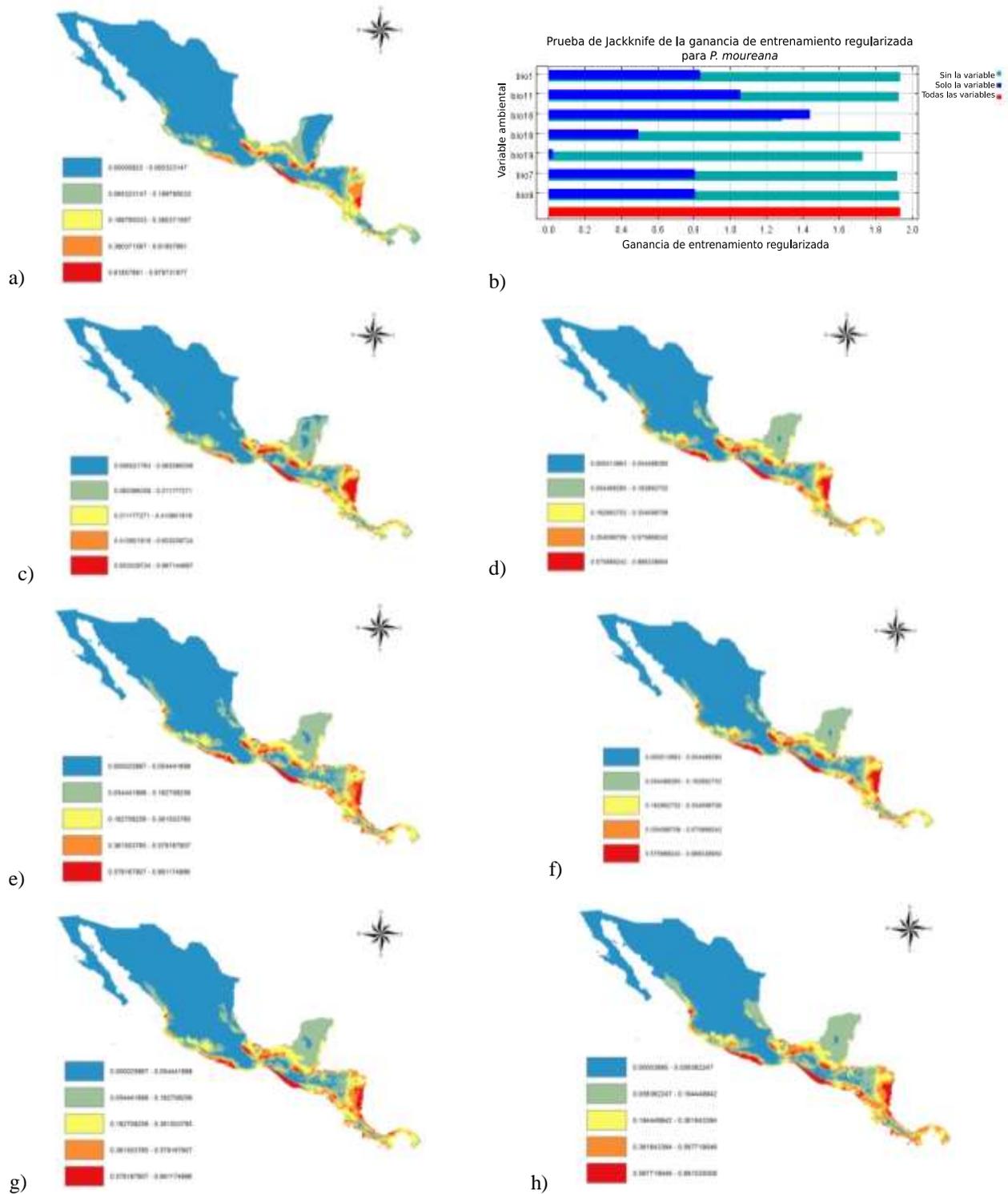


Figura 17. Mapas de distribución potencial de *Plebeia moureana* Ayala, 1999, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .982), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .980), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .982), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .981), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .981), y h) RCP 8.5, año 2070 (AUC .983).

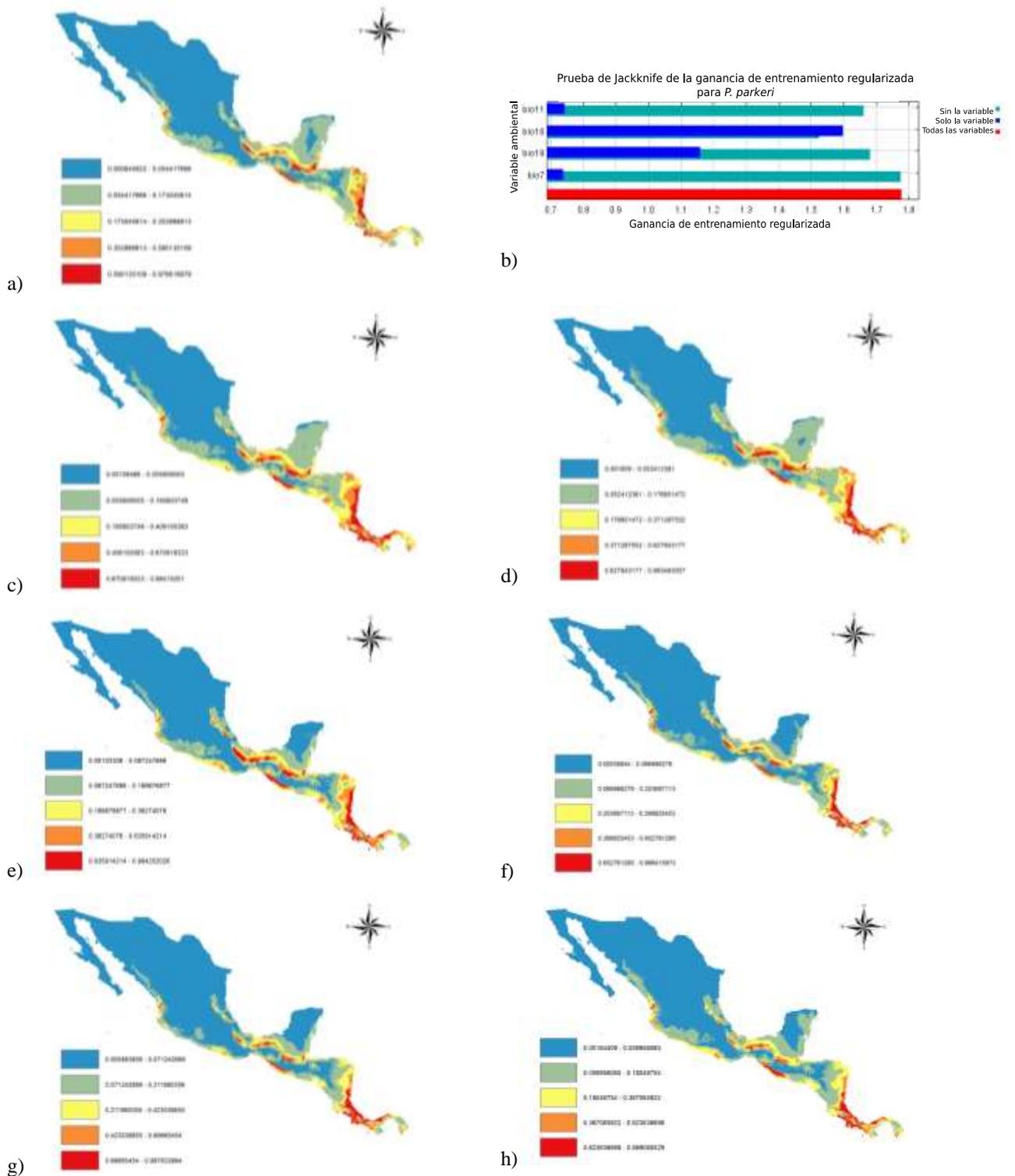


Figura 18. Mapas de distribución potencial de *Plebeia parkeri* Ayala, 1999, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .978), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .978), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .979), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .978), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .977), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .979).

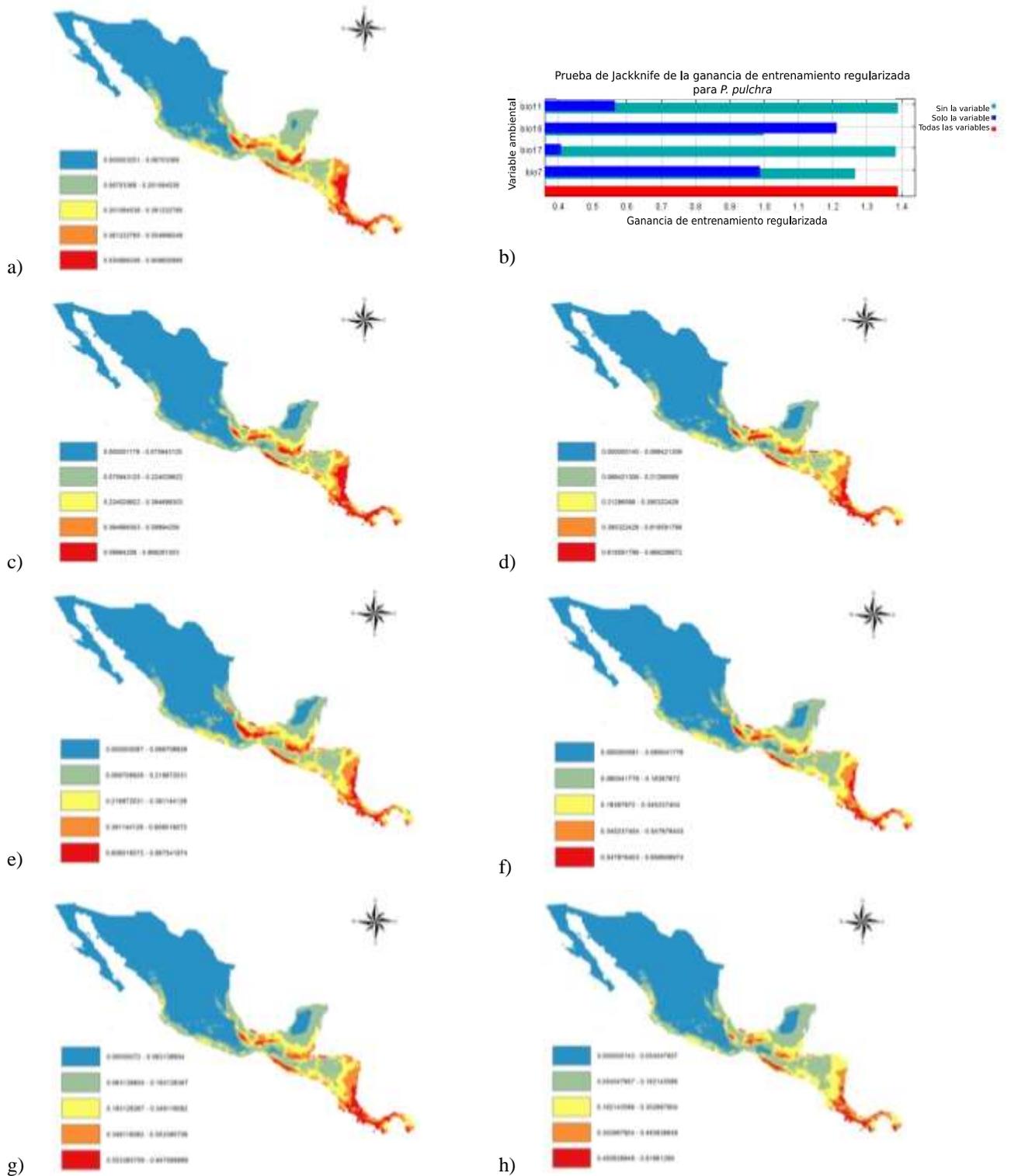


Figura 19. Mapas de distribución potencial de *Plebeia pulchra* Ayala, 1999, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .939), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .943), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .943), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .940), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .941), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .945).

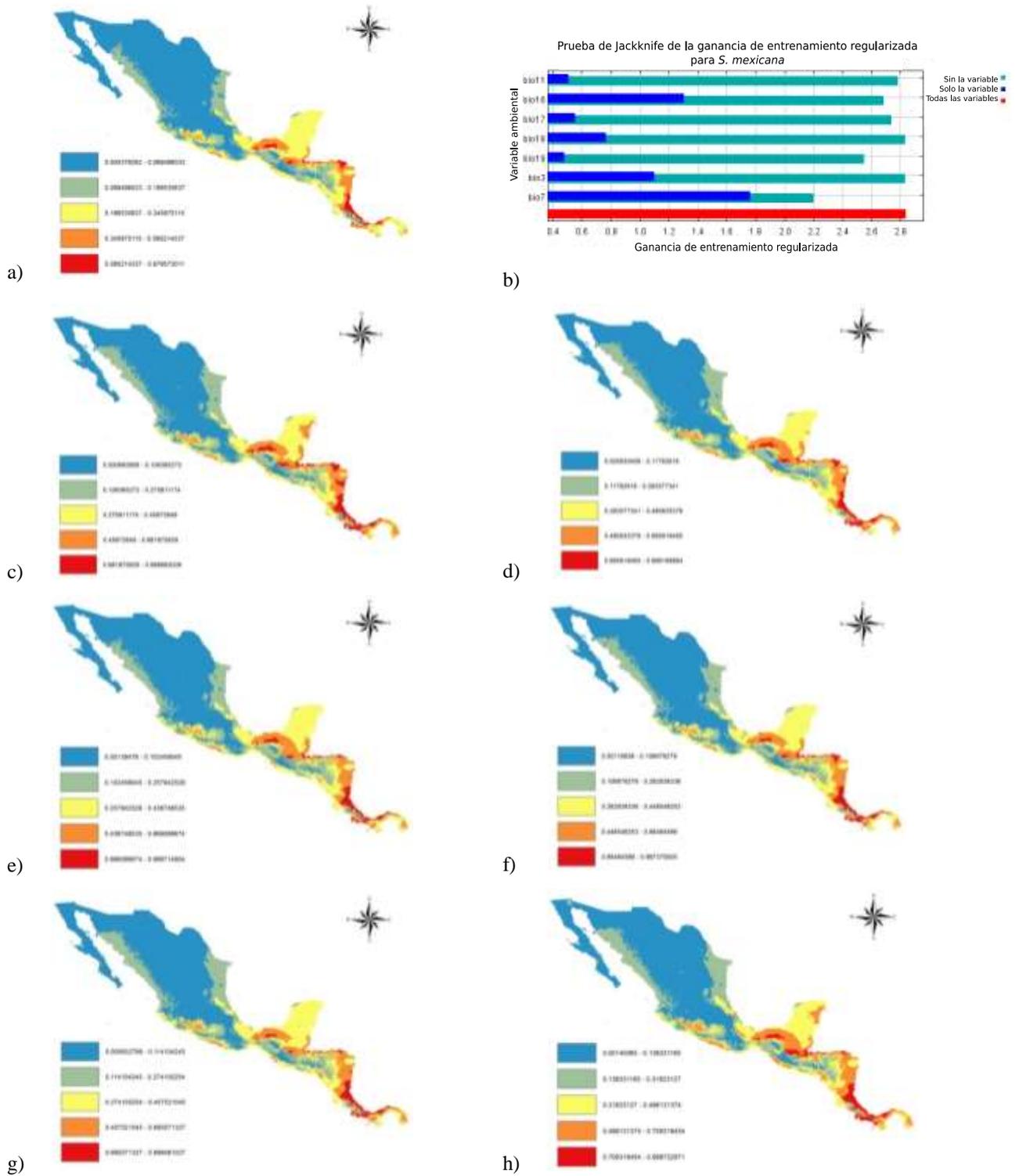


Figura 20. Mapas de distribución potencial de *Scaptotrigona mexicana* (Guérin-Méneville, 1844), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .982), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .982), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .983), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .983), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .982), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .982).

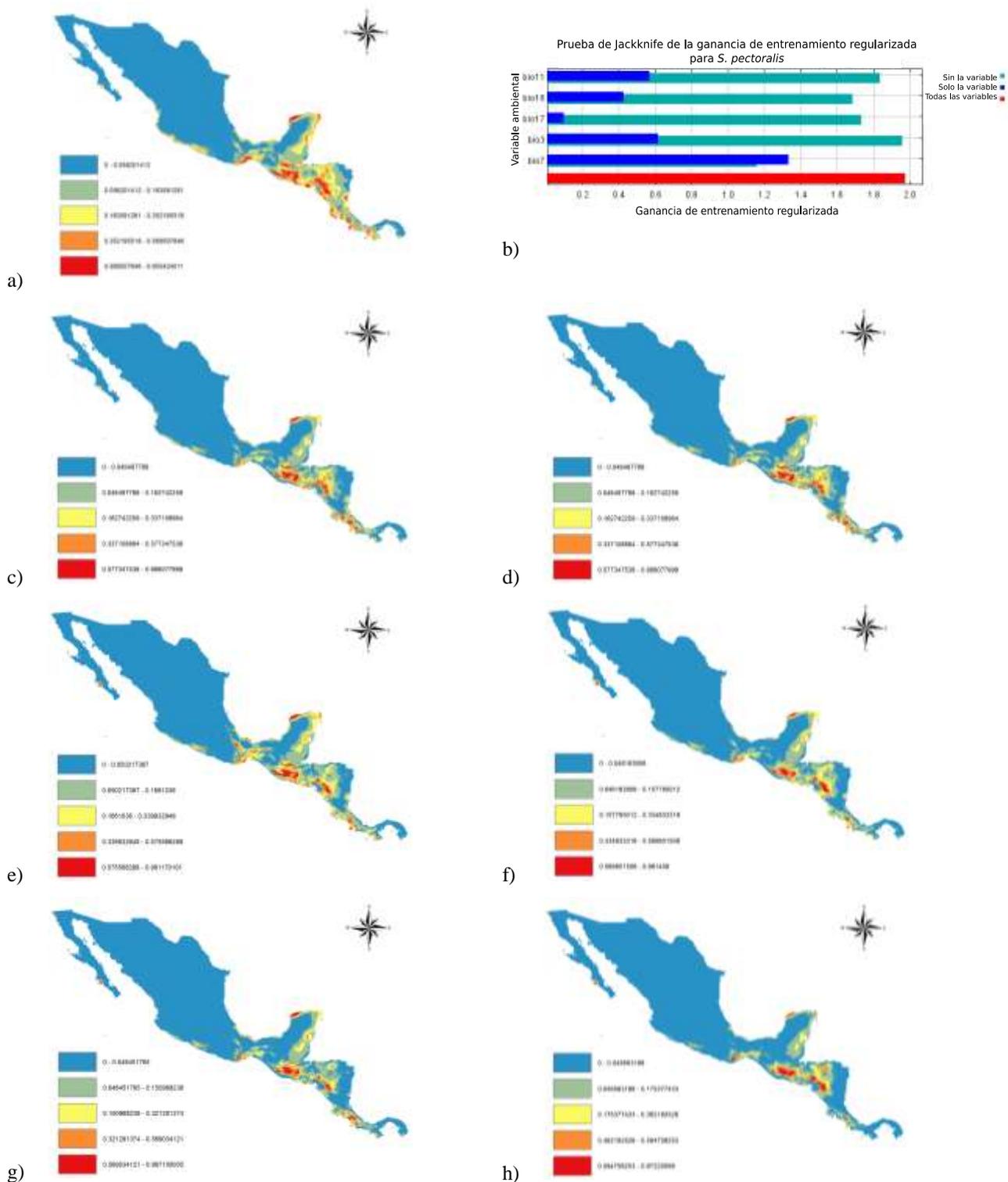


Figura 21. Mapas de distribución potencial de *Scaptotrigona pectoralis* (Dalla Torre, 1896), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .964), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .962), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .962), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .963), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .965), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .964).

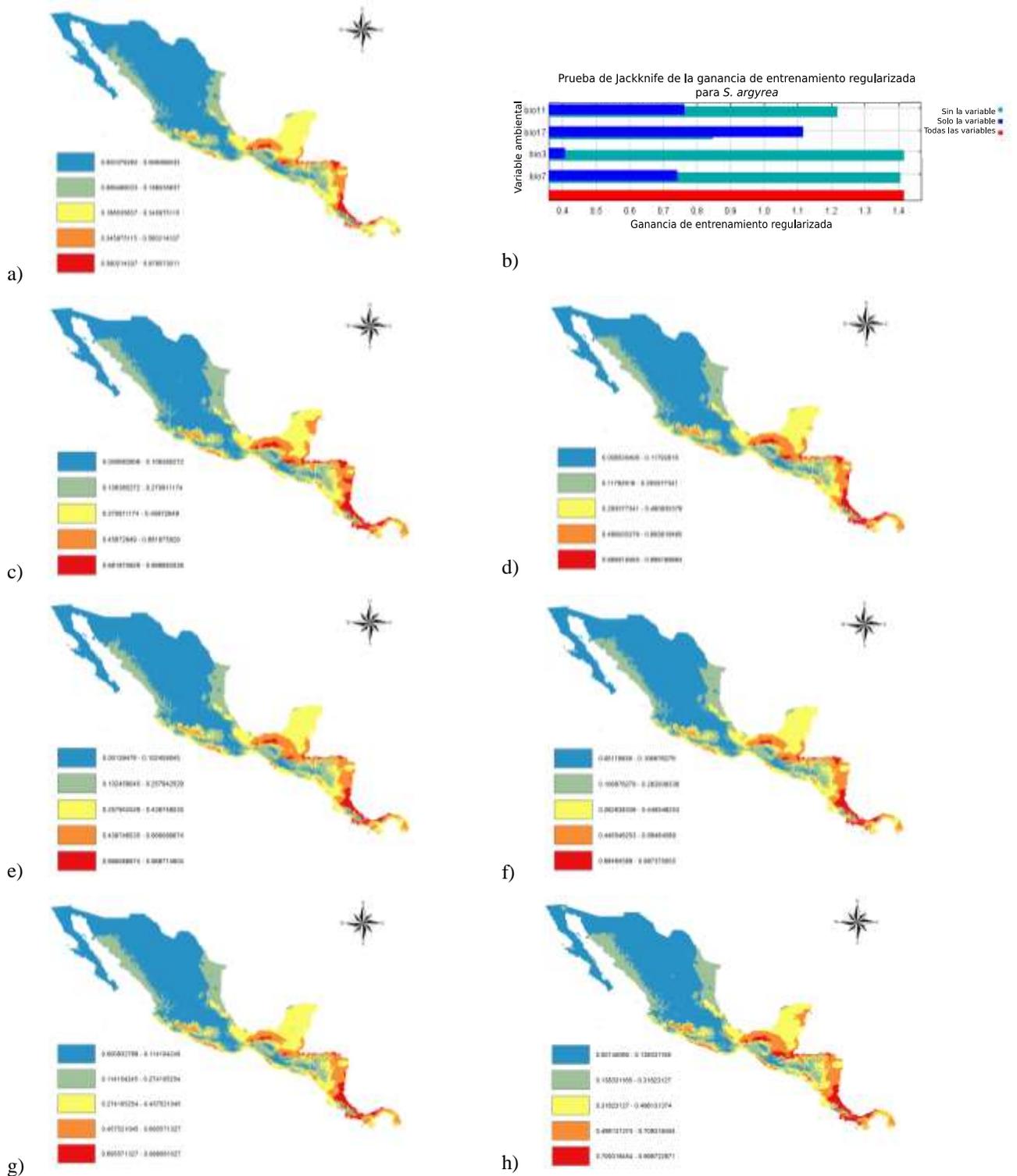


Figura 22. Mapas de distribución potencial de *Scaura argyrea* (Cockerell, 1912), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .976), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .978), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .976), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .978), g) RCP 8.5, año 2050 (AUC .976), y h) RCP 8.5, año 2070 (AUC .976).

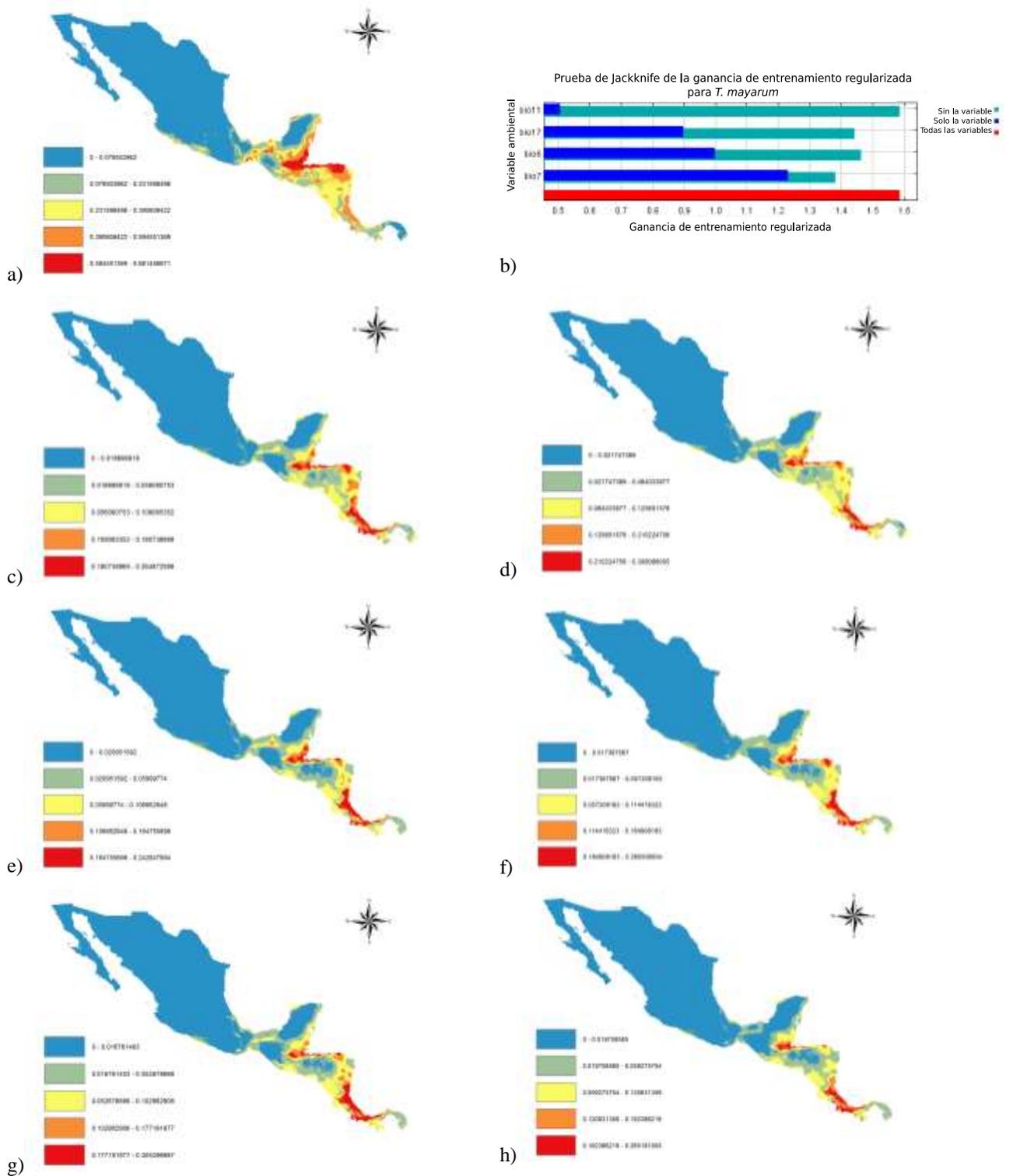


Figura 23. Mapas de distribución potencial de *Tetragona mayarum* (Cockerell, 1912), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .952), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .951), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .949), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .953), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .951), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .955).

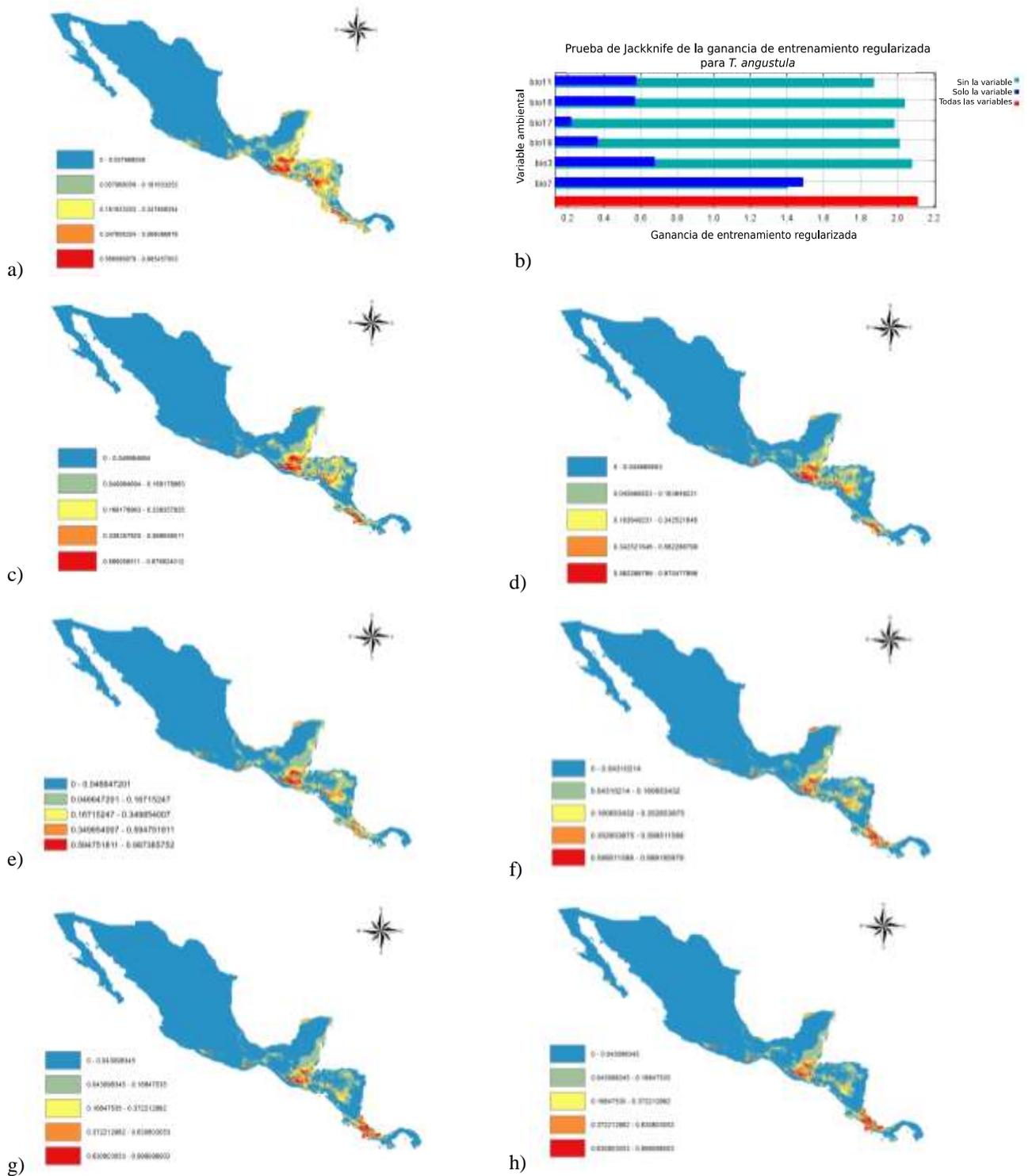


Figura 24. Mapas de distribución potencial de *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .973), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .974), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .974), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .973), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .975), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .974).

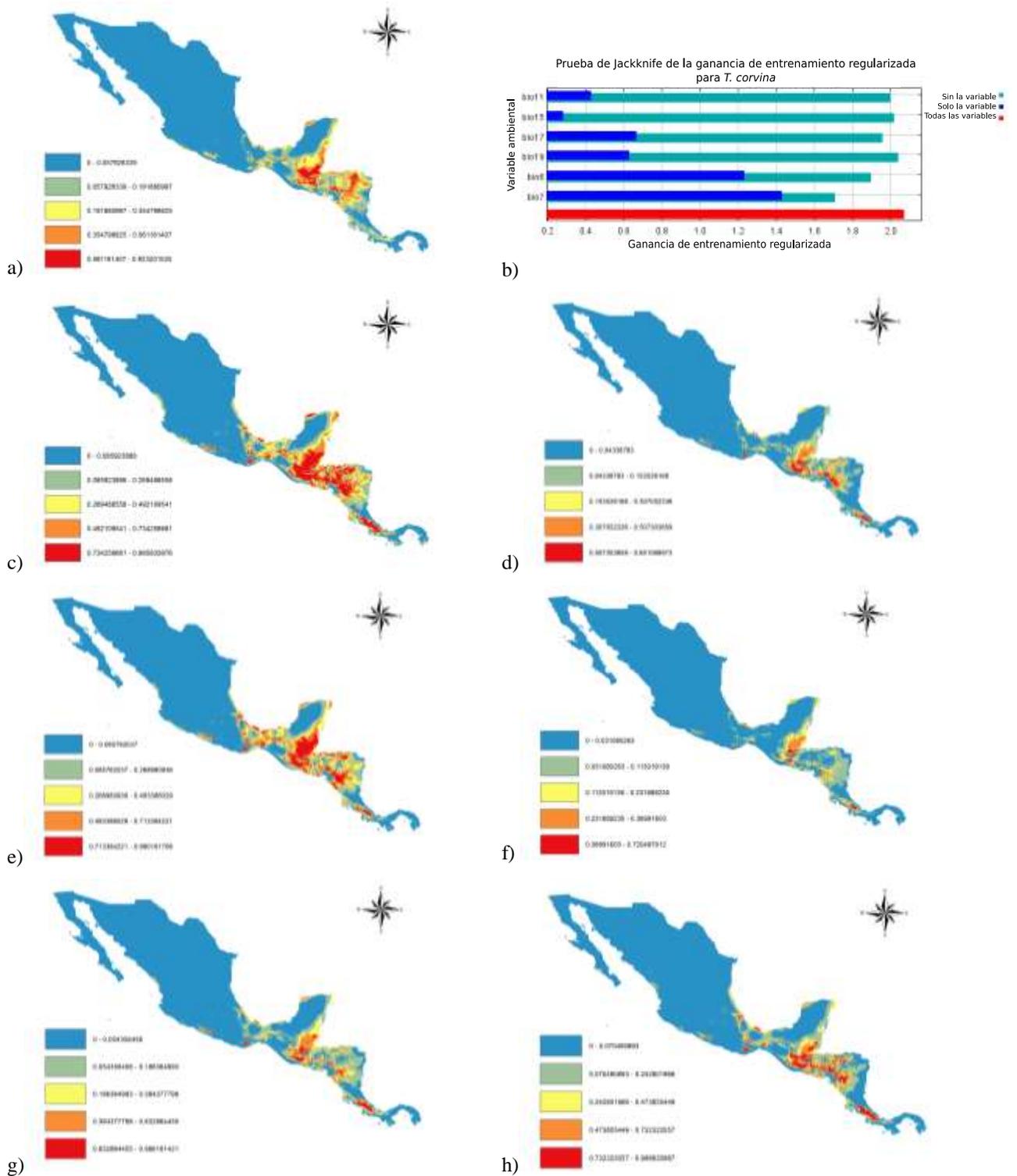


Figura 25. Mapas de distribución potencial de *Trigona corvina* Cockerell, 1913, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .977), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .975), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .977), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .975), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .977), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .978).

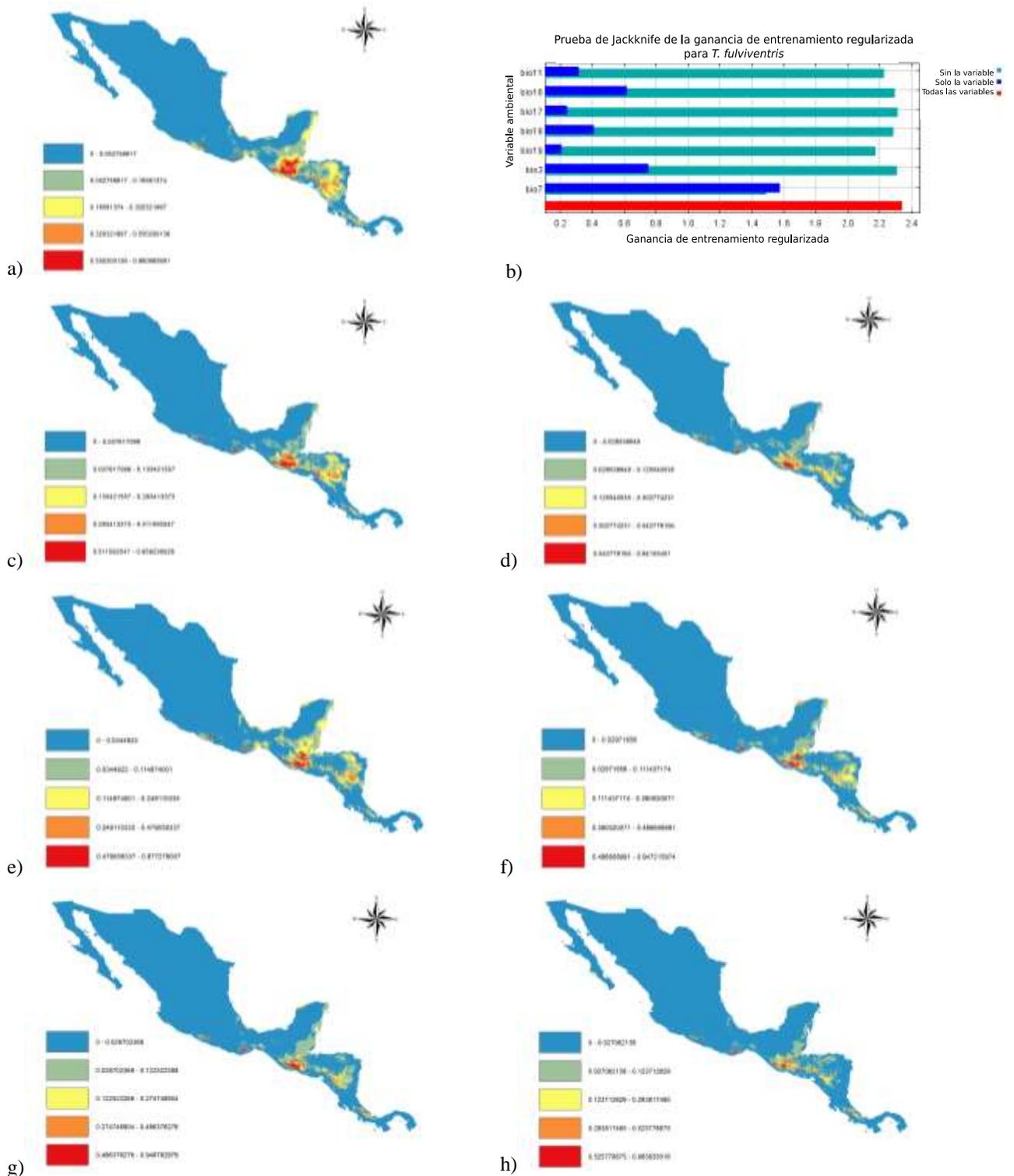


Figura 26. Mapas de distribución potencial de *Trigona fulviventris* Guérin-Méneville, 1844, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .974), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .985), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .976), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .974), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .974), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .976).

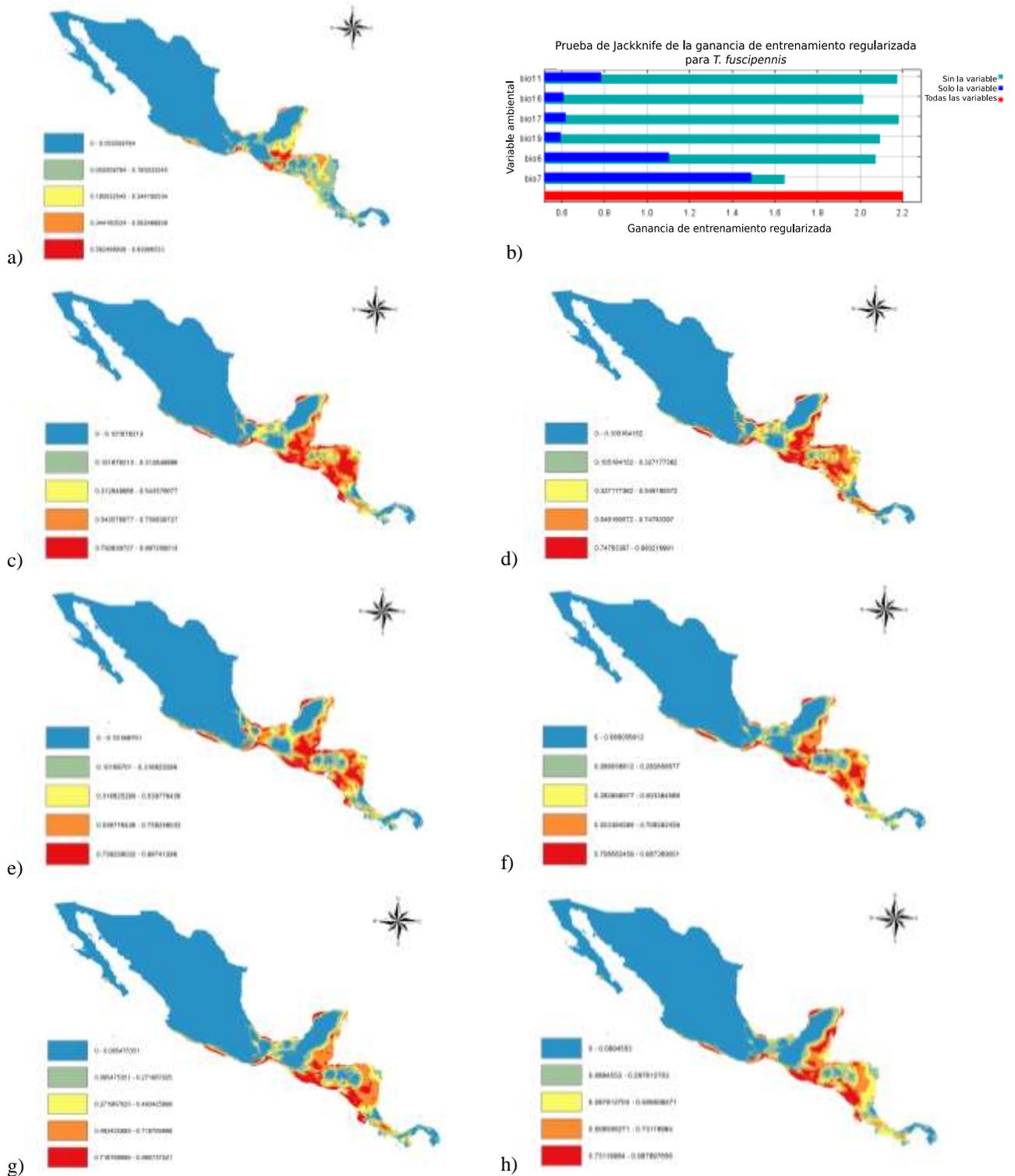


Figura 27. Mapas de distribución potencial de *Trigona fuscipennis* Friese, 1900, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .980), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .981), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .979), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .980), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .982), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .981).

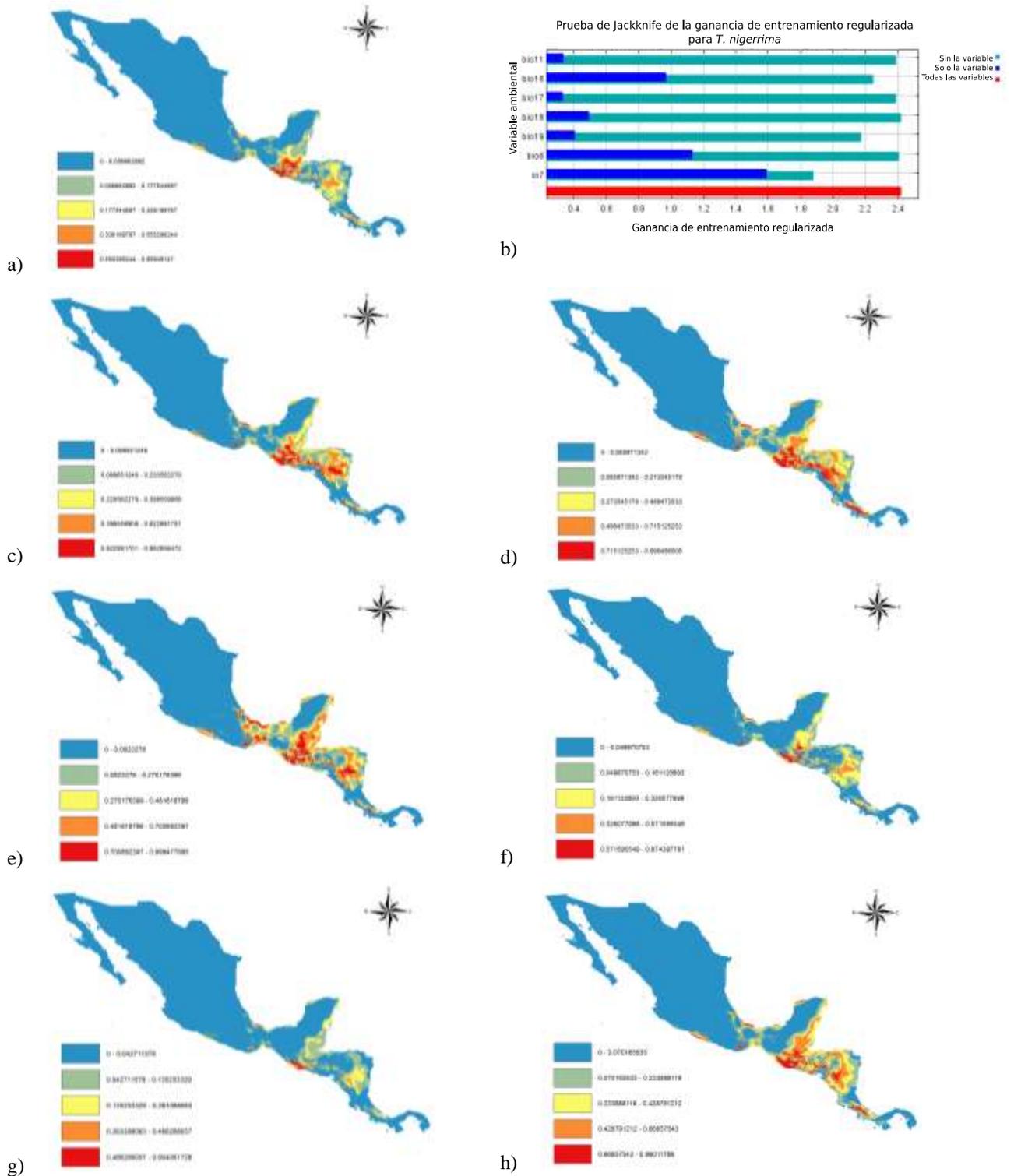


Figura 28. Mapas de distribución potencial de *Trigona nigerrima* Cresson, 1878, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .977), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .979), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .979), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .979), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .978), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .979).

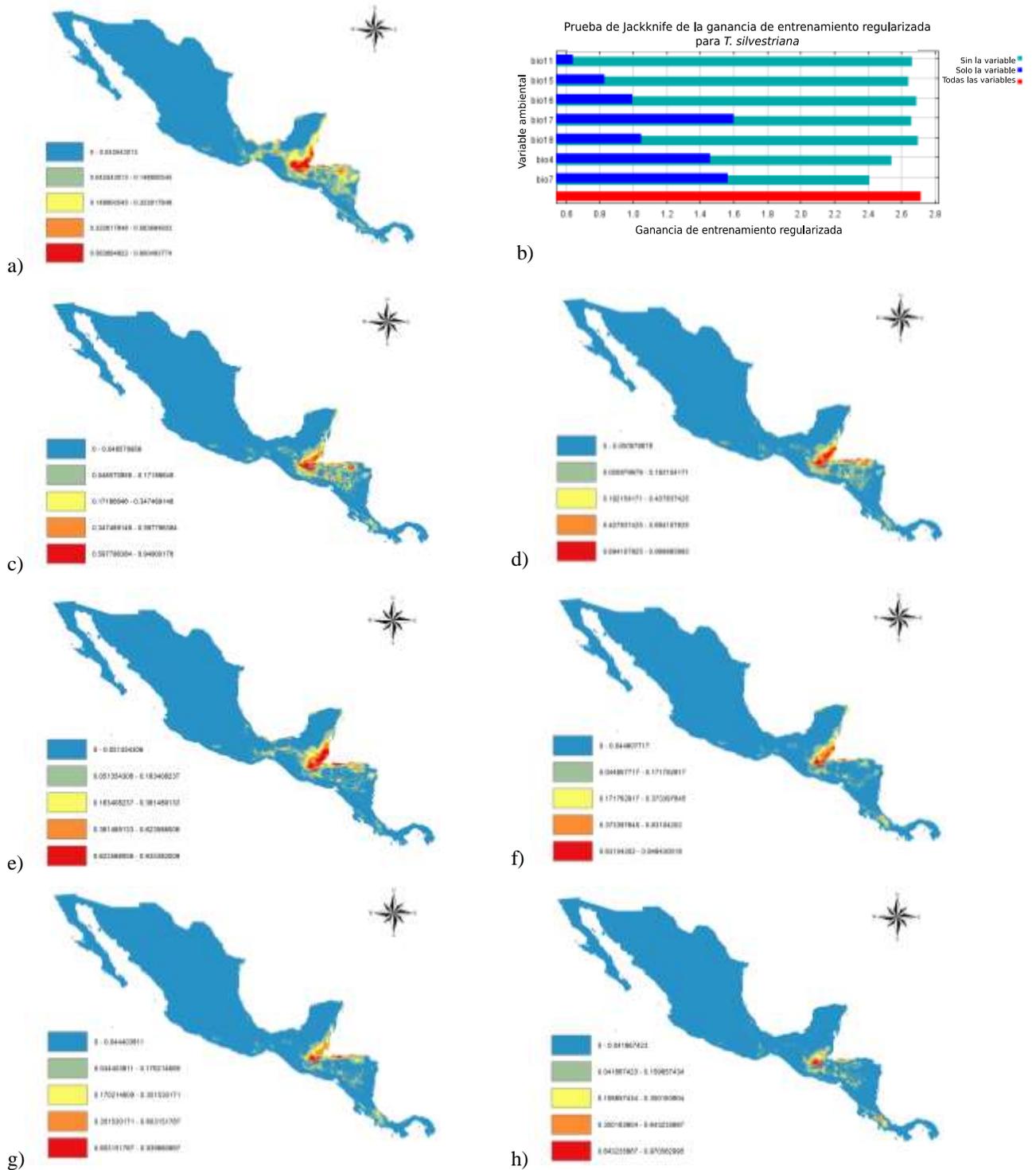


Figura 29. Mapas de distribución potencial de *Trigona silvestriana* (Vachal, 1908), para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .938), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .984), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .983), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .985), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .984), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .984).

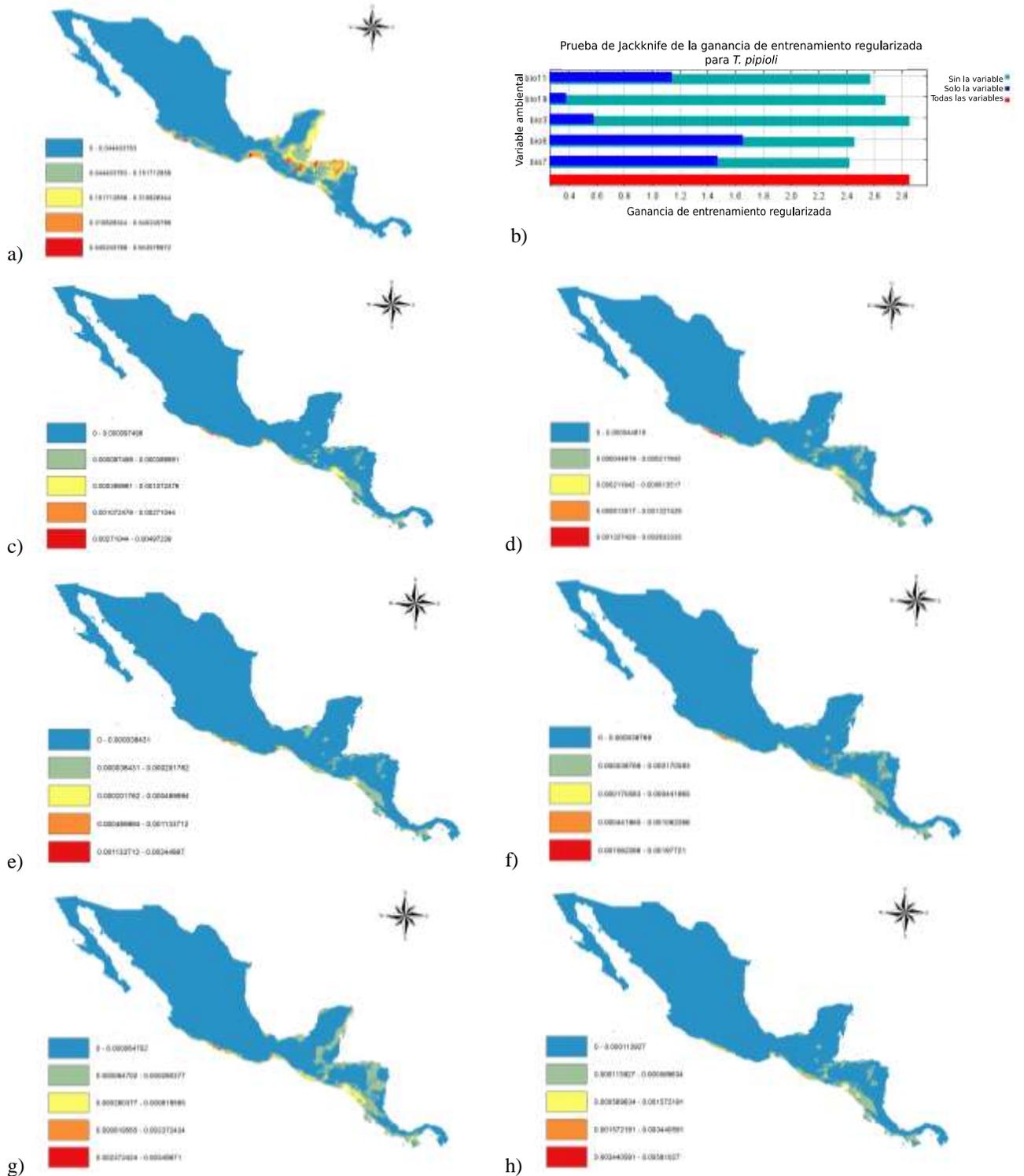


Figura 30. Mapas de distribución potencial de *Trigonisca pipioli* Ayala, 1999, para Mesoamérica según las variables bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) gráfica de “ganancia de entrenamiento” que muestra el aporte de cada variable a la “ganancia” del modelo, c) RCP 4.5, año 2050 (AUC .980), d) RCP 4.5, año 2070 (AUC .979), e) RCP 6.0, año 2050 (AUC .981), f) RCP 6.0, año 2070 (AUC .980), f) RCP 8.5, año 2050 (AUC .979), y f) RCP 8.5, año 2070 (AUC .980).

### Apéndice III

Cálculo de área ganada o perdida en los distintos escenarios de cambio climático, para cada especie de abeja sin agujón de Guatemala. Los valores se obtuvieron sobreponiendo las áreas y calculando aritméticamente los valores obtenidos (Figura 31). Para cada modelo se tomó en cuenta las áreas con probabilidades mayores al umbral logístico (percentil 10) calculado para cada modelo. Se presenta las ganancias como valores positivos y las pérdidas como valores negativos (Tabla 7).



*Figura 31.* Mapa de traslape de áreas. Ejemplo de la metodología utilizada para obtener los valores de pérdida o ganancia de área de distribución potencial en cada escenario de cambio climático, para cada especie de abeja sin agujón de Guatemala. Los valores se interpretan de la forma siguiente: 0, Área que carece de las condiciones climáticas necesarias para que exista distribución potencial; 1, área de distribución potencial del presente que se perderá en el escenario predicho; 2, área de distribución potencial adquirida en el escenario futuro, que no estaba en el modelo del presente; y 3, área de distribución potencial del presente que permanecerá en el escenario de cambio climático predicho.

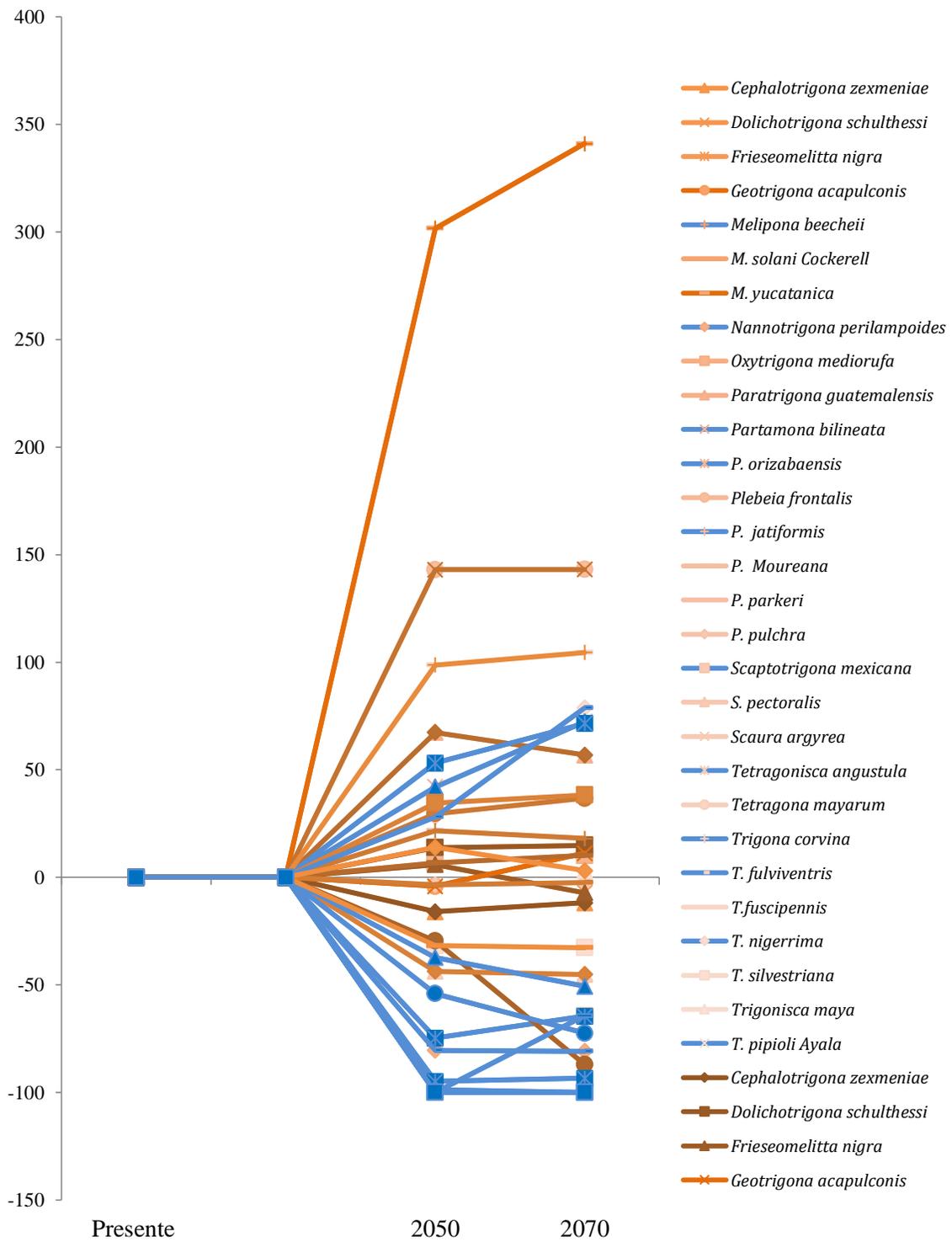


Figura 32. Ganancia o pérdida de área (en porcentaje) de distribución potencial de cada especie de abeja sin aguijón, según el escenario de gases RCP 4.5. Las líneas azules corresponden a especies de las que existen registros en altitudes superiores a los 1,500 msnm, las líneas en tonos cafés representan las especies cuyas localidades de colecta conocidas no superan los 1,500 msnm.

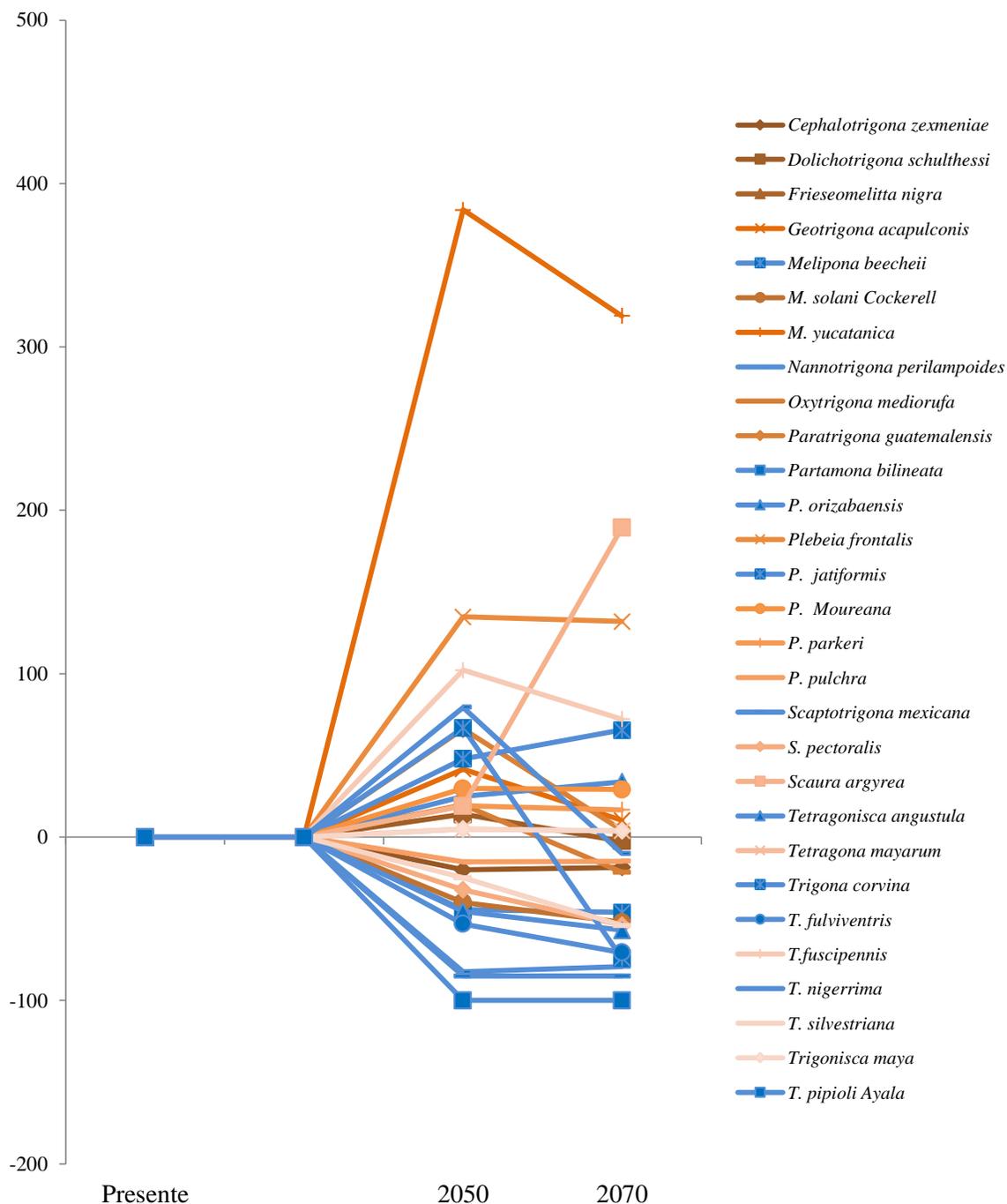


Figura 33. Ganancia o pérdida de área (en porcentaje) de distribución potencial de cada especie de abeja sin aguijón, según el escenario de gases RCP 6.0. Las líneas azules corresponden a especies de las que existen registros en altitudes superiores a los 1,500 msnm, las líneas en tonos cafés representan las especies cuyas localidades de colecta conocidas no superan los 1,500 msnm.

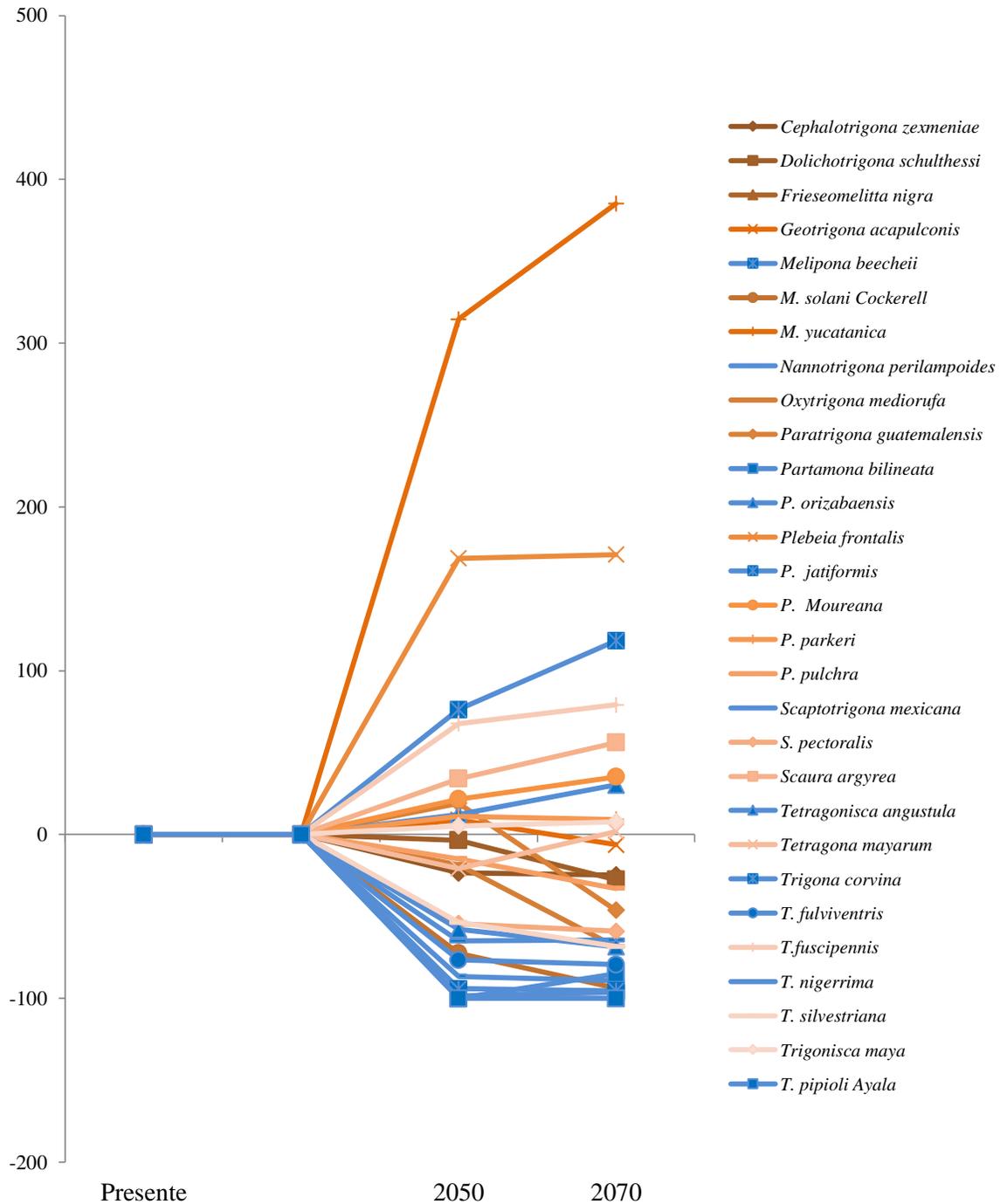


Figura 34. Ganancia o pérdida de área (en porcentaje) de distribución potencial de cada especie de abeja sin aguijón, según el escenario de gases RCP 8.5. Las líneas azules corresponden a especies de las que existen registros en altitudes superiores a los 1,500 msnm, las líneas en tonos café representan las especies cuyas localidades de colecta conocidas no superan los 1,500 msnm.

Tabla 7

Porcentajes de pérdida o ganancia de área de distribución potencial (con condiciones climáticas adecuadas para la especie) en los distintos escenarios de cambio climático, respecto al área de distribución potencial actual.

| Especie  | No. Localidades | RCP 4.5  |          | RCP 6.0  |          | RCP 8.5  |          |
|--|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|  |                 | Año 2050 | Año 2070 | Año 2050 | Año 2070 | Año 2050 | Año 2070 |
| <i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)      | 11              | -16.0    | -11.8    | -20.1    | -18.5    | -23.4    | -24.7    |
| <i>Dolichotrigona schulthessi</i> (Friese, 1900)       | 8               | 13.8     | 14.9     | 14.0     | -2.5     | -3.5     | -27.5    |
| <i>Frieseomelitta nigra</i> (Cresson, 1878)            | 18              | 5.9      | -7.2     | -5.2     | 115.7    | 189.5    | 76.9     |
| <i>Geotrigona acapulconis</i> (Strand, 1919)           | 11              | -4.1     | 11.2     | 41.6     | 10.3     | 8.9      | -6.2     |
| <i>Melipona beecheii</i> Bennett, 1831                 | 69              | -74.7    | -64.6    | -44.4    | -46.1    | -98.6    | -96.4    |
| <i>M. solani</i> Cockerell, 1912                       | 32              | -29.6    | -87.0    | -40.0    | -52.2    | -72.5    | -93.7    |
| <i>M. yucatanica</i> Camargo, Moure & Roubik, 1988     | 9               | 301.7    | 341.1    | 383.8    | 319.0    | 314.6    | 385.1    |
| <i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)      | 58              | -80.4    | -80.9    | -82.5    | -79.2    | -86.6    | -89.3    |
| <i>Oxytrigona mediorufa</i> (Cockerell, 1913)          | 11              | 6.7      | 10.2     | 19.7     | -21.5    | -18.4    | -68.5    |
| <i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)       | 13              | 67.4     | 56.9     | 66.0     | 4.4      | 19.2     | -46.2    |
| <i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)                 | 123             | -98.8    | -100.0   | 427.4    | --       | -100.0   | -85.1    |
| <i>P. orizabaensis</i> (Strand, 1919)                  | 25              | 42.1     | 72.3     | 25.0     | 33.9     | 12.4     | 30.3     |
| <i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)                | 20              | 143.1    | 143.2    | 134.8    | 132.0    | 168.7    | 170.9    |
| <i>P. jatiformis</i> (Cockerell, 1912)                 | 4               | 53.2     | 71.5     | 47.9     | 65.5     | 76.4     | 118.4    |
| <i>P. moureana</i> Ayala, 1999                         | 6               | 29.6     | 36.8     | 29.8     | 29.2     | 21.7     | 35.3     |
| <i>P. parkeri</i> Ayala, 1999                          | 6               | 21.7     | 18.1     | 19.1     | 16.7     | 11.2     | 9.2      |
| <i>P. pulchra</i> Ayala, 1999                          | 14              | -3.4     | -2.3     | -15.2    | -14.9    | -14.9    | -33.0    |
| <i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin-Ménéville, 1844) | 39              | -100.0   | -64.4    | -85.1    | -85.1    | -65.0    | -64.4    |
| <i>S. pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)               | 25              | -43.7    | -45.1    | -32.2    | -53.9    | -54.4    | -59.1    |
| <i>Scaura argyrea</i> (Cockerell, 1912)                | 9               | 34.5     | 38.3     | 19.1     | 189.4    | 34.1     | 56.2     |
| <i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)        | 105             | -37.3    | -50.7    | -45.4    | -57.0    | -57.9    | -68.6    |
| <i>Tetragona mayarum</i> (Cockerell, 1912)             | 15              | 70.0     | -49.0    | 4.9      | 3.9      | -20.8    | 1.8      |
| <i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913                 | 37              | -94.9    | -93.4    | 66.8     | -74.1    | -94.0    | -95.4    |
| <i>T. fulviventris</i> Guérin-Ménéville, 1844          | 141             | -54.1    | -72.5    | -53.2    | -70.7    | -76.6    | -79.4    |
| <i>T. fuscipennis</i> Friese, 1900                     | 35              | 98.7     | 104.5    | 102.1    | 72.3     | 67.7     | 79.2     |
| <i>T. nigerrima</i> Cresson, 1878                      | 52              | 28.1     | 78.7     | 79.5     | -10.1    | -60.5    | 49.5     |
| <i>T. silvestriana</i> (Vachal, 1908)                  | 46              | -31.8    | -32.7    | -24.9    | -54.2    | -53.6    | -68.3    |
| <i>Trigonisca maya</i> Ayala, 1999                     | 15              | 13.9     | 3.1      | 4.9      | 3.9      | 5.2      | 7.8      |
| <i>T. pipioli</i> Ayala, 1999                          | 19              | -100.0   | -100.0   | -100.0   | -100.0   | -100.0   | -100.0   |

## Apéndice IV

Borrador del artículo de divulgación elaborado para el proyecto.

|                      |  |
|----------------------|--|
| Partida del Proyecto | <b>4.8.63.2.06</b>   |
| Año de ejecución     | 2017   |
| Título del proyecto  | Distribución potencial de las abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante posibles escenarios de cambio climático. |
| Coordinadora         | Lcda. Natalia Escobedo Kenefic   |
| Unidad Avaladora     | Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas - IIQB -  |

# **Clave taxonómica ilustrada para los géneros de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala**

Stingless bees (Apidae: Meliponini) of Guatemala: actualization and key to genera

Natalia Escobedo-Kenefic<sup>1\*</sup>, María E. Enríquez<sup>1</sup>, Jessica E. López<sup>1</sup>, Valeska Contreras<sup>1</sup> y Denisse Escobar<sup>1</sup>

1. Unidad para la Conservación, Uso y Valoración de la Biodiversidad, Centro de Estudios Conservacionistas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Avenida Reforma 0-63 zona 10, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

\*Autora a la que se dirige la correspondencia: [escobedo.natalia@usac.edu.gt](mailto:escobedo.natalia@usac.edu.gt)

## Resumen

Los meliponinos (Apidae:Meliponini) son abejas sin aguijón, de hábito social, que habitan los trópicos del mundo. En Guatemala se conocen al menos 33 especies de abejas de este grupo, pertenecientes a 17 géneros. Se realizó una revisión de especímenes de las distintas especies, identificando varios caracteres taxonómicos importantes en la identificación de los géneros. Se presenta una clave taxonómica actualizada, con información de utilidad para la identificación de los géneros de Meliponini presentes en Guatemala. La clave está simplificada e ilustrada, a modo de facilitar su uso a nivel técnico.

Palabras clave: Hymenoptera, taxonomía, meliponinos, revisión, caracteres taxonómicos.

## Abstract

The meliponids (Apidae:Meliponini) are social, stingless bees distributed in the tropical regions of the world. In Guatemala, at least 33 species within 17 genera are known. A revision of specimens was carried out to identify various morphological characteristics of taxonomic importance to the genera identification. This work presents an actualized taxonomic key, containing useful information to the identification of the Meliponini genera of Guatemala. The key has been simplified and illustrated, in order to aid on its use by novice taxonomists and technicians.

Keywords: Hymenoptera, taxonomy, meliponinos, revision, taxonomic characters.

## Introducción

Las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini), o meliponinos, son insectos de distribución pan tropical. Se caracterizan por formar colonias numerosas con castas definidas (reinas, obreras y zánganos), almacenan su alimento en forma de miel y polen, así como por producir cera y otros materiales que utilizan en la elaboración de sus nidos (Michener, 2007). Yurrita y Vásquez (2013) reportan 17 géneros y 33 especies de meliponinos para Guatemala, las cuales se distribuyen ampliamente en el país, principalmente en las zonas cálidas y húmedas. La tribu Meliponini presenta la mayor riqueza de especies dentro de la Familia Apidae para Guatemala (Enríquez, Yurrita, Ayala, Marroquín & Griswold, 2012).

Antecedentes del estudio de los meliponinos en Guatemala.

Ya en el siglo XVIII, Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán comentó sobre la diversidad de abejas presentes en la región, así como del cultivo de algunas especies (Fuentes, 1700).

Posteriormente, Fray Francisco Ximenes describió detalladamente varios aspectos de la biología y manejo de abejas nativas, probablemente de *Melipona beecheii* (Ximenes, 1967). Hay poca información sobre los estudios sobre meliponinos realizados durante el siglo XX, limitándose a reportes aislados de material colectado y utilizado en revisiones taxonómicas. La tesis de Marroquín (2000), incluye el primer listado de meliponinos de Guatemala, reportando 10 géneros y 27 especies. Enríquez, et al. (2012) reportan 11 géneros y 41 especies de meliponinos, basados en reportes bibliográficos. La publicación más reciente para las especies de Guatemala es la de Yurrita & Vásquez (2013), basada en los registros de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang), del Centro de Estudios Conservacionistas (Cecon). En esta publicación se reportan 17 géneros, debido a que se utilizó la clasificación propuesta por Camargo y Pedro (2008), la cual reconoce varios géneros que anteriormente estaban incluidos dentro de *Trigona* (Enríquez et al., 2012).

La colección de abejas nativas de Guatemala, Cecon-Usac

La Cang, ubicada en el Cecon, cuenta actualmente con más de 20,000 especímenes de abejas, la cual representa gran parte de la apifauna del país. Es una colección única en su tipo, a nivel centroamericano, y ha sido un referente para científicos nacionales y extranjeros sobre la diversidad de abejas de la región (Enriquez & Ayala 2014). Meliponini es la tribu mayormente

representada en la colección, en la que actualmente se cuentan aproximadamente 8,000 registros correspondientes a especímenes colectados desde el año 2003 hasta la fecha (Enríquez & Ayala 2014, base de datos Cang).

#### Identificación taxonómica de Meliponini en Guatemala

La identificación taxonómica de meliponinos de Guatemala se ha realizado hasta el momento utilizando la clave taxonómica publicada por Ayala (1999), para las abejas sin aguijón de México. El presente trabajo fue realizado con el objetivo de poner a disposición de científicos y técnicos de Guatemala, una clave de identificación taxonómica simplificada para los géneros de Meliponini presentes en el país.

#### Materiales y métodos

Para este trabajo se realizó una revisión detallada de obreras de las distintas especies de abejas sin aguijón presentes en la Cang. Se utilizó la clave incluida en la revisión de Ayala (1999) como base para revisar e identificar los caracteres taxonómicos importantes en la identificación de especímenes de Guatemala. Se elaboró una clave para géneros, utilizando los caracteres elegidos y excluyendo los que no son necesarios en la identificación de los géneros. La revisión se realizó utilizando estereoscopios marca Leika, Nikon y Premiere, y las fotografías fueron tomadas utilizando una cámara ajustable para microscopios marca ToupView (Toupcam™), de 14 megapíxeles. En la clave se utiliza la terminología morfológica propuesta por Michener (2007).

#### Resultados

Se presenta una clave taxonómica dicotómica simplificada, para la identificación de los géneros de abejas sin aguijón de Guatemala, para ser utilizada con obreras. Los caracteres taxonómicos importantes para la clave se encuentran ilustrados en la figura 1.

Clave taxonómica ilustrada para los géneros de Meliponini de Guatemala (obreras)

1. Cuerpo robusto, pubescencia abundante que cubre el la mayor parte del tórax y la cabeza (fig 1, a)..... *Melipona*
- 1'. Cuerpo relativamente delgado, sin pubescencia que cubra por completo el integumento (fig 1, b)..... 2
2. Abejas sin corbícula. La tibia presenta un ensanchamiento redondeado, más bien

|  |                      |
|--|----------------------|
| cilíndrico, pero no formando corbícula verdadera (fig 1, c).....   | <i>Lestrimelitta</i> |
| 2'. Tibia posterior formando una verdadera corbícula más o menos aplanada y cóncava (fig 1, d, e y f).....   | 3                    |
| 3. Superficie interna de la tibia a un mismo nivel, con <i>keirotichia</i> (pilosidad corta, fina y densa) que se extiende hasta el margen posterior (fig 1, g).....   | 4                    |
| 3'. Superficie interna con <i>keirotichia</i> solamente en una parte media elevada, margen posterior glabro, de amplitud variable (fig 1, e y f). En <i>Plebeia</i> puede llegar cerca del borde, pero se observa elevada y no aun mismo nivel (fig 1, d).....                                     | 7                    |
| 4. Escutelo con una depresión o surco longitudinal en la parte media del margen anterior (fig 1, h).....   | 5                    |
| 4'. Escutelo sin surco (fig 1, i).....   | 6                    |
| 5. Muesca en la parte anterior del escutelo (fig 1, j), dibujos amarillos, abejas de 3-4 mm de largo .....   | <i>Nannotrigona</i>  |
| 5'. Margen posterior del escutelo sin muesca, sin dibujos amarillos, abejas de 5-6 mm de largo (fig 1, k).....   | <i>Scaptotrigona</i> |
| 6. Tibia posterior sub triangular (fig 1, g).....  | <i>Paratrigona</i>   |
| 6'. Tibia posterior muy ancha (fig 1, f).....  | <i>Partamona</i>     |
| 7. Tibia posterior sub triangular, con un borde glabro estrecho a lo largo del margen posterior, hundido en comparación con el área con <i>keirotichia</i> , misma que se extiende sobre la mayor parte de la superficie interna de la tibia, pero se encuentra claramente elevada (fig 1, d)..... | 8                    |
| 7'. Tibia posterior de forma variable (fig 1, e), o bien abejas muy pequeñas (2-3 mm) con tibia sub triangular.....  | 9                    |
| 8. Abejas con dibujos amarillos.....   | <i>Plebeia</i>       |
| 8'. Abejas sin dibujos amarillos.....  | <i>Scaura</i>        |
| 9. Abejas mayores a 3 mm (o si son más pequeñas, tienen dibujos amarillos muy nítidos). Pelos corbiculares no implantados en salientes (Fig 1, l).....   | 10                   |
| 9'. Abejas sin dibujos amarillos, pelos corbiculares implantados en salientes, mismas que forman un borde aserrado (fig 1, e). Abejas de 2-3 mm.....   | 16                   |
| 10. Área circular sedosa en la base del basitarso (fig 1, n).....  | 11                   |
| 10'. Sin área circular sedosa en la base del basitarso (fig 1, o).....   | 12                   |
| 11. Mandíbulas con 4-5 dientes, sin dibujos amarillos (fig 1, p).....  | <i>Trigona</i>       |
| 11'. Mandíbulas con 2 dentículos en el borde apical (fig 1, q).....  | <i>Tetragonisca</i>  |
| 12. Sedas corbiculares marginales con pelos plumosos intercalados (fig 1, m).....  | 13                   |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 12'. Sedas corbiculares marginales sin pelos plumosos intercalados (fig 1, l).....                                | 15                    |
| 13. Sin dibujos amarillos, abdomen corto y ancho (fig 1, r).....  | <i>Geotrigona</i>     |
| 13'. Dibujos amarillos (o líneas claras), abdomen alargado (digitiforme).....                                     | 14                    |
| 14. Integumento amarillo a naranja, negro en el escuto, propodeo y área frontal (fig 1, s).....                   | <i>Tetragona</i>      |
| 14'. Integumento negro, dibujos amarillos (a veces tenues) alrededor de los ojos, alas con ápice blanquecino..... | <i>Frieseomelitta</i> |
| 15. Cabeza grande, mandíbula con 1 diente distal, abejas de 9 mm (fig 1, t y u).....                              | <i>Cephalotrigona</i> |
| 15'. Cabeza grande, globosa, lisa, mandíbula con 2 dientes (fig 1, v y w).....                                    | <i>Oxitrigona</i>     |
| 16. Tibia posterior larga (al menos 5 veces su ancho, fig 1, e), celda marginal corta y semi circular.....        | <i>Dolichotrigona</i> |
| 16'. Tibia posterior de largo un poco mayor a 3 veces su ancho, celda marginal en forma de arco.....              | <i>Trigonisca</i>     |

## Discusión

Este trabajo presenta una clave taxonómica simplificada para los géneros de Meliponini presentes en Guatemala, procurando utilizar caracteres taxonómicos fácilmente identificables en los especímenes que forman parte de la Cang. Para la elaboración de la clave se utilizó como base la publicada por Ayala (1999) para las abejas sin aguijón de México, donde ya fueron utilizadas la mayoría de las características taxonómicas que se mencionan en este trabajo. Sin embargo, la clave aquí presentada muestra varias diferencias importantes respecto la de Ayala. En este trabajo se incluyen únicamente caracteres que son necesarios para diferenciar a las especies nacionales, con lo cual se logró una clave notablemente simplificada. Por otra parte, la nomenclatura de los géneros se presenta según Camargo (2008).

El género *Melipona* es fácilmente diferenciable de los otros géneros de Meliponini, debido a su constitución robusta, así como la abundante pubescencia que recubre la mayor parte del integumento en el tórax y cabeza. En Guatemala se conocen 3 especies: *M. beecheii*, *M. solani* y *M. yucatánica*. En términos generales, las tres especies pueden ser identificadas por su tamaño y patrones generales de coloración. Sin embargo, Monroy, Armas, Solórzano y Recinos (2010), encontraron que existe una notable variación morfológica y genética entre poblaciones de distintas partes del país. En el caso de *M. yucatánica*, encontraron que una población proveniente

de Camojalito, Huehuetenango, podría estarse diferenciando debido a estar aislada geográficamente de otras poblaciones.

Con excepción de *Melipona*, los géneros de Meliponini presentes en Guatemala pueden describirse como “trigoniformes”. Michener (2007) incluye este término entre los que pueden ser utilizados para describir o identificar algunos grupos, según su forma corporal, indicando que se utiliza para referirse a abejas del género *Trigona* y otros relacionados, que se caracterizan por un metasoma (abdomen) usualmente brillante, robusto a delgado, y por un cuerpo generalmente esbelto con pubescencia corta, pero nunca conspicuamente velludo. El género *Lestrimelitta*, representado en Guatemala únicamente por la especie *L. niitkib*, consiste en un grupo de abejas “ladronas” (Michener, 2007), que se distingue por la ausencia de corbículas (Ayala, 1999). A pesar de no poseer una corbícula verdadera, su tibia sí presenta un ensanchamiento redondeado uniformemente, por lo cual esto puede ser confuso a primera vista. Sobre la base de las observaciones hechas durante este trabajo, se recomienda examinar detenidamente la tibia posterior del espécimen a identificar desde distintos puntos de vista, para asegurarse de que no posea una corbícula verdadera.

La corbícula es una estructura presente en todos los géneros de Guatemala con excepción de *Lestrimelitta*. En la familia Apidae, esta estructura consiste en un ensanchamiento plano o cóncavo de la tibia posterior (Michener, 2007). En la tribu Meliponini, esta estructura presenta variaciones importantes que han sido utilizadas para su identificación taxonómica (ej. Ayala 1999).

En esta clave, la presencia de una zona central elevada, extendida longitudinalmente en el lado interno de la corbícula, es una característica que sirve para separar inicialmente los géneros. Al utilizarla, se debe tener cuidado de observar claramente la elevación del área cubierta de *keirotichia* (pilosidad, corta fina, corta y densa; según Ayala, 1999). En *Plebeia* y *Scaura*, el área elevada puede ser poco visible debido a que se extiende en casi toda la superficie interna de la tibia. Sin embargo, puede distinguirse al identificar la presencia de una depresión angosta a lo largo del margen posterior (figura 1, d). En el caso de no estar presente la zona central elevada, la *keirotichia* se encuentra cubriendo casi por completo el lado interno de la tibia, cuya superficie se encuentra a un mismo nivel. En *Partamona*, se puede observar un surco glabro y angosto a lo largo del margen posterior de la tibia, pero no hundido respecto a la superficie interna plana (fig 1, f).

El escudo y escutelo (parte dorsal del tórax), presentan varias características de importancia taxonómica, identificadas por Ayala (1999). Una de ellas es la presencia (fig 1, h) o ausencia (fig 1, i) de un surco longitudinal en la parte anterior del escutelo. Esta característica se puede observar como una depresión perpendicular a la unión entre el escudo y el escutelo. La presencia de una muesca en el extremo posterior del escutelo, es una característica que se utiliza en Ayala (1999) para diferenciar a *Nannotrigona perilampoides* (fig. 1, j). En los especímenes revisados se pudo corroborar que este es un carácter fácilmente identificable y útil para distinguir a la especie.

La forma de la tibia es variable dentro del grupo, pueden ser de forma sub triangular (fig. 1, e, g), en forma de raqueta, o sumamente anchas como en el género *Partamona* (fig 1, f), donde es fácilmente identificable. Las sedas o pelos implantados en el borde posterior de la corbícula también fueron corroborados como características taxonómicas útiles. En el caso de estar implantados en salientes, provocan un aspecto de sierra en el borde (fig. 1, e), lo cual puede observarse en los géneros *Dolichotrigona* y *Trigonsica*. Estos dos géneros también se caracterizan por ser abejas muy pequeñas, con cuerpos de entre 2 y 3 mm de largo. Otra característica fácilmente observable son los pelos plumosos que pueden estar intercalados con las sedas corbiculares (fig 1, m). Esta característica se puede observar en varios géneros, incluyendo a *Geotrigona*, *Tetragona* y *Frieseomelitta*.

El género *Cephalotrigona* se caracteriza por incluir abejas de cabeza evidentemente ancha, que en vista frontal excede el ancho del tórax (fig. 1, t). Por su parte, *Oxitrigona* incluye abejas que también tienen cabeza grande en relación al resto del cuerpo, pero con una forma globosa característica, descrita por Ayala (1999) como “inflada y lisa” (fig. 1, v).

El género *Dolichotrigona* frecuentemente se encuentra clasificado como un sub-género del *Trigonsica* (Michener, 2007), sin embargo, en este trabajo se le considera como un género distinto, considerando la revisión del género y clasificación propuesta por Camargo y Pedro (2005, 2008). En Guatemala, el género *Dolichotrigona* está representado únicamente por la especie *Dolichotrigona schulthessi*.

## Conclusiones

A partir de la revisión de una muestra de los especímenes de la Cang, se elaboró una clave taxonómica simplificada para la identificación de los 17 géneros de meliponinos (Apidae:

Meliponini) presentes en dicha colección. Con esta clave, es posible determinar taxonómicamente hasta género los especímenes provenientes del territorio guatemalteco, utilizando características puntuales y relativamente sencillas.

#### Agradecimientos

Este trabajo se realizó a partir de la revisión de especímenes y la identificación de caracteres taxonómicos importantes, como parte del proyecto titulado “Distribución potencial de las abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante posibles escenarios de cambio climático. Agradecemos a la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y al Programa Universitario de Investigación Recursos Naturales y Ambiente (4.8.63.2.06 -2017) por el financiamiento necesario para llevar a cabo el proyecto.

#### Referencias

- Ayala, R. (1999). Revisión de las Abejas sin Aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomológica Mexicana*. 106, 1-123.
- Camargo J.M.F., Pedro S.R.M. (2005). Meliponini Neotropicais: o gênero *Dolichotrigona* Moure (Hymenoptera, Apidae, Apinae). *Revista Brasileira de Entomologia* 49:69–92.
- Camargo J.M.F., Pedro S.R.M. (2008). Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure JS, Urban D, Melo GAR, eds. *Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region – version en línea*, disponible en: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>
- Enríquez E., CL Yurrita, R. Ayala, A. Marroquín, T. Griswold. (2012). Diversidad de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) de Guatemala. (pp. 2-20) En: Cano E. (Ed) *Biodiversidad de Guatemala Vol II*, Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Enriquez, E. & Ayala, R. (2014). Impacto de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, luego de 14 años de su conformación. *Ciencia y Conservación*, 5, 38-47.
- Fuentes y Guzman, F. A., (ca. 1643-1699 o 1700). *Historia de Guatemala: o Recordación Florida / Escrita el Siglo X vii por el Capitán D. Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán; que fue Publicapor primeravez con notas e ilustraciones D. Justo Zaragoza. Madrid: L. Navarro, 1882-83.*

- Marroquín A. (2000). *Sistemática e historia natural de las abejas* (Hymenoptera: Apoidea) de Guatemala (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Michener, C. (2007). *The bees of the world*. USA: Johns Hopkins University press.
- Monroy Escobar, M.C., Armas Quiñónez, A.G., Solórzano Ortiz, E., García Recinos, M.J. (2010). *Diferenciación genética y fenética de Melipona beecheii, Melipona yucatanica y Melipona solani por medio de RAPD'S-PCR y Morfometría en Guatemala*. Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Informe Final de Proyecto FODECYT-05-2008. 75 pp.
- Alain Pauly , Silvia R.M. Pedro , Claus Rasmussen, and David W. Roubik (2013) Stingless Bees (Hymenoptera: Apoidea:Meliponini) of French Guiana. En Vit, P., Pedro, S.R.M., & Roubik D. (Eds). *Pot-Honey: a legacy of stingless bees* (pp. 100-111). New York, USA: Springer, New York. USA.
- Ximenes, F. (1967). *Historia Natural del Reino de Guatemala*. (Escrita originalmente en el año de 1722). Guatemala: Editorial José de Pineda Ibarra
- Yurrita, C., & M. Vásquez. (2013). Taxonomy and distribution of stingless bees in Guatemala. En Vit, P., Pedro, S.R.M., & Roubik D. (Eds). *Pot-Honey: a legacy of stingless bees* (pp. 100-111). New York, USA: Springer, New York. USA.

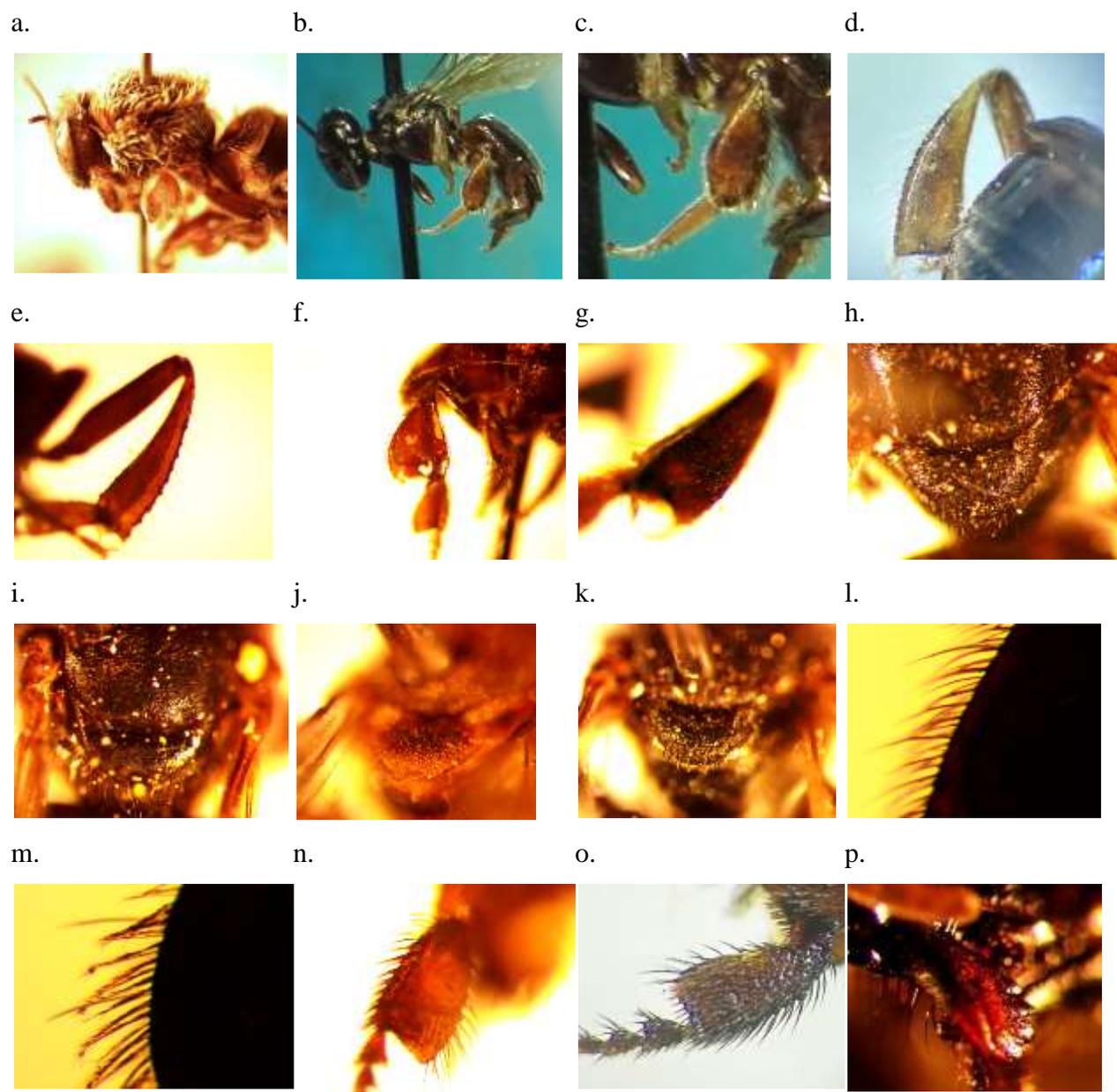
*Tabla 1*

Géneros de meliponinos para Guatemala.

|    | Género                                      |
|----|---|
| 1  | <i>Cephalotrigona</i> (Smith 1854)          |
| 2  | <i>Dolichotrigona</i> Camargo y Moure, 1988 |
| 3  | <i>Frieseomelitta</i> Ihering, 1912         |
| 4  | <i>Geotrigona</i> Moure, 1943               |
| 5  | <i>Lestrimellita</i> Friese, 1903           |
| 6  | <i>Melipona</i> Illiger, 1806               |
| 7  | <i>Nannotrigona</i> Cockerell, 1922         |
| 8  | <i>Oxytrigona</i> Cockerell, 1917           |
| 9  | <i>Paratrigona</i> Schwarz, 1938            |
| 10 | <i>Partamona</i> Schwarz, 1939              |

- 
- 11 *Plebeia* Schwarz, 1938
  - 12 *Scaptotrigona* Moure, 1942
  - 13 *Scaura* Schwarz 1938
  - 14 *Tetragona* Lepeletier and Serville 1828
  - 15 *Tetragonisca* Moure 1946
  - 16 *Trigona* Jurine 1807
  - 17 *Trigonisca* Moure 1950
- 

Fuente: Modificado de Yurrita & Vásquez (2013) y de Pauly, Pedro, Rasmussen, & Roubik (2013).



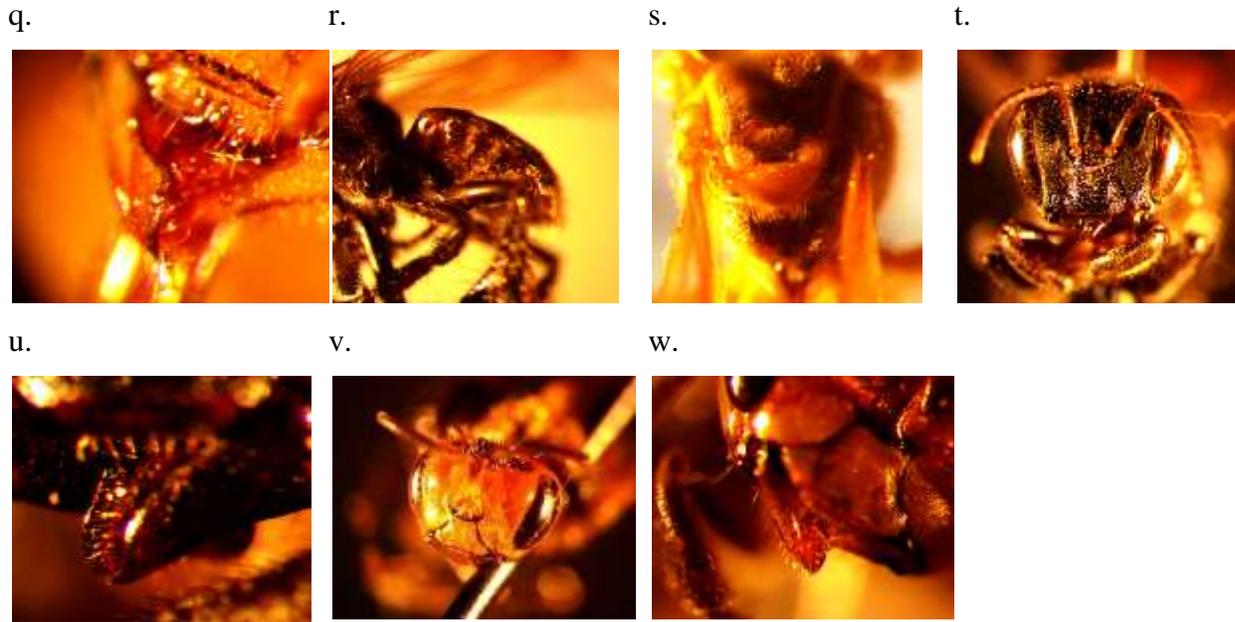
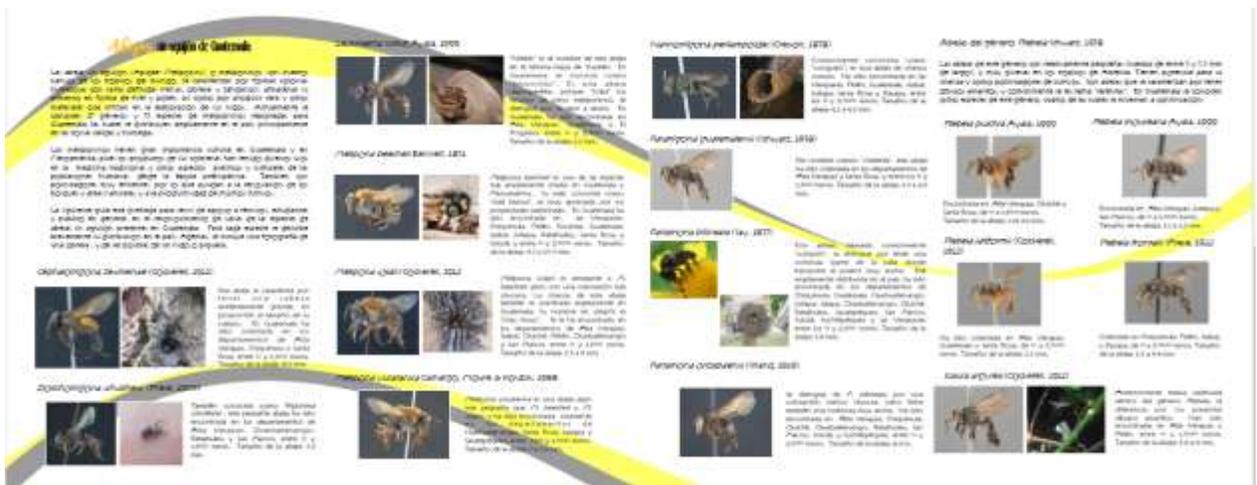


Figura 1. Caracteres taxonómicos importantes para la identificación de los géneros: a. *Melipona beecheii*, pubescencia que cubra la mayor parte del tórax y cabeza, b. *Lestrimelitta niitkib*, obsérvese su cuerpo esbelto y sin pubescencia que cubra por completo el integumento, c. tibia de *L. niitkib*, ensanchada uniformemente (no cóncava), d. tibia de *Plebeia sp.*, con la parte elevada cubierta de *keirotichia* llegando casi al borde posterior, e. corbícula de *Dolichotrigona schulthessi*, obsérvese los pelos implantados en salientes en el borde posterior, f. tibia de *Partamonaorizabaensis*, g. tibia de *Paratrigona guatemalensis*, h. escutelo de *Scaptotrigona sp.*, i. escutelo de *P. orizabaensis*, j. muesca en borde distal del escuto de *Nannotrigona perilampoides*, k. borde del escutelo de *Scaptotrigona sp.*, sin muesca, l. borde posterior de tibia de *Oxytrigona mediorufa*, nótes pelos corbiculares no implantados en salientes y la ausencia de pelos plumosos intercalados, m. borde posterior de tibia de *Geotrigona acapulconis*, nótese los pelos plumosos intercalados, n. basitarso de *Trigona fuscipennis*, nótese área circular sedosa cerca de la base, o. basitarso con pubescencia uniforme en toda la superficie, p. mandíbula de *T. fuscipennis*, con 5 dientes, q. mandíbula de *T. angustula*, con 2 dentículos, r. abdomen de *G. acapulconis*, s. escuto y escutelo de *Tetragona mayarum*, nótese las áreas oscuras, t. cabeza de *Cephalotrigona zexmeniae*, u. mandíbula de *C. zexmeniae*, v. cabeza de *O. mediorufa*, nótese forma globosa, w. mandíbula de *O. mediorufa*, con dos dientes.

## 14. Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Como parte de este proyecto de investigación, se realizó la guía de meliponinos de Guatemala, titulada “Abejas Sin Aguijón de Guatemala”. Esta guía se elaboró en colaboración con científicos del Colegio de la Frontera Sur, Sede de San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

La guía incluye fotografías de especímenes de 24 especies de abejas sin aguijón de Guatemala, así como algunas características distintivas, los departamentos donde han sido reportadas, y sus rangos de altitud. Esta guía se distribuyó durante el X Congreso Mesoamericano sobre Abejas Nativas, el cual es un evento de relevancia internacional, y que fue llevado a cabo en Antigua Guatemala, del 20 al 24 de noviembre de 2017. De esta forma, el documento fue distribuido a más de 300 asistentes y colaboradores. El material seguirá siendo distribuido a distintos sectores interesados durante el próximo año.



Otro producto de este proyecto es el calendario “Abejas de Mesoamérica”. Este calendario del 2018 reúne fotografías de autores guatemaltecos y mexicanos. Tiene como objetivo sensibilizar a la población en general sobre la belleza e importancia de las abejas nativas de la región.



## **15. Agradecimientos**

El equipo de investigación agradece a la Dirección General de Investigación, a través del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente –Puirna, por el financiamiento necesario para la realización de este trabajo de investigación.

Agradecemos también a la Unidad para el Conocimiento, Uso y Valoración de la Biodiversidad, del Centro de Estudios Conservacionistas –Cecon, así como al personal de dicha institución, por el apoyo y compañerismo mostrado durante toda la realización del trabajo. Agradecemos en particular a la Dra. Eunice Enríquez y al Lic. Manolo García, por sus aportes al proceso de investigación, y en especial a los bachilleres Denisse Escobar y Quebin Cassia, por sus invaluable contribuciones, así como su compromiso y duro trabajo para el éxito del proyecto.

## 16. Orden de pago

Listado de todos los integrantes del equipo de investigación

|   |   |
|---|---|
| Contratados por unidad avaladora          | Otros colaboradores                               |
| <b>Lcda. Natalia Escobedo Kenefic</b>     | <b>Lcda. Eunice Enríquez, Lic. Oscar Martínez</b> |
| <b>Lcda. Jéssica Esmeralda LópezLópez</b> | <b>Br. Denisse Escobar, Br. Isabel Cueto</b>      |
| <b>Br. Valeska Jimena Contreras Paz</b>   | <b>Br. QuebinCasia</b>                            |

| Contratados por la Dirección General de Investigación |                                     |                      |           |    |       |
|---|-------------------------------------|----------------------|-----------|----|-------|
| Nombre  | Categoría                           | Registro de Personal | PAGO DIGI |    | FIRMA |
|   |                                     |                      | SI        | NO |       |
| <b>Lcda. Natalia Escobedo Kenefic</b>                 | <b>Coordinadora</b>                 | <b>20070196</b>      | <b>x</b>  |    |       |
| <b>Lcda. Jéssica Esmeralda López López</b>            | <b>Investigadora</b>                | <b>20061049</b>      | <b>x</b>  |    |       |
| <b>Br. Valeska Jimena Contreras Paz</b>               | <b>Auxiliar de investigación II</b> | <b>20170688</b>      | <b>x</b>  |    |       |

**Licenciada Natalia Escobedo Kenefic**

---

**Nombre coordinador del Proyecto de investigación**

**firma**

**Ingeniero Saúl Guerra**

---

**Vo.Bo. Nombre coordinador del Programa Universitario**

**firma**

**Ingeniero Julio Rufino Salazar**

---

**Vo. Bo. Nombre coordinador General de Programas**

**firma**