

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

Informe final

Distribución potencial de las abejas nativas de Guatemala ante posibles escenarios del cambio climático, fase II: *Bombus* (Apidae: Bombini)

Equipo de investigación

Natalia Escobedo Kenefic

Jéssica Esmeralda López López
Darlene Denisse Escobar González.

Guatemala, 29 de noviembre 2018

Instituto de Ciencias Químicas y Biológicas (IIQB)

Centro de Estudios Conservacionistas (CECON)

Dr. Erwin Humberto Calgua Guerra
Director General de Investigación

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

Ing. Agr. Augusto Saúl Guerra Guriérrez
Coordinador de Programa de Investigación

Natalia Escobedo Kenefic
Coordinadora de Investigación

Jéssica Esmeralda López López
Investigadora

Darlene Denisse Escobar González
Auxiliar de Investigación II

Otros colaboradores:

Edson Eduardo Cardona Valenzuela

Quebin Bosbely Casiá Ajché

María Eunice Enríquez Cottón

Pablo José Lee Castillo

Oscar Gustavo Martínez López

Astrid Johana Valladares Areano de Salazar

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2018. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.2.10. durante el año 2018 en el Programa Universitario de Investigación de Recursos Naturales y Ambiente

Financiamiento aprobado por Digi: Q284,685.5

Financiamiento ejecutado: _____

Índice general

1.	Resumen y palabras clave	8
2.	Introducción	9
3.	Planteamiento del problema.....	10
4.	Preguntas de investigación.....	11
5.	Delimitación en tiempo y espacio	12
6.	Marco teórico	12
	Biología y ecología de <i>Bombus</i>	12
	Uso como polinizadores.....	13
	Diversidad y distribución en Guatemala.....	13
	Registros de <i>Bombus</i> en la base de datos de la Cang, Cecon.....	14
	El cambio climático y los abejorros	15
	Estado de conservación de los abejorros de Guatemala.....	15
7.	Estado del arte.....	16
	Antecedentes del estudio de <i>Bombus</i> de Guatemala.....	16
8.	Objetivos	17
	Objetivo general.....	17
	Objetivos específicos	17
9.	Hipótesis	17
10.	Materiales y métodos	18
	10.1. Tipo de investigación	18
	10.2. Actividades	18
	10.2.1. Datos de distribución y diversidad.....	18
	10.2.2. Cambios de distribución geográfica y altitudinal a lo largo del tiempo.....	20
	10.2.3. Distribuciones potenciales en los escenarios predichos del cambio climático	21
	10.2.4. Comparaciones entre distribuciones potenciales actuales y en escenarios predichos del cambio climático.....	23
	10.2.5. Vinculación, difusión y divulgación	23
11.	Resultados	24
	11.1. Obtención de datos.....	24

11.2.	Cambios de la distribución geográfica y altitudinal de las especies del género <i>Bombus</i> de Guatemala, a lo largo de las últimas décadas.....	26
11.3.	Cambios en las distribuciones potenciales actuales de las especies de <i>Bombus</i> de Guatemala en los posibles escenarios de cambio climático predichos para Mesoamérica	28
11.4.	Identificación de variables importantes para predecir la distribución potencial de las especies de <i>Bombus</i> de Guatemala.....	30
12.	Análisis y discusión de resultados	31
12.1.	Cambios de la distribución geográfica y altitudinal de las especies del género <i>Bombus</i> de Guatemala, a lo largo de las últimas décadas.....	31
12.2.	Cambios en las distribuciones potenciales actuales de las especies de <i>Bombus</i> de Guatemala en los posibles escenarios de cambio climático predichos para la región mesoamericana	32
12.3.	Variables que predicen los cambios en las distribuciones potenciales de las especies de <i>Bombus</i> en Guatemala.....	34
13.	Conclusiones	35
14.	Impacto esperado	35
15.	Referencias.....	37
16.	Apéndices.....	40
17.	Agradecimientos	72

Índice de tablas y cuadros

Cuadro 1. Diversidad y Distribución del género <i>Bombus</i> para Guatemala, según Vásquez y colaboradores (2010).....	14
Tabla 1. Modelo lineal generalizado para explicar los cambios de distribución altitudinal de las diez especies del género <i>Bombus</i> registradas en Guatemala a lo largo del tiempo, por décadas, desde 1940 hasta el presente.....	27
Tabla 2. Sitios de Colecta de las giras de campo para colectas de especímenes del género <i>Bombus</i>	40
Tabla 3. Sitios de Colecta donde fueron capturados especímenes del género <i>Bombus</i>	42
Tabla 4. Especies botánicas con las que se registró interacciones entre plantas y abejas	43
Tabla 5. Variables Bioclim (WordClim-Global Climate Data).....	47

Índice de figuras

Figura 1. Datos revisados de abejorros del género <i>Bombus</i> utilizados en los análisis	25
Figura 2. Total de especímenes de abejas colectados durante el proyecto. Se muestran los totales y porcentajes de especímenes de <i>Bombus</i> y de otras especies colectadas.....	25
Figura 3. Frecuencia de visitas a diferentes familias botánicas por abejas del género <i>Bombus</i> ...	26
Figura 4. Distribución de los datos de altitud para cada especie de abejorro, por década.....	29
Figura 5. Cálculo de área de ocupación potencial, en km ² , que cada especie de <i>Bombus</i> perdería en los posibles escenarios de cambio climático.....	30
Figura 6. Cálculo de área de ocupación potencial, en km ² , que cada especie de <i>Bombus</i> ganaría en los posibles escenarios de cambio climático.....	30
Figura 7. Avance de la revisión de registros correspondientes a abejorros del género <i>Bombus</i> , de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala.....	38
Figura 8. Distribución de los datos de altitud de los registros de abejorros del Género <i>Bombus</i> presentes en Guatemala, a lo largo de las décadas.....	46
Figura 9. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus brachycephalus</i> para Mesoamérica.....	48
Figura 10. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus ephippiatus</i> para Mesoamérica.....	49
Figura 11. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus macgregori</i> para Mesoamérica.....	50

Figura 12. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus medius</i> para Mesoamérica.....	51
Figura 13. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus mexicanus</i> para Mesoamérica.....	52
Figura 14. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus pullatus</i> para Mesoamérica.....	53
Figura 15. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus trinominatus</i> para Mesoamérica.....	54
Figura 16. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus variabilis</i> para Mesoamérica	55
Figura 17. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus weisi</i> para Mesoamérica	56
Figura 18. Mapas de distribución potencial de <i>Bombus wilmattae</i> para Mesoamérica	57
Figura 19. Afiche divulgativo Abejorros de Guatemala	70
Figura 20. Cuadri foliar de divulgación e identificación de abejas nativas sin aguijón de Guatemala, segunda edición.....	71

Índice de Apéndices

Apéndice 1. Tablas y figuras correspondientes a la obtención de datos para el proyecto.....	40
Apéndice 2. Datos de distribución altitudinal.....	46
Apéndice 3. Modelado de distribuciones potenciales de las distintas especies de abejorros, 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.....	47
Apéndice 4. Manuscrito científico elaborado como parte de los productos del proyecto.....	58
Apéndice 5. Material divulgativo elaborado para el proyecto.....	70

Distribución potencial de las abejas nativas de Guatemala ante posibles escenarios del cambio climático, fase II: *Bombus* (Apidae: Bombini)

1. Resumen y palabras clave

Resumen

Los abejorros del género *Bombus* son abejas reconocidas por su alta eficiencia como polinizadores, lo que les ha dado gran importancia a nivel mundial, tanto económica como ecológica. El cambio climático es reconocido como una de las principales amenazas para la biodiversidad, y ha sido relacionado con las probabilidades de extinción de las especies actuales. Existen muy pocos estudios que aborden el tema de los efectos del cambio climático en las poblaciones de abejorros, y no se conoce ninguno para las especies de Guatemala. En el presente estudio se realizó una comparación entre los rangos de distribución geográfica y altitudinal de los abejorros de Guatemala a lo largo de las últimas décadas, encontrando una tendencia a desplazarse hacia altitudes mayores. Se describieron los posibles efectos del cambio climático sobre las distribuciones potenciales de las distintas especies de dicho grupo, realizando modelajes basados en los posibles escenarios del cambio climático predichos para Mesoamérica, determinando que las variables relacionadas a la temperatura son las de mayor utilidad para predecir los efectos del cambio en el grupo.

Palabras clave: Abejorros, Mesoamérica, distribución geográfica, altitud.

Abstract

The bees of the genus *Bombus* are known for their high pollination efficiency, which has placed them as very important insects worldwide, both economically and ecologically. Climate change is known to be one of the main threats to biodiversity, and has been related to the extinction probabilities of many species. There are very few studies that address the subject of effects of climate change in bumblebee populations, and none about Guatemalan species is known. This study made a comparison among geographic and altitudinal ranges of the bumblebee species of Guatemala during the last decades, finding a trend towards moving to higher altitudes. Possible effects of climate change on the potential distribution of each species were modeled, based on the climate change scenarios predicted for Mesoamerica. We also identified that temperature related variables may be the most useful to predict the effects of climate change on the group.

Keywords: Bumblebees, Mesoamerica, geographic distribution, altitude.

2. Introducción

Los abejorros del género *Bombus* (Apidae: Bombini) son abejas con aguijón, abundantes en la región holártica, con muchas especies y subgéneros tanto en Eurasia como en Norteamérica. Este género se caracteriza por tener un comportamiento eusocial (verdaderamente social) en la colonia, con excepción de las especies parásitas (Michener, 2007; Vásquez, Yurrita & Escobedo, 2010). Son abejas de tamaño mediano a grande (9 a 22 milímetros de largo), bombiformes y con abundantes setas que les dan una apariencia velluda (Michener, 2007).

Numerosas especies del género *Bombus* son importantes para la economía, porque desempeñan un papel fundamental en la agricultura y consecuentemente en la seguridad alimentaria. La alteración ambiental causada por el cambio climático, ha provocado la disminución de varias especies de polinizadores, lo cual tiene importantes efectos tanto en los ecosistemas naturales como agrícolas. Es probable que la disminución de polinizadores afecte la producción y costos de los cultivos, contribuyendo al desequilibrio alimentario y problemas de salud (Maglianesi, 2016).

La manera en la que el cambio climático afectará la producción agrícola, ecológica y la seguridad alimentaria dependerá de cómo la interacción planta-polinizador se vea influenciada. Ante los retos que este fenómeno plantea para el futuro, es importante llevar a cabo estudios que ayuden a comprender de mejor forma las relaciones entre plantas y polinizadores en cultivos agrícolas, así como los factores que representan una mayor amenaza para las poblaciones de los organismos involucrados. Esta información servirá como base para proponer e implementar estrategias orientadas a revertir el declive de las poblaciones de polinizadores.

La Unidad para el Uso, Conocimiento y Valoración de la Biodiversidad (Unidad de Biodiversidad) del Centro de Estudios Conservacionistas (Cecon), ha enfocado una considerable cantidad de esfuerzos al estudio del género *Bombus*. Estos trabajos iniciaron en el año 2009 con el estudio realizado por Vásquez y colaboradores (2010) en el que se reportan nueve especies para las regiones bióticas chimalteca, volcánica y escuintleca de Guatemala. Durante estos estudios, así como otras colectas entomológicas anteriores, han sido capturados más de dos mil especímenes del género, mismos que forman parte de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang). Esta colección es única en su tipo a nivel centroamericano gracias a la riqueza y diversidad de especies nativas representada en ella.

Este estudio tuvo como objetivos realizar varios análisis que aportarán información importante para comprender los efectos del cambio climático en las poblaciones de abejorros de Guatemala. Para lograr esto, se realizaron colectas de campo que permitieron complementar la información

disponible. Posteriormente se realizaron comparaciones entre los rangos de distribución geográfica y altitudinal de los abejorros de Guatemala a lo largo de las últimas décadas, encontrándose una tendencia de las especies a desplazarse hacia altitudes mayores. Asimismo, se modelaron las distribuciones potenciales de las distintas especies de abejorros, realizando modelajes basados en los posibles escenarios del cambio climático predichos para Mesoamérica. Según los resultados obtenidos, la gran mayoría de las especies de abejorros de Guatemala podrían verse afectadas negativamente por el cambio climático, en cuanto a sus probabilidades de distribución geográfica.

A partir de estos análisis, se obtuvo información de utilidad para comprender el efecto que el cambio climático ha tenido y podrá tener en el futuro sobre los abejorros de Guatemala, determinando que las variables con mayor utilidad para predecir el efecto del cambio climático son temperatura promedio del cuarto más cálido de año y rango de temperatura anual.

Con estos resultados se da continuidad a los estudios sobre los efectos del cambio climático en las abejas nativas de Guatemala, formando parte de una línea de investigación a largo plazo para la comprensión de las amenazas que este fenómeno representa para la biodiversidad nacional.

Asimismo, este trabajo se realizó esperando obtener resultados de alto rigor científico, publicables en revistas indexadas de alto nivel, y que puedan servir de base para la toma de decisiones relacionadas a la conservación de la biodiversidad en el país. Se generó material divulgativo para socializar los resultados del proyecto, ayudando a la concientización de la población en general sobre las amenazas y retos que el cambio climático plantea para la protección de la biodiversidad y el mantenimiento de los recursos ecosistémicos, de los cuales los humanos dependemos.

3. Planteamiento del problema

Los abejorros del género *Bombus* son un grupo de abejas con distribución principalmente holártica. Sin embargo, gracias a la diversidad climática de Guatemala, este grupo está representado en el país con al menos nueve especies. Debido a su alta eficiencia como polinizadores, los abejorros se encuentran entre las especies de insectos con mayor importancia económica, ya que además de ser polinizadores en los sistemas naturales y la agricultura, algunas especies son comercializadas para ser utilizadas como polinizadores en condiciones de invernadero.

Debido a los riesgos de importar especies exóticas, la posibilidad del uso de especies locales es un tema de interés para la comunidad científica y para la tecnología agrícola. Sin embargo, estas

especies han sido identificadas como vulnerables al cambio climático, pues se conocen efectos negativos sobre distintos aspectos de su biología. A pesar de la importancia actual del tema, hasta el momento se han realizado muy pocos estudios sobre el efecto del cambio climático sobre los abejorros, y menos aún sobre las especies de Mesoamérica y Guatemala.

La importancia económica, ecológica y cultural de las abejas nativas, y en particular del género *Bombus*, hace necesario que se realicen estudios con alto rigor científico que produzcan información que sirva de herramienta en la toma de decisiones relacionadas a su conservación, así como la implementación de medidas de mitigación de los efectos del cambio climático a nivel regional.

Tomando en cuenta lo anterior, este estudio está planteado como una continuación del trabajo iniciado en el proyecto financiado por Digi titulado “Distribución potencial de las abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante posibles escenarios de cambio climático” (partida 4.8.63.2.06, 2017) en el que se realizó una evaluación de los posibles efectos del cambio climático sobre las abejas sin aguijón, otro grupo de abejas con gran importancia ecológica, económica y cultural.

4. Preguntas de investigación

- a. ¿Cómo ha cambiado la distribución geográfica y altitudinal de las especies de *Bombus* de Guatemala en las últimas décadas?
- b. ¿Cómo podrían cambiar las distribuciones potenciales de las especies de *Bombus* de Guatemala en los posibles escenarios de cambio climático predichos para la región mesoamericana?
- c. ¿Qué variables pueden ser utilizadas para predecir los cambios en la distribución potencial de las especies de *Bombus* de Guatemala?

5. Delimitación en tiempo y espacio

Delimitación temporal: El proyecto se llevó a cabo durante el año 2018. La fase de campo se realizó en los meses de abril, mayo, junio, agosto y octubre del presente año, la revisión y el análisis de la información se llevó a cabo de febrero a octubre.

Delimitación espacial: Este estudio se realizó con información almacenada en la base de datos de la Cang, complementada con información de colectas realizadas durante el estudio. El trabajo de campo se enfocó en regiones de baja altitud de Guatemala (aproximadamente de los 0 a 1,000 msnm), principalmente en el oriente del país y los departamentos de Petén e Izabal. El trabajo de gabinete se realizó en las instalaciones de Cecon, en la ciudad de Guatemala.

6. Marco teórico

Biología y ecología de *Bombus*

Los abejorros son insectos pertenecientes al orden Hymenoptera, suborden Apocrita, serie Aculeata, superfamilia Apoidea, familia Apidae, tribu Bombini, de la cual *Bombus* es el único género (Michener, 2007). Los abejorros del género *Bombus* son más frecuentes en climas templados a fríos. Por ser especies principalmente anuales, los nidos son formados inicialmente por reinas que alimentan a sus primeras larvas con polen, mismas que se convertirán en obreras y se ocupan de los distintos trabajos de la colonia. Los machos y nuevas reinas serán producidas posteriormente (Michener, 2007).

Organización social: Los abejorros presentan una organización social donde se distinguen castas definidas: reina, obrera y machos. Las hembras obreras son estériles y se encargan de colectar alimento, así como de cuidar a las crías. Los machos se encargan de fecundar a la hembra (Goulson, 2010).

Sitios de nidificación: Los abejorros construyen sus nidos bajo la tierra, en cavidades abandonadas por ratones u otros animales, o en agujeros presentes en el suelo al pie de plantas. Para aprovisionar y adecuar la cavidad del nido, utilizan materiales como musgo, pelo de animales y grama seca (Llorente, 2005; Goulson, 2010).

Termorregulación: Los abejorros poseen una temperatura interna similar a la del medio ambiente; suelen ser más abundantes en las regiones de climas fríos soportando rangos de temperatura entre 5° y 25°C. Poseen un mecanismo para generar calor en los músculos y volar en

búsqueda de alimento, por lo que no dependen directamente de la luz solar para llevar a cabo este proceso (Llorente, 2005).

Uso como polinizadores

Los abejorros del género *Bombus* son considerados como polinizadores altamente eficientes, debido a su comportamiento de vibración (*buzz pollination*), en especial en las especies de solanáceas, como el tomate, que requieren de vibración para la apertura de las anteras y la liberación del polen (Aldana, 2017).

El uso de abejorros como polinizadores criados comercialmente, ha dado lugar a una importante industria que exporta colonias tecnificadas a distintos países del mundo. Las dos especies más comercializadas son *B. terrestris*, nativo de Europa, y *B. impatiens*, nativo de Norte América. Guatemala está entre los países que importan colonias de *B. impatiens* para su uso como polinizadores de cultivos. Hay reportes de importaciones de estos abejorros desde la década de los 90, sin embargo, no hay información sobre su estado de establecimiento en el país (Morales, 2007). Por otra parte, se ha realizado al menos una evaluación de su uso como polinizador en condiciones controladas (Pineda, 2014).

El servicio forestal de los Estados Unidos de Norteamérica (Usda Forest Services) alerta sobre los riesgos de importar especies exóticas para ser utilizados como polinizadores, aún en condiciones de invernadero, ya que hay información sobre establecimientos de colonias “ferales”, así como de transmisión de enfermedades a especies nativas (Inoue, Yokoyama & Washitani, 2008)

Diversidad y distribución en Guatemala

La distribución de abejorros del género *Bombus* se concentra en zonas templadas, alcanzando su máxima abundancia y diversidad en Europa y Asia, donde hay muchas más especies y subgéneros que en Norteamérica. Su distribución depende de dos factores: clima y distribución de diferentes comunidades vegetales. El aumento de la temperatura y calentamiento global, está haciendo que la distribución de los abejorros cambie, ya que se ven obligados a migrar a mayores latitudes. Por otro lado, los humanos están afectando las áreas de distribución original, ya que en su creciente urbanización limpian extensas áreas acabando con comunidades vegetales claves para la existencia de los abejorros, obligándolos a migrar a otros lugares (Llorente, 2005).

Los abejorros son uno de los grupos más relevantes por su diversidad, abundancia y biología. En Guatemala los estudios sobre diversidad y distribución de abejorros son muy pocos, Marroquín (2000) y Abrahamovich, Díaz y Morrone (2004) reportaron 12 especies para Guatemala, de las 43 reportadas para México, Centro y Sur América (Michener, 2007). La primera investigación de

distribución y diversidad de abejorros, realizadas con colectas sistemáticas en Guatemala fue realizada por Vásquez y colaboradores (2010), quien reportó 8 especies y 1 morfo especie de abejorros (Cuadro 1). Este trabajo fue enfocado en las regiones bióticas Chimalteca, Volcánica y Escuintleca, según Stuart (1942).

Cuadro 1.

Diversidad y Distribución del género Bombus para Guatemala, según Vásquez y colaboradores (2010).

Especie	Distribución	Rango altitudinal msnm
<i>Bombus (fervidobombus) pullatus</i> Franklin 1913	STL, SM	177 – 763
<i>Bombus (fervidobombus) mexicanus</i> Cresson 1878	BM	1403 – 2125
<i>Bombus (Dasybombus) macgregori</i> Labougle y Ayala 1983	BM	2500 – 3038
<i>Bombus (brachycephalibombus) brachycephalus</i> Harddirsén 1988	BM	2498 -3038
<i>Bombus (Psithytis) variabilis</i> Cresson 1872	SStH	1601 – 3260
<i>Bombus (Pyrobombus) ehippiatus</i> Say 1837	BM, SM	1739 – 3500
<i>Bombus (pyrobombus) wilmattae</i> Cockerell 1912	BM, SM	1020 – 3500
<i>Bombus (fervidobombus) medius</i> Cresson 1863	BS, TH	Hasta 736

BM: Bosque de montaña, SM: Selva montaña, SStH: selva subtropical húmeda, STL: Selva tropical lluviosa.

Registros de *Bombus* en la base de datos de la Cang, Cecon

La Colección de Abejas Nativas de Guatemala, Cang, cuenta actualmente con más de 20,000 especímenes pertenecientes a las cinco familias de abejas presentes en Guatemala (Andrenidae, Colletidae, Megachilidae, Halictidae, y Apidae). Esta colección es un referente centroamericano que ha sido consultada por científicos de distintas partes del mundo. (Enríquez & Ayala, 2014). La base de datos de la colección cuenta con aproximadamente 2,200 registros de especímenes del

género *Bombus*. Estos datos corresponden en buena medida al trabajo realizado por Vásquez y colaboradores (2010), por lo que la mayoría de información con la que se contaba antes de la realización de este trabajo corresponde a la cadena volcánica, Sierra de los Cuchumatanes, y otras áreas montañosas del país, y las áreas donde se distribuyen las especies de altitudes bajas se encontraban poco representadas.

El cambio climático y los abejorros

El cambio climático causa fuertes impactos sobre las especies de abejorros (Kerr et al., 2015). Las poblaciones de abejorros, al igual que otros polinizadores, están sufriendo declives a escala global. Se considera que la causa de la disminución de las poblaciones, está también relacionada con cambios en el uso del suelo, que afectan la disponibilidad de recursos florales. Sin embargo, el cambio climático podría tener un papel importante en el declive de las poblaciones de abejorros, debido a su posible efecto en la distribución de los recursos florales de los que se alimentan, en especial en el caso de las especies con menor tolerancia climática (Fernández & Emile, 2013).

No se han encontrado estudios que se enfoquen en los efectos del cambio climático en las especies de Guatemala o Mesoamérica, con excepción del estudio de Duennes, Lozier, Hines y Cameron (2012), se sugiere que los cambios climáticos ocurridos en el pleistoceno, luego del aislamiento geográfico, pudieron contribuir a la diversificación morfológica y genética de la especie *B. ephippiatus*.

Estado de conservación de los abejorros de Guatemala

El estado de conservación de 8 de las especies reportadas por Vásquez y colaboradores (2010), fue evaluado y clasificado dentro de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en años recientes. Solamente *B. pullatus* aparece como “datos deficientes”. *B. macregori* y *B. ephippiatus* (incluyendo a *B. wilmattae* como parte del complejo) fueron evaluados como de “menor preocupación” (least concern), mientras que *B. medius* y *B. mexicanus* fueron clasificados como “vulnerables”, *B. brachycephalus* fue clasificado como “amenazado”, y *B. variabilis* como “críticamente amenazado”. Esta evaluación sugiere que más de la mitad de las especies con datos suficientes para su clasificación, se encuentran bajo algún grado de amenaza (Duennes & Vandame, 2015; Escobedo, 2015a; Escobedo, 2015b; Hatfield et al., 2016; Pineda Diez de Bonilla, Vandame, & Martínez, 2015; Vandame, Martínez-López & Pineda Diez de Bonilla, 2015a, 2015b).

7. Estado del arte

Antecedentes del estudio de *Bombus* de Guatemala

Hasta el momento los estudios realizados sobre abejorros del género *Bombus* en el país son escasos y no se conoce ninguno enfocado al estudio de abejorros y cambio climático.

Abrahamovich y colaboradores (2004) realizaron una revisión del género *Bombus* en la cual mencionan doce especies para Guatemala. Martínez (2010) determinó la riqueza de abejorros del género *Bombus* en tres pisos altitudinales de los volcanes Tajumulco y Tacaná, reportando una riqueza de 4 especies para los volcanes. Vásquez y colaboradores (2010) determinaron la distribución y diversidad de abejorros del género *Bombus* en el área biótica Chimalteca, Volcánica y Escuintleca, reportando 8 especies identificadas y 1 morfoespecie. El estudio de Escobedo, Dardón, López, Martínez y Cardona (2012), reportó cuatro especies para las áreas agrícolas de Sacatepéquez y Chimaltenango. Dardón, Yurrita, Landaverde, Vásquez y Escobedo (2015) realizaron una evaluación e implementación en Guatemala del Código de Barras de la Vida para resolver conflictos taxonómicos en abejorros, generando un listado de los abejorros presentes en Guatemala, citados de la siguiente forma: *B. brachycephalus*, *B. macgregori*, *B. variabilis*, *B. medius*, *B. mexicanus*, *B. pullatus*, *B. weisi*, *B. trinominatus*, *B. ephippiatus* y *B. wilmattae*. Las dos últimas especies resultaron ser muy cercanas genéticamente por lo que se cree que pertenecen a un mismo complejo, por lo que sus nombres serían una sinonimia.

En cuanto al estudio de las abejas y cambio climático en Guatemala, durante el 2017 fue ejecutado por la Unidad de Biodiversidad de Cecon el proyecto Digi titulado “Distribución potencial de las abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante posibles escenarios de cambio climático”. Este estudio fue planteado como un trabajo pionero que sirviera de base a otros estudios similares.

8. Objetivos

Objetivo general

- Describir los posibles efectos del cambio climático sobre las distribuciones potenciales de los abejorros del género *Bombus* de Guatemala.

Objetivos específicos

- Describir los cambios la distribución geográfica y altitudinal de las especies del género *Bombus* de Guatemala, a lo largo de las últimas décadas.
- Describir los cambios en las distribuciones potenciales actuales de las especies de *Bombus* de Guatemala en los posibles escenarios de cambio climático predichos para la región mesoamericana.
- Identificar las variables que pueden ser utilizadas para predecir cambios en las distribuciones potenciales de las especies de *Bombus* de Guatemala.

9. Hipótesis

Las distribuciones potenciales de las especies de abejorros del género *Bombus* de Guatemala se verán afectadas por el cambio climático, según los escenarios predichos para la región mesoamericana.

10. Materiales y métodos

10.1. Tipo de investigación

10.1.1. Enfoque de la investigación: Cuantitativo.

10.1.2. Alcance: Descriptivo y predictivo.

10.2. Actividades

10.2.1. Datos de distribución y diversidad

Técnicas e Instrumentos

Métodos: Colectas sistemáticas de abejas, enfocadas en las áreas geográficas de Guatemala de donde existen pocos registros.

Técnicas: Se realizaron colectas sistemáticas de abejas en las regiones de donde hay ausencia o escasos registros, principalmente a lo largo de la costa del Pacífico, así como los departamentos de Izabal y Petén. La captura de especímenes se realizó de manera observacional en vuelo, y de manera activa, utilizando redes entomológicas, se capturaron en vuelo o posados en las flores. Los especímenes colectados se colocaron en cámaras letales (provistas con cianuro o acetato de etilo), luego se colocaron en frascos plásticos con información detallada de colecta, para ser curados posteriormente. La curación consiste en montar los especímenes con alfileres entomológicos y etiquetarlos, para luego ser identificados con la ayuda de estereoscopios y claves taxonómicas. La información de cada individuo se ingresó a la base de datos de la Cang.

Registro de interacciones: se registró las interacciones entre las distintas especies de abejas y plantas a las que visitan, tomando muestras de especímenes botánicos de las plantas que las abejas visitaron al momento de ser colectadas, para su posterior identificación taxonómica.

Instrumentos: Se registró la hora, coordenadas (tomadas con GPS), información sobre el clima, planta con la que presentó interacción o comportamiento de la abeja al ser colectada y otras observaciones para cada evento de colecta, se anotaron en libretas de campo. Adicionalmente, los especímenes colectados se identificaron con etiquetas provisionales que contienen sus datos de colecta específicos (Lugar de colecta, colector, fecha, sitio exacto de colecta, comportamiento, colecta en vuelo o en planta, número correlativo, tipo de cobertura vegetal, número de transecto). La identificación taxonómica de abejorros se realizó utilizando claves de Apoidea (Michener,

2007; Labougle, 1990), y la identificación de plantas se realizó utilizando las claves disponibles en el proyecto Flora Mesoamericana (2018).

Recolección de datos

Universo: Abejorros del género *Bombus* de Guatemala.

Muestra: Se realizaron muestreos dirigidos (a conveniencia) con el fin de complementar la información de dicha base correspondiente a las áreas geográficas del país de donde existe información escasa (ver Apéndice 1, Tabla 2). Los sitios de colecta se eligieron según se identificó la ausencia de datos en áreas donde se espere que las especies de *Bombus* puedan distribuirse (Vásquez et al., 2010). Dado que para los modelos de distribución potencial se utilizan datos de presencia, el esfuerzo de muestreo se midió en tiempo efectivo de colecta. Se evaluó si el esfuerzo de colecta es suficiente al comparar entre sitios la relación entre esfuerzo de colecta y especímenes colectados. Se utilizaron también los registros de colectas previas de *Bombus* presentes en la base de datos de la Cang.

Criterios de inclusión y exclusión: Se utilizó la totalidad de los registros existentes en la base de datos de la Cang, previa corroboración y depuración de la información, incluyendo los registros nuevos que se generaron a partir de este estudio. En el caso de caso de otras bases de datos, los registros fueron revisados y depurados, 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). En el caso de que los especímenes estaban disponibles, se realizó una corroboración de su identidad taxonómica e información de colecta.

Muestreo de campo: La metodología de muestreo se describe en la sección de “técnicas”. El esfuerzo de muestreo se midió en tiempo, con colectas de una hora de duración en cada punto de muestreo. Se realizaron caminamientos en los alrededores, buscando activamente los especímenes. Se realizó un total de 54 puntos de muestreo, siempre considerando los horarios de mayor actividad de las abejas (9:00 a 15:00 horas). Se procuró dejar una distancia mínima de cinco kilómetros de distancia entre puntos de muestreo.

Procesamiento de datos y plan de análisis

Los especímenes colectados, curados e identificados se ingresaron a la base de datos de la Cang. Se cuantificó la abundancia (número de individuos) colectados en cada muestreo, y cuántos pertenecían al género *Bombus*.

10.2.2. Cambios de distribución geográfica y altitudinal a lo largo del tiempo

Técnicas e Instrumentos

Métodos: Pruebas estadísticas sobre la media y varianza de las altitudes registradas para cada especie, en los distintos períodos de tiempo a comparar.

Técnicas: Se realizó una revisión detallada de los especímenes del género *Bombus* que forman parte de la Cang, así como de los registros incluidos en la base de datos de la misma. Se corroboró la información de la base de datos con los especímenes *voucher*, y se revisó la información de colecta e identificación taxonómica de cada registro. Se hicieron búsquedas en bases de datos disponibles en línea o consultas a otras colecciones, a modo de disponer de la mayor cantidad de registros de dos o más décadas de antigüedad. Cada registro se revisó para evaluar la confiabilidad de la información y decidir si sería incluido en los análisis.

Se calculó los promedios de altitud de los registros de cada especie durante períodos de aproximadamente una década, o de la duración que se considere relevante según la información disponible. Se realizaron análisis de varianza u otras pruebas estadísticas adecuadas para la distribución de los datos, para identificar cambios significativos ($\alpha = .05$) en los rangos geográficos y altitudinales a lo largo de los periodos establecidos.

Instrumentos: La información necesaria se obtuvo de bases de datos con registros georreferenciados de las especies, principalmente de la Cang (incluyendo los registros nuevos que sean producto de este estudio), así como de las bases de datos de biodiversidad en línea que cumplieron con las condiciones necesarias.

Procesamiento de datos y plan de análisis

Se realizó una revisión detallada de la información, incluyendo la obtenida en las colectas de campo de este estudio. Según la disponibilidad de datos de cada especie, se definieron períodos de tiempo a comparar, desde los datos más antiguos disponibles hasta los actuales. Para los mismos períodos de tiempo se calcularon promedios de altitud de los registros de cada especie, u otros parámetros estadísticos sobre los cuales se realizaron pruebas de hipótesis ($\alpha = .05$), utilizando análisis de varianza cuando se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, o pruebas de Welch y de Kruskal-Wallis, según correspondiera.

10.2.3. Distribuciones potenciales en los escenarios predichos del cambio climático

Técnicas e Instrumentos

Métodos: Modelaje de nicho ecológico, según factores ambientales actuales y predichos para la región mesoamericana.

Técnicas: Se utilizaron como referencias de distribución potencial actual los modelos generados por Vásquez y colaboradores (2010). La información actualizada y los datos colectados durante este proyecto se utilizaron para revisar y actualizar estos modelos. Se utilizaron las variables climáticas (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005) asociadas al complejo de especies constituido por *Bombus* de Guatemala. A partir de un análisis de correlación de las variables empleando el programa PAST (Hammer, Harper & Ryan, 2001). Se eliminaron las variables altamente correlacionadas ($r > 0.80$) y se seleccionaron aquellas que sean relevantes para la interpretación biológica del conjunto de especies.

Los modelos se generaron con el algoritmo de máxima entropía MaxEnt, utilizando el paquete informático diseñado para el mismo (Phillips, Anderson & Schapire, 2006). Ya que MaxEnt utiliza parte de los datos (registros) para construir los modelos y parte para comprobarlos, el método se repitió para cada especie con distintos porcentajes asignados del uso de los datos. Los modelos de distribuciones potenciales predichas según posibles escenarios de cambio climático, se generaron de forma semejante, utilizando capas de variables climáticas estimadas para distintos escenarios de concentración de gases futuros realizados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) en su última actualización en 2014. Las proyecciones se realizaron con base en las variables climáticas con mayor contribución a los modelos de distribución potencial actual utilizando el algoritmo de máxima entropía. Para el proyecto se utilizaron los escenarios con gases de efecto invernadero (GEI) de nivel moderado (RCP4.5, RCP6) y alto GEI (RCP8.5). Para cada modelo se obtuvo el estadístico de Jackknife para determinar la contribución relativa de cada variable al modelo, así como la curva ROC/AUC (Area Under Curve) para evaluar la predictibilidad de cada modelo. Los modelos elegidos se exportaron para la elaboración de mapas, utilizando el software para sistemas de información geográfica ArcGis 10.4 (ESRI, 2016).

Instrumento: La información de las capas de variables ambientales actuales y de todos los escenarios de cambio climático utilizados en la investigación se obtuvieron del sitio de Worldclim en el que se encuentran de acceso libre. Los registros se obtuvieron de la Colección de Abejas

Nativas de Guatemala, del sitio de Global Biodiversity Facility Information (GBIF.org) y del Portal de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Procesamiento de datos y plan de análisis

Se utilizaron todos los registros disponibles en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, de Global Biodiversity Facility Information (GBIF.org) y del Portal de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se utilizaron solo los sitios georreferenciados y con datos de colecta. Se realizó una revisión de las coordenadas geográficas reportadas por medio de software de información geográfica.

Se utilizó un análisis de correlación utilizando las variables climáticas (Hijmans et al., 2005) en cada especie del género *Bombus* (Bombini) 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, se utilizó el método de máxima entropía, por medio del paquete MaxEnt, para estimar la probabilidad (o idoneidad) 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 (Phillips et al., 2006).

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

Posteriormente se utilizó el mismo software para crear proyecciones de las probabilidades de ocurrencia de las especies en los 6 escenarios de cambio climático utilizados. Las proyecciones utilizan el modelado generado y la contribución calculada de cada variable para calcular por medio del algoritmo de máxima entropía, la probabilidad de presencia de condiciones adecuadas de la especie utilizando una nueva capa climática. Estas proyecciones se realizaron utilizando las capas de variables climáticas de cada escenario futuro.

Se utilizaron herramientas de información geográfica para visualizar los modelados y designar y diferenciar rangos de probabilidad de presencia de cada especie de abejorro en la región de Mesoamérica.

10.2.4. Comparaciones entre distribuciones potenciales actuales y en escenarios predichos del cambio climático

Técnicas e Instrumentos

Métodos: Relaciones y/o diferencias cuantificables entre variables geoespaciales (área) de las distribuciones potenciales actuales y las predichas.

Técnicas: Se utilizaron herramientas de análisis espacial de SIG para obtener los valores de áreas correspondientes a las distribuciones potenciales obtenidas.

Instrumentos: La información utilizada se obtuvo a partir de los modelos generados con los procedimientos realizados para el objetivo anterior.

Procesamiento de datos y plan de análisis

Una vez generados los mapas con áreas de distribución potencial actual y predicha, se utilizaron herramientas de SIG para extraer los valores del área en km² que se perdería, se ganaría y la que permanecería igual, para cada especie. La pérdida de área se calculó utilizando hojas de cálculo de Excel. Las pérdidas y ganancias potenciales para cada especie en cada escenario se representaron utilizando gráficas de barras.

10.2.5. Vinculación, difusión y divulgación

La Unidad de Biodiversidad de Cecon cuenta con el apoyo y asesoría constante de taxónomos expertos en abejas, entre ellos el Dr. Ricardo Ayala de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Dr. Remy Vandame del Colegio de la Frontera Sur, sede de San Cristóbal de las Casas, México, y el Dr. Richard Hatfield de la Sociedad Xerces y del grupo de expertos de abejorros de la UICN. Se contó con el apoyo de Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) por medio de la iniciativa de "Creación de capacidades para el establecimiento del Sistema Nacional de Información sobre Diversidad Biológica", en forma de apoyo en el manejo de bases de datos para biodiversidad. Asimismo, los resultados de este trabajo son de utilidad en la elaboración y

propuesta de políticas de manejo de recursos naturales, seguridad alimentaria y conservación biológica, para beneficio de instituciones como el Conap, el Instituto Nacional de Bosques (Inab) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (Maga).

11. Resultados

11.1. Obtención de datos

Revisión de registros de colecciones

Se realizó la revisión y corroboración de 1324 registros de la Cang correspondientes a 10 especies de abejorros del género *Bombus* (Apéndice 1, Figura 7). También se obtuvo la información de 291 registros en línea, a partir de las bases de datos en línea GBIF (por sus siglas en inglés) y del Portal de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. El total de registros obtenidos por especie se muestra en la Figura 1.

Colectas entomológicas

Para complementar los datos de colecciones, se realizaron colectas de especímenes en los sitios en donde había vacíos de información, realizando muestreos en 54 localidades de 14 departamentos del país (Tabla 2). Durante las colectas se logró coleccionar especímenes del género *Bombus* en 30 localidades, de los departamentos de Guatemala, Sololá, Totonicapán, Zacapa, Chiquimula, Quiché, Huehuetenango, Santa Rosa, Alta Verapaz, Sacatepéquez, Jutiapa y Jalapa (Tabla 3).

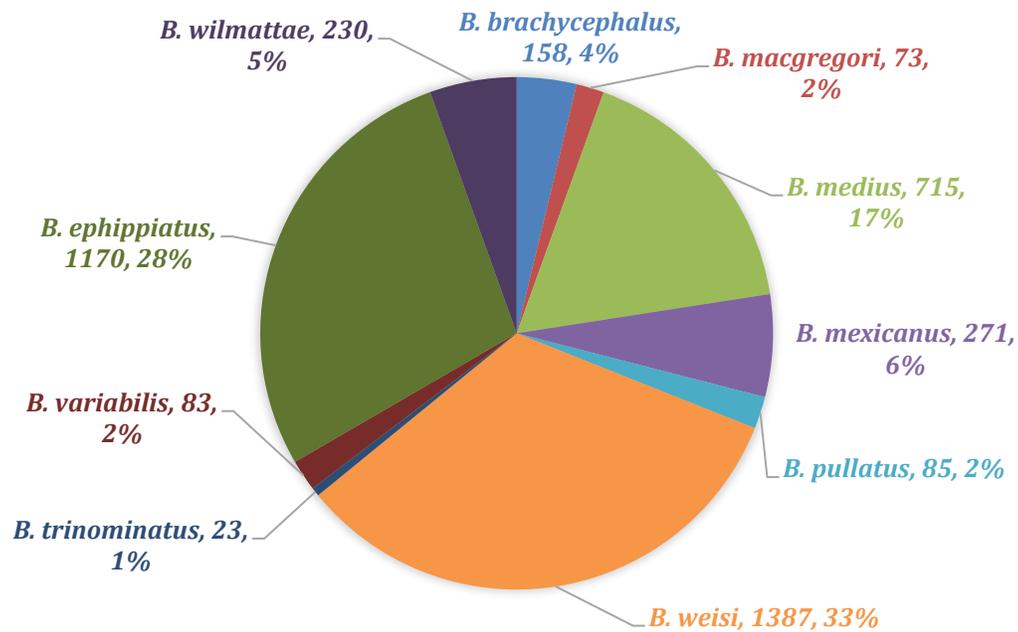


Figura 1. Datos revisados de abejorros del género *Bombus* utilizados en los análisis, obtenidos de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang) y de bases de datos de colecciones biológicas de libre acceso en línea (GBIF y UNAM). Se revisaron un total de 4195 registros.

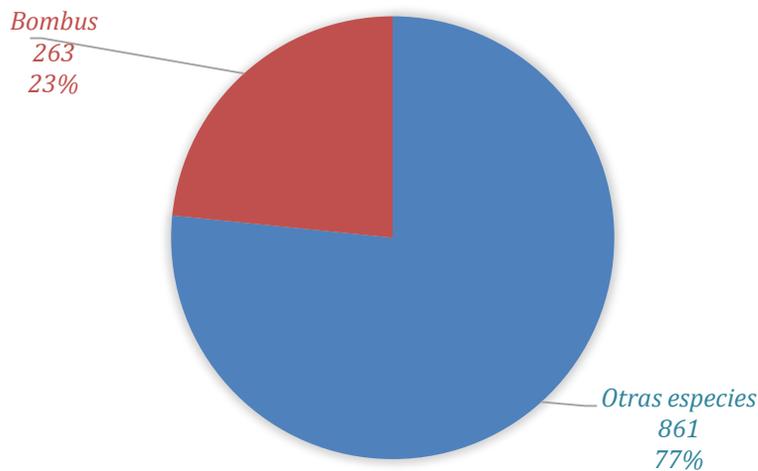


Figura 2. Total de especímenes de abejas colectados durante el proyecto. Se muestran los totales y porcentajes de especímenes de *Bombus* y de otras especies colectadas.

Registros de interacciones abeja-planta

Como parte de los datos obtenidos en las colectas de campo, se documentó las interacciones de las abejas colectadas con la vegetación circundante; registrando las visitas florales para 97 especies de plantas, dentro de 35 familias botánicas (Apéndice 1, Tabla 4). La familia más representativa

fue Asteraceae con 39 especies vegetales visitadas; así mismo se documentó las interacciones entre las plantas y abejas del género *Bombus*, mostrando interacción con 25 de las 35 familias botánicas documentadas; presentándose en este caso la mayor frecuencia de visitas para la familia Asteraceae, seguido por la familia Lamiaceae, Caprifoliaceae, Boraginaceae, Solanaceae y Lythraceae (Figura 3).

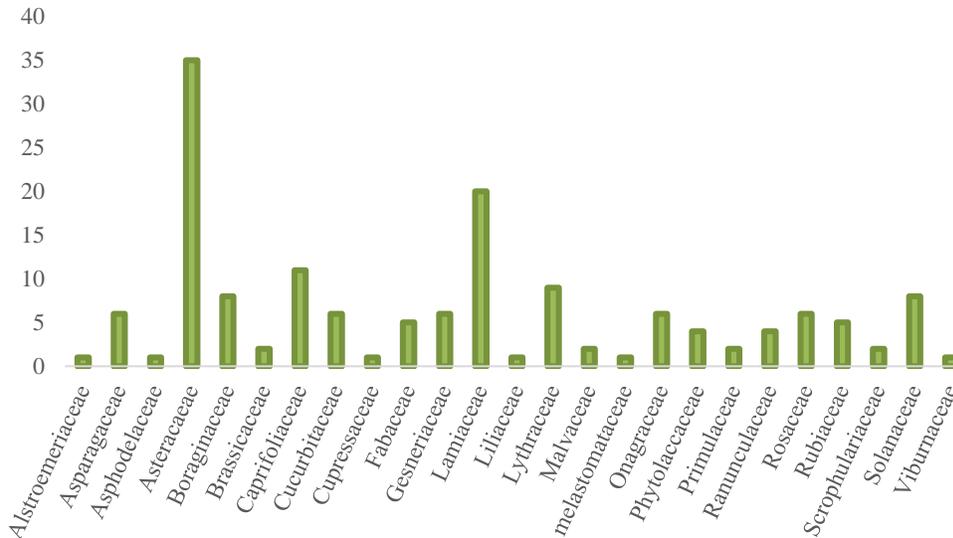


Figura 3. Frecuencia de visitas a diferentes familias botánicas, por abejas del género *Bombus*.

11.2. Cambios de la distribución geográfica y altitudinal de las especies del género *Bombus* de Guatemala, a lo largo de las últimas décadas

Cambios en distribución altitudinal

Se obtuvo un total 742 registros de altitud, de los cuales 45 datos corresponden a la especie *B. brachycephalus*, 225 a *B. ephippiatus*, 23 a *B. macgregori*, 26 a *B. medius*, 41 a *B. mexicanus*, 36 a *B. pullatus*, 67 a *B. wilmattae*, 36 a *B. variabilis*, 10 a *B. trinominatus*, y 233 a *B. weisi*. La mayor parte las especies, con excepción de *B. weisi*, *B. pullatus* y *B. mexicanus*, presentaron muy pocos datos antiguos, siendo que la mayoría corresponden a la década de los 80 y posteriores (Apéndice 2, Figura 8).

Los resultados del modelo lineal generalizado, detallados en la Tabla 2, indican un efecto significativo del tiempo, dado por la estimación correspondiente a la década del 2010 en adelante.

Así mismo, las estimaciones correspondientes a todas las especies con excepción de *B. pullatus*, contribuyen significativamente al modelo.

La figura 4 muestra la distribución de los datos de altitud por década y por especie, siendo que para la mayoría de casos no se cuenta con registros para todas las décadas, o se cuenta con registros escasos. En el caso de *B. brachycephalus* (Figura 4a) se obtuvo una diferencia significativa en el aumento de altitud ($p < .001$) entre la década de 1960 y la del 2000 ($p = .486$) y entre las décadas de 1950 y 1960 y la del 2010 ($p = .0489$ y $p = .0018$). Para *B. ephippiatus* ($p < .001$) y *B. wilmattae* ($p < .037$) también se encontró diferencia significativa entre las décadas del 2000 y 2010 respecto a las anteriores ($p < .01$) (Figuras 4b y 4g). Para los registros de *B. pullatus* (Figura 4f) se encontró diferencia significativa entre la década del 2010 y las anteriores ($p < .001$). Para *B. weisi* (Figura 4j) se encontró una diferencia significativa ($p < .02$) entre la década de 1990 y las décadas del 2000 y 2010 ($p = .01$ y $p = .02$, respectivamente) y entre las décadas del 2000 y 2010 ($p = .02$). En cuanto a las otras especies evaluadas, *B. macgregori* (Figura 4c), *B. medius* (Figura 4d), *B. mexicanus* (Figura 4e), *B. variabilis* (Figura 4h) y *B. trinominatus* (Figura 4i), las pruebas no permitieron encontrar diferencias significativas en cuanto a los datos de altitud entre décadas.

Tabla 1

Modelo lineal generalizado para explicar los cambios de distribución altitudinal de las diez especies del género Bombus registradas en Guatemala a lo largo del tiempo, por décadas, desde 1940 hasta el presente. Distribución: normal, función de enlace: identidad, método de estimación: máxima verosimilitud

Respuesta	AICc	DF	χ^2	L-R χ^2	Prob > χ^2	
Altitud	13004.162	Modelo				
		Completo	16		597.1971	<.0001*
		Pearson	825	2.406e+8		0.0000*
		Deviance	825	2.406e+8		0.0000*
		Efectos				
		Década	7		56.286664	<.0001*
		Especie	9		436.78554	<.0001*
		Parámetros				
			Estimación	SE	L-R χ^2	Prob > χ^2
		Intercepto	1757.4267	313.30089	30.891574	<.0001*
Década (1950-1940)	-92.29228	343.71112	0.0720983	0.7883		
Década (1960-1950)	-327.0144	189.70619	2.9662349	0.0850		
Década (1970-1960)	431.84667	234.01469	3.3985695	0.0653		
Década (1980-1970)	-65.03286	212.01758	0.0940801	0.7591		

Década (1990-1980)	53.19601	81.170246	0.4293917	0.5123
Década (2000-1990)	307.3126	77.174944	15.709071	<.0001*
Década (2010-2000)	-56.36563	59.590882	0.8942078	0.3443
<i>B. brachycephalus</i>	87.736401	79.023378	1.2317732	0.2671
<i>B. ephippiatus</i>	243.28408	43.720182	30.408682	<.0001*
<i>B. macgregori</i>	468.7207	104.12212	20.024779	<.0001*
<i>B. medius</i>	-746.4267	54.026271	172.04412	<.0001*
<i>B. mexicanus</i>	-586.6212	80.982442	50.90262	<.0001*
<i>B. pullatus</i>	-1133.914	85.417909	160.00871	<.0001*
<i>B. trinominatus</i>	1042.3135	154.37421	44.396361	<.0001*
<i>B. variabilis</i>	214.02624	85.528186	6.2388646	0.0125*
<i>B. mexicanus</i>	334.34344	43.94607	55.979465	<.0001*

11.3. Cambios en las distribuciones potenciales actuales de las especies de *Bombus* de Guatemala en los posibles escenarios de cambio climático predichos para Mesoamérica

Se revisó las localidades correspondientes a 4195 datos de las especies de abejorros nativos de Guatemala registradas en Mesoamérica. Los modelos de distribución potenciales se realizaron utilizando las coordenadas de colecta de los registros revisados. Se utilizaron 119 localidades de presencia para *B. ephippiatus*, 19 para *B. brachycephalus*, 16 para *B. macgregori*, 77 para *B. medius*, 26 para *B. mexicanus*, 24 para *B. pullatus*, 9 para *B. trinominatus*, 30 para *B. variabilis*, 199 para *B. weisi* y 56 para *B. wilmattae*.

Se realizaron modelos de distribución potencial para las 10 especies de abejorros del género *Bombus* reportadas para el país, utilizando registros pertenecientes al área de distribución de las especies. 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) (ver Apéndice 3, Figuras 9 a 18).

En los mapas se representa de forma gráfica 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 indica la importancia de cada variable climática para el modelado de distribución potencial para cada especie.

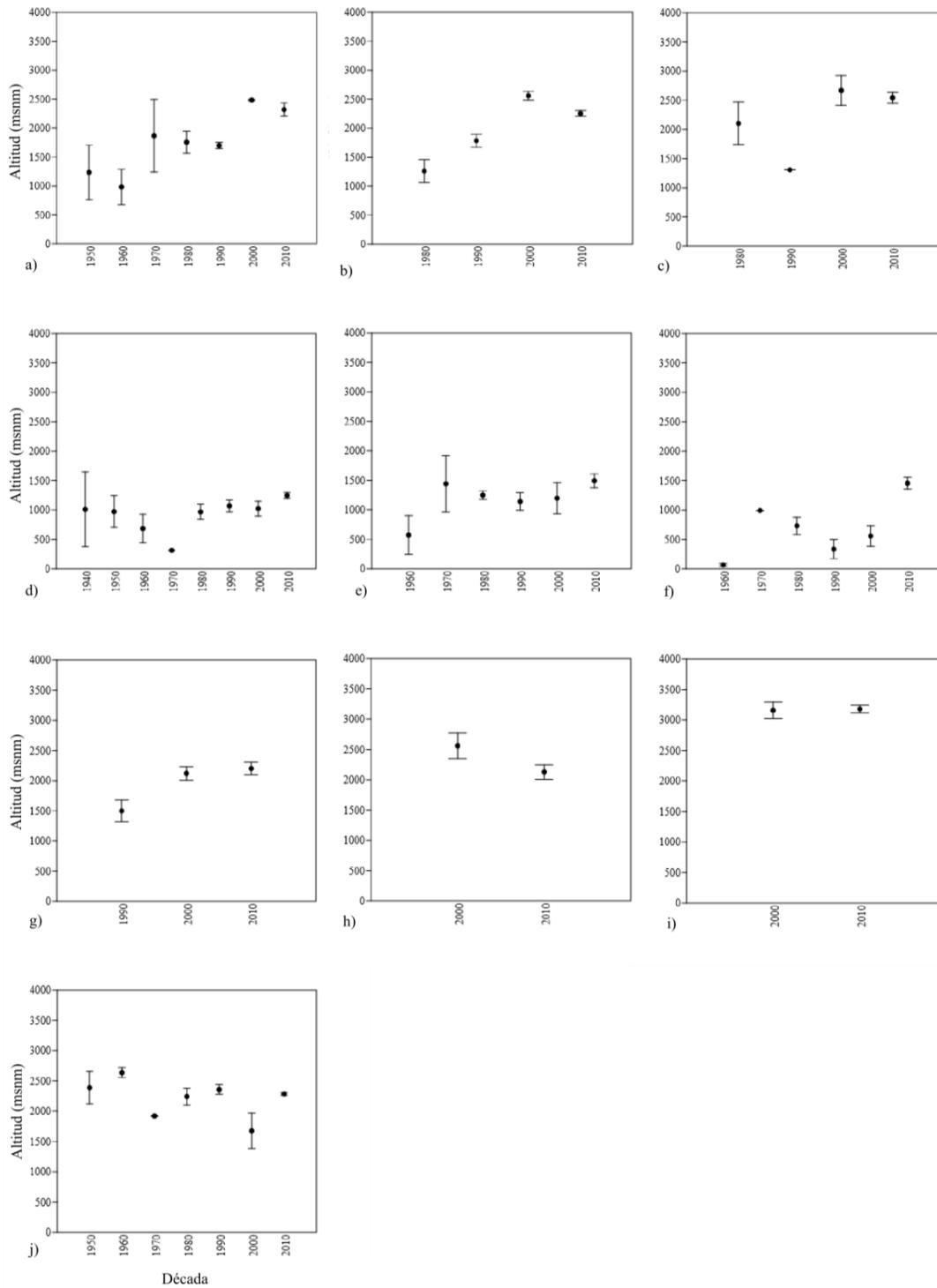


Figura 4. Distribución de los datos de altitud para cada especie de abejorro, por década: a) *B. brachycephalus*, b) *B. ephippiatus*, c) *B. macgregori*, d) *B. medius*, e) *B. mexicanus*, f) *B. pullatus*, g) *B. wilmattae*, h) *B. variabilis*, i) *B. trinominatus*, y j) *B. weisi*. Fuente: base de datos de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang), y las bases de datos en línea *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, por sus siglas en inglés) y de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Cambios en áreas de distribución potencial

A partir de los modelos generados, se extrajeron las áreas de distribución potencial para cada posible escenario. A partir de esta información, se calculó el área que cada especie de *Bombus* perdería en cada escenario (Figura 5), así como el área que podría ganar para cada escenario (Figura 6).

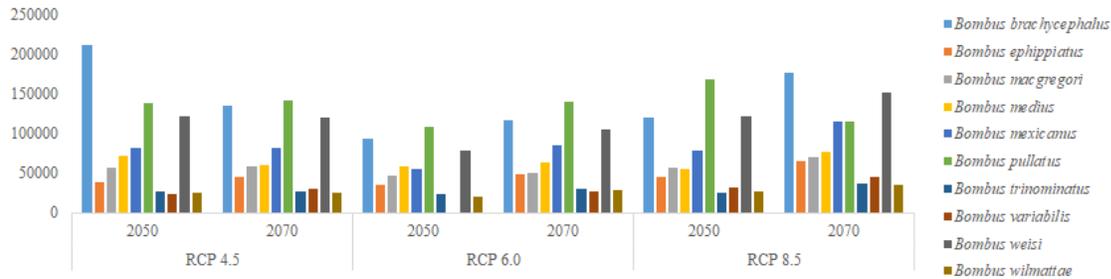


Figura 5. Cálculo de área de ocupación potencial, en km², que cada especie de *Bombus* perdería en los posibles escenarios de cambio climático.

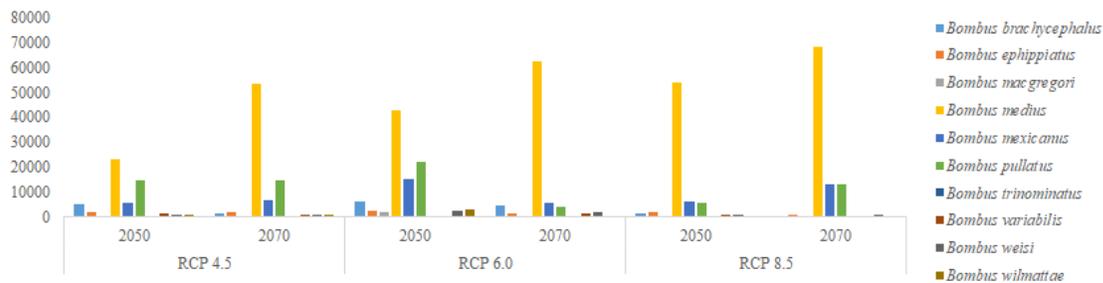


Figura 6. Cálculo de área de ocupación potencial, en km², que cada especie de *Bombus* ganaría en los posibles escenarios de cambio climático.

11.4. Identificación de variables importantes para predecir la distribución potencial de las especies de *Bombus* de Guatemala

Los modelos de distribución potenciales se realizaron utilizando las variables climáticas y se obtuvo la contribución porcentual de cada una en el modelo para cada especie. Con base en la importancia de cada variable climática se realizaron proyecciones de la distribución potencial de las especies de abejorros en cada escenario futuro predicho. Para cada especie, se muestra el porcentaje de contribución al modelo de cada variable (Apéndice 3, Figuras 9 a 18).

12. Análisis y discusión de resultados

12.1. Cambios de la distribución geográfica y altitudinal de las especies del género *Bombus* de Guatemala, a lo largo de las últimas décadas

En cuanto a la distribución general de los datos, se observa una tendencia hacia altitudes mayores en las décadas recientes, principalmente en la última década, aunque para algunas especies, en especial *B. trinominatus*, *B. variabilis* y *B. weisi*, solamente se presentan datos correspondientes a las últimas décadas. Cabe mencionar que estas especies son raras y sus registros son escasos en comparación con las especies abundantes, como *B. ephippiatus* y *B. wilmattae* (Vásquez et al. 2010). Este fenómeno se observa incluso en las especies de altitudes bajas, principalmente *B. weisi* y *B. pullatus* (Figura 8).

En el caso de *B. variabilis* (Figura 4h), se observa un patrón contrario. Esta es una especie de distribución amplia por lo que probablemente se requiere incluir criterios más estrictos para la selección de los datos, especialmente considerando que es una especie que está clasificada como vulnerable (Hatfield et al., 2016).

El modelo lineal generalizado (Tabla 1) muestra que esta tendencia tiene un efecto significativo para el conjunto de especies en el cambio entre la década del 2000 y la del 2010. Esto sugiere que la tendencia de las especies a distribuirse a altitudes mayores fue más marcada durante estas dos décadas, lo que coincide con estudios realizados para otros taxones, principalmente vegetación (Klanderud & Birks, 2003).

En cuanto a los cambios en distribución altitudinal a nivel de especie, se encontró diferencias significativas en cambios altitudinales en las últimas décadas tanto en especies propias de altitudes mayores (*B. brachycephalus*, *B. ephippiatus*, *B. wilmattae*), como de altitudes bajas (*B. pullatus* y *B. weisi*). En el caso de las especies especialistas de altitudes altas, estas podrían tener más dificultad en encontrar refugios y podrían correr peligro de extinguirse (Gottfried, Pauli, Reiter, y Grabherr, 1999). Por otra parte, las especies de altitudes medias y bajas también podrían estar amenazadas debido a la disminución de hábitats disponibles que sirvan como refugio ante el

potencial cambio de clima y composición de la estructura de la vegetación en sus hábitats (Klanderud & Birks, 2003). En el caso de *B. pullatus*, los registros de la década de 1960 reportan distribuciones altitudinales de menos de 100 msnm, lo cual no vuelve a repetirse en las décadas posteriores (figura 2f).

En cuanto a las composiciones de especies, los cambios presentan variaciones que podrían explicarse por la biología de las especies, ya que algunas tienen rangos altitudinales más amplios que otras. Esta variación puede responder también a los cambios de hábitat y recursos florales disponibles, y podría afectar o causar disrupción en la estructura de las interacciones entre los abejorros y las plantas que visitan (Lenoir, Marquet, Ruffray, & Brisse, 2008).

Finalmente, cabe mencionar que algunas de las especies de las cuales no se observó cambios significativos son especies raras y de distribuciones restringidas (*B. macgregori* y *B. trinominatus*), o que están clasificadas bajo algún grado de amenaza (*B. variabilis*, *B. medius* y *B. mexicanus*) (Escobedo, 2015b; Hatfield et al., 2016; Pineda Diez de Bonilla et al., 2015; Vandame et al., 2015a) las cuales podrían no estarse moviendo debido a que no dispongan de hábitat disponible, lo cual implicaría una amenaza para su conservación.

12.2. Cambios en las distribuciones potenciales actuales de las especies de *Bombus* de Guatemala en los posibles escenarios de cambio climático predichos para la región mesoamericana

En todas las especies se observa una pérdida de áreas con las condiciones óptimas para la presencia de los abejorros, aun en el escenario más conservador (Figura 5). Incluso las probabilidades medidas de presencia de condiciones óptimas para las especies resultan ser poco favorables, y se encuentran siempre alrededor de .5 (Apéndice 1, Figuras 9 a 18). Las especies propias de altitudes medias y bajas con climas cálidos, *B. medius*, *B. pullatus* y *B. mexicanus*, son las que podrían ganar áreas de distribución (Figura 6).

Para varias especies se observa que no existe una reducción muy notoria entre los modelados de la década de 2050 y la de 2070 en sus respectivos escenarios de concentración de gases. Sin embargo, sí se ve una reducción evidente de las regiones con alta y media probabilidad de

presencia de la especie en los modelados de los escenarios Rp85; la tendencia se puede observar en *B. variabilis* (Figura 16), *B. trinominatus* (Figura 15) y *B. mexicanus* (Figura 13). *B. mexicanus* y *B. variabilis* son especies clasificadas como vulnerable (VU) y críticamente amenazada (CR), respectivamente en la Lista Roja de la UICN (Hatfield et al., 2016). En el caso de *B. trinominatus*, aunque no se considera una especie amenazada, sus poblaciones también son escasas y restringidas a las altitudes mayores encontradas en Guatemala (Martínez-López & Vandame, 2015), por lo que su hábitat es especialmente vulnerable.

El área de distribución actual de *B. ephippiatus*, según lo observado en los modelados, se verá disminuida considerablemente. Se observa la reducción y fragmentación drástica de la continuidad de las áreas con alta probabilidad de contar con las condiciones óptimas para la especie (Figura 10).

B. brachycephalus presenta modelados en que también se observa la pérdida y fragmentación de las áreas con alta probabilidad de presencia (Figura 9). Esto es alarmante considerando que es una especie que se encuentra clasificada como amenazada (EN) en la Lista Roja de la UICN (Pineda Diez de Bonilla et al., 2015).

En los modelados de *B. macgregori* (Figura 11) se presentan las condiciones más alarmantes. En todos los modelados realizados para las décadas de 2050 y 2070 se observó la desaparición en Guatemala de áreas con media o alta probabilidad de presencia. Aunque esta especie está clasificada como de mínima preocupación, sus poblaciones son pequeñas y están restringidas a altitudes de más de 2000 metros y posiblemente están asociados a áreas con cobertura boscosa (Escobedo, 2015a).

Sólo las especies *B. weisi* y *B. pullatus* presentan estimaciones no alarmantes. La especie que presentó la mayor área con potenciales condiciones adecuadas fue *B. pullatus*, y fue la especie cuyos modelados futuros se ven más optimistas. *B. pullatus* es la especie con presencia en los rangos de altitud más bajos. En *B. weisi* se observa el aumento de las altas probabilidades de presencia en algunas regiones. En el caso de *B. pullatus*, esta especie es de distribución altitudinal baja (Vásquez et al., 2010) por lo que el aumento de temperatura en los escenarios predichos podría significar una ampliación en sus probabilidades de distribución. Sin embargo, esta especie es sumamente rara, por lo que otros factores ecológicos podrían estar limitando su distribución.

12.3. Variables que predicen los cambios en las distribuciones potenciales de las especies de *Bombus* en Guatemala

En la mayoría de especies la variable Bio10 (temperatura promedio del cuarto más cálido) fue la más importante al modelo. Ya que esta variable corresponde a la temperatura de los meses más cálidos, es posible que el aumento de temperatura sea un factor crítico que limite la distribución de las especies de *Bombus*. Esta variable no fue importante para los modelos de *B. pullatus* (Figura 14), lo cual puede explicarse por la adaptación de esta especie a ecosistemas con temperaturas cálidas durante todo el año.

La variable Bio7 (rango de temperatura anual) contribuyó en los modelados de la mayoría de especies. Fue la segunda variable con mayor contribución en *B. weisi*, *B. ephippiatus*, *B. variabilis*, *B. trinominatus* y *B. medius*. Estos resultados sugieren que la temperatura puede ser una condición crítica en la distribución de los abejorros, ya que se ha observado anteriormente que esta variable tiene efectos sobre la actividad de forrajeo de los abejorros (Lundberg, 1980).

La variable Bio13 (Precipitación del mes más húmedo) contribuyó a los modelos correspondientes a *B. brachycephalus*, *B. ephippiatus* y *B. mexicanus*, y fue la más importante para *B. pullatus*. En el caso de esta última especie, a la cual no mostró ser afectada por temperaturas altas, la humedad sí contribuye a su distribución potencial. Esta especie, además de ser rara, ha sido encontrada en bosques tropicales lluviosos con cierta integridad de hábitat, como la zona de influencia del Parque Nacional Laguna Lachúa (Vásquez et al., 2010). En cambio, la variable Bio13 no contribuyó en los modelos de *B. macgregori*, *B. trinominatus*, *B. medius*, *B. variabilis*, *B. weisi* ni *B. wilmattae*. En el caso de las primeras dos especies, ambas son raras y se distribuyen en altitudes mayores (Vásquez et al., 2010).

En términos generales, los resultados de este trabajo muestran una susceptibilidad de las especies de montaña (de altitudes mayores) a las temperaturas de los meses más cálidos, mientras que las especies de climas cálidos parecen no estar afectadas por la temperatura, pero sí por los cambios en la humedad. Todo esto indica que la forma en la que las especies sean afectadas también depende de su biología y factores fisiológicos. En atención a esto, se recomienda realizar estudios más detallados sobre la historia natural de las especies, que contribuyan a entender mejor su susceptibilidad a los fenómenos ambientales, frente a los escenarios predichos para el cambio climático en la región.

13. Conclusiones

- Existe una tendencia general en las especies de *Bombus* de Guatemala a desplazarse hacia altitudes mayores, principalmente durante la última década.
- Las áreas de distribución potencial de todas las especies de *Bombus* de Guatemala podrían reducirse ante los posibles escenarios del cambio climático.
- Las variables relacionadas a las temperaturas más altas y los meses más lluviosos del año, contribuyen mayormente a predecir los cambios de distribución potencial de los *Bombus* de Guatemala. Los efectos particulares de cada especie pueden estar relacionados a la biología de cada una, por lo que se recomienda realizar más estudios sobre el tema.

14. Impacto esperado

A pesar que los abejorros son un grupo de gran interés comercial, debido a su potencial uso como polinizadores en la agricultura, el tema que se propone en esta investigación ha sido muy poco estudiado. Por tratarse de un tema novedoso y actual, se espera publicar los resultados de este trabajo en revistas indexadas, promoviendo la difusión de la investigación científica realizada en la Usac. Se espera aportar al conocimiento del riesgo que el cambio climático representa para el género *Bombus* en Guatemala y Mesoamérica, siendo este uno de los grupos de insectos de mayor importancia económica, y cuya conservación tiene relación directa con la seguridad alimentaria y el mantenimiento del servicio ecosistémico de polinización en Guatemala y en la región mesoamericana.

Por otra parte, el conocimiento generado en este proyecto puede tener impacto sobre la población nacional, en especial sobre el sector agrícola y rural, pues servirá como herramienta teórica para la planificación e implementación de acciones para la conservación de este grupo de polinizadores, fundamentales para la economía agrícola contemporánea y para la conservación y restauración de sistemas naturales.

Se espera tener un impacto en la comunidad científica y otros sectores de la sociedad, alertando sobre los posibles riesgos que este grupo de organismos, y la biodiversidad nacional en general, sufren a causa del cambio climático. Asimismo, este estudio formará parte de un trabajo a largo plazo enfocado a la conservación de las abejas nativas de Guatemala. Esto a su vez contribuye al impacto del proyecto financiado por Digi “Distribución potencial de las abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponini) de Guatemala ante posibles escenarios de cambio climático” (partida 4.8.63.2.06, 2017), el cual fue planteado como un proyecto pionero que sirviera de base para

investigaciones semejantes aplicadas a otros grupos taxonómicos, y al que se dio seguimiento por medio de este proyecto.

Además, se espera contribuir al conocimiento sobre los abejorros de Guatemala en el público en general, por medio del material divulgativo que fue producido durante el proyecto. Se espera también que las recomendaciones generadas a partir de este trabajo sean una herramienta útil en la toma de decisiones relacionadas a la conservación de la biodiversidad en Guatemala, y en las acciones que se tomen para mitigar los efectos del cambio climático sobre la misma.

15. Referencias

- Abrahamovich, A. H., Díaz, N. B., & Morrone, J. J. (2004). Distributional patterns of the Neotropical and Andean species of the genus *Bombus* (Hymenoptera: Apidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 20(1), 99-117.
- Aldana, J. (2007). Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la sabana de Bogotá, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 62-72.
- Dardón, M., Yurrita, C., Landaverde, P., Vásquez, M., & Escobedo, N. (2015). *Evaluación e implementación en Guatemala del Código de Barras de la Vida para resolver conflictos taxonómicos en abejorros (Bombus)* (Informe Proyecto Fodecyt No. 032-2012). Guatemala: Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
- Duennes, M. D., Lozier, J. D., Hines, M. H., & Cameron, S. A. (2012). Geographical patterns of genetic divergence in the widespread Mesoamerican bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 64, 219-231.
- Duennes, M. D., & Vandame, R. V. (2015). *Bombus ephippiatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T21215149A21215217. doi:10.2305/IUCN.UK.2015
- Enríquez, E., & Ayala, R. (2015). Impacto de la colección de abejas nativas de Guatemala, luego de 14 años de su conformación. *Revista Ciencia y Conservación*. 5, 39 - 46.
- Escobedo, N., Dardón, M.J., López, J., Martínez, O., & Cardona, E. (2014). Efecto de la configuración del paisaje en las comunidades de abejas (Apoidea) de un mosaico de bosque pino-encino y áreas agrícolas de Sacatepéquez y Chimaltenango, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 1(1), 15-22.
- Escobedo, N. (2015a). *Bombus macgregori*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi:10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215144A21215253.
- Escobedo, N. (2015b). *Bombus medius*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi:10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215154A21215257.
- Fernández, P., & Emile, C. (2013). *Desplazamientos altitudinales y características ecológicas de los abejorros (Bombus Spp.) de la Cordillera Cantábrica* (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo, España.
- Flora Mesoamericana. (2018). Recuperado de <http://www.tropicos.org/Project/FM>
- GBIF.org (Noviembre, 2018). GBIF Occurrence Download. Recuperado de <https://doi.org/10.15468/dl.lvaqls>
- Gottfried, M., Pauli, H., Reiter, K., & Grabherr, G. (1999). A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming. *Diversity and Distributions*, 5(6), 241-251. doi: 10.1046/j.1472-4642.1999.00058.x
- Goulson, D. (2010). *Bumblebees: Behaviour ecology and conservation*. (2da ed). Nueva York, Estados Unidos de América: Oxford University Press.

- Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electrónica*, 4 (1), 1-9.
- Hatfield, R., Jepsen, S., Thorp, R., Richardson, L., Colla, S., & Foltz Jordan, S. (2016). *Bombus variabilis*. The IUCN Red List of Threatened Species. Doi: 10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T21215168A21215249.
- 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.
- Inoue, M. N., Yokoyama, J., & Washitani, I. (2008). Displacement of Japanese native bumblebees by the recently introduced *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae). *J. Insect Conserv.* 12, 135–146.
- Instituto de Biología (IBUNAM), Insectos. En Portal de Datos Abiertos UNAM Colecciones Universitarias (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/>
- Kerr, J. T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S., Roberts, S. M., ... & Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349(6244), 177-180.
- Klanderud, K., & Birks, H. J. B. (2003). Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *Holocene*, 13(1), 1–6. doi: 10.1191/0959683603h1589ft
- Labougle, J. M. (1990). *Bombus* of Mexico and Central America (Hymenoptera, Apidae). *The University of Kansas Science Bulletin*, 54(3), 35-73.
- Lenoir, J., Marquet, P. A., Ruffray, P. De, & Brisse, H. (2008). A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century, 320(June), 1768–1771. Doi:10.1126/science.1157704
- Llorente, M. D., (2005). *Biología y métodos de cría de Bombus Ephippiatus Say*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de las Américas Puebla, México.
- Lundberg, H. (1980) Effects fo Weather on Foraging-Flights of Bumblebees (Hymenoptera, Apidae) in a Subalpine/Alpine Area. *Holarctic Ecology*, 3(2), 104-110.
- Maglianesi, A. (2016). Efectos del cambio climático sobre la polinización agrícola en América Tropical, *Revista Ingeniería*, 26(1), 25-38.
- Marroquín, A. (2000). *Sistemática e historia natural de las abejas (Hymenoptera: Apoidea) de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Martínez-López, O. & Vandame, R.V. (2015). *Bombus trinominatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi: 10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215133A21215317.en.
- Martínez-López, O. (2010). Determinación de la riqueza de abejorros (*Bombus*) en tres pisos altitudinales en los volcanes Tacaná y Tajumulco durante el mes de junio y julio de 2010.

(Informe final de Investigación de EDC). Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Michener, C. (2007). *The Bees of the World*. Baltimore, Estados Unidos de América: Johns Hopkins University Press.
- Morales, L. C. (2007). Introducción de abejorros (*Bombus*) no nativos: Causas, consecuencias ecológicas y perspectivas. *Ecología Austral*, 17, 51-65.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Pineda, W. M. (2014). *Uso de abejorros (Bombus impatiens, Hymenoptera) como agentes polinizadores bajo condiciones protegidas, en el cultivo de chile pimienta* (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, sede regional de Escuintla, Guatemala.
- Pineda Diez de Bonilla, E., Vandame, R. V., & Martínez, O. G. (2015). *Bombus brachycephalus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi:10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215153A21215185.
- Stuart, L. (1942). Una descripción preliminar de las provincias bióticas de Guatemala. Fundada sobre la distribución del género Salamandrino (sic). *Anales de la Academia de Geografía e Historia de Guatemala*.
- Vandame, R. V., Martínez López, O. G., & Pineda Diez de Bonilla, E. (2015a). *Bombus mexicanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015
- Vandame, R. V., Martínez López, O. G., & Pineda Diez de Bonilla, E. (2015b). *Bombus pullatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215158A21215285.
- Vásquez, M., Yurrita, C., & Escobedo, N. (2010). Determinación y distribución de las especies de abejorros (*Bombus*) en las áreas bióticas chimalteca, volcánica y Escuintleca en Guatemala. (Informe de proyecto FODECYT 13-2009) Guatemala: Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.

16. Apéndices

Apéndice 1. Tablas y figuras correspondientes a la obtención de datos para el proyecto.

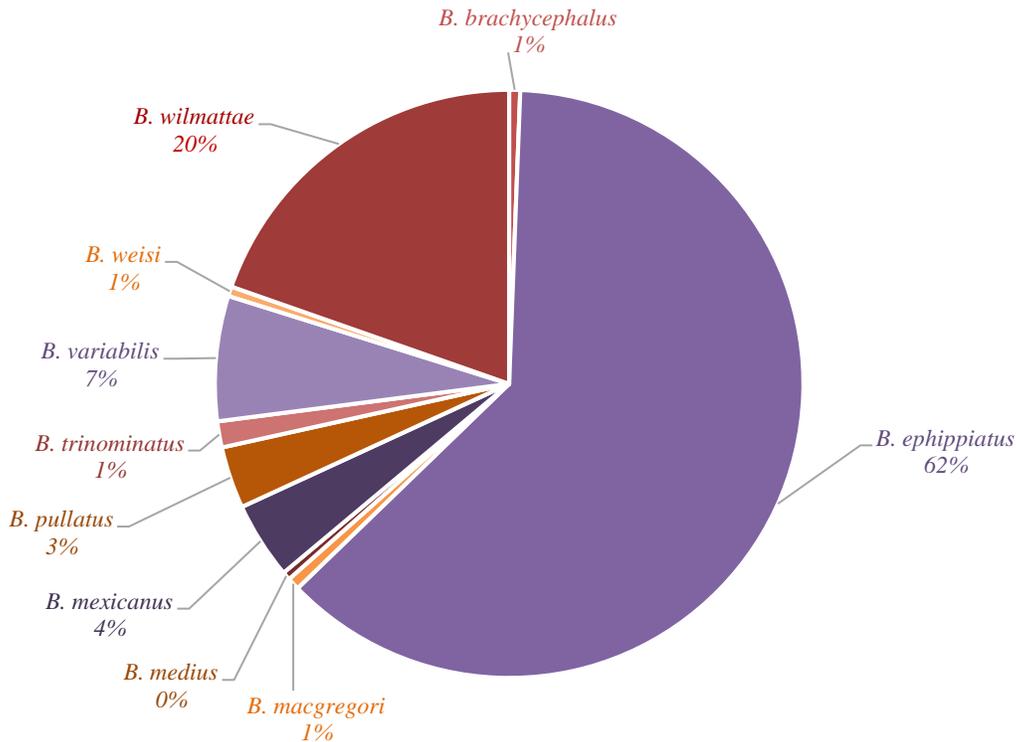


Figura 7. Avance de la revisión de registros correspondientes a abejorros del género *Bombus*, de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala. Los porcentajes representan los registros correspondientes a cada especie, de un total de 1324 revisados.

Tabla 2

Sitios de Colecta de las giras de campo para colectas de especímenes del género *Bombus*

Fecha	Localidad	Departamento	Coordenadas
14/04/2018	San José Pinula 1	Guatemala	N 14.53380, O 90.36073
14/04/2018	San José Pinula 2	Guatemala	N 14.53958, O 90.34470
14/04/2018	Finca Agua Tibia	Guatemala	N 14.56617, O 90.38239
17/04/2018	Los Encuentros-Barreneche- S. J. Argueta 1	Sololá	N 14.58691, O 91.17157
17/04/2018	San Juan Argueta 2	Sololá	N 14.85116, O 91.20123
17/04/2018	Alaska	Sololá	N 14.83836, O 91.37863
17/04/2018	Km. 178	Totonicapán	N 14.86146, O 91.40836
18/04/2018	Cuchumatanes 1	Huehuetenango	N 15.44039, O 91.49629
18/04/2018	Cuchumatanes 2	Huehuetenango	N 15.45475, O 91.52135

18/04/2018	Cuchumatanes 3	Huehuetenango	N 15.45575, O 91.49312
19/04/2018	Palencia-Sansur 1	Guatemala	N 14.65965, O 90.29488
19/04/2018	Palencia-Sansur 2	Guatemala	N 14.69066, O 90.24422
20/04/2018	Sierra de las Minas 1	Zacapa	N 15.05007, O 89.88385
20/04/2018	Sierra de las Minas 2	Zacapa	N 15.05590, O 89.88328
20/04/2018	Sierra de las Minas 3	Zacapa	N 15.05791, O 89.88342
21/04/2018	Las Cebollas 1	Chiquimula	N 14.58901, O 89.41514
21/04/2018	Las Cebollas 2	Chiquimula	N 14.58500, O 89.40836
22/04/2018	Plan de Arada 1	Chiquimula	N 14.49453, O 89.36613
22/04/2018	Plan de Arada 2	Chiquimula	N 14.49387, O 89.36642
12/06/2018	Nebaj 1	Quiché	N 15.407155, O 91.157048
13/06/2018	Nebaj 2	Quiché	N 15.409740, O 91.169801
14/06/2018	El Pajal, Lanquín	Alta Verapaz	N 15.56094, O 90.11240
15/06/2018	Semuc Champey	Alta Verapaz	N 15.54774, O 89.94895
16/06/2018	Camino a Cahabón	Alta Verapaz	N 15.58714, O 89.90774
17/06/2018	Cruce de Virginia	Izabal	N 15.46243, O 88.92816
18/06/2018	Aldea El Mestizo	Zacapa	N 15.22866, O 89.23619
17/09/2018	Chajul (punto 1)	Quiché	N 15.475907, O 91.065866
17/09/2018	San Juan Cotzal (punto 2)	Quiché	N 15.426235, O 91.078633
17/09/2018	San Juan Cotzal (punto 3)	Quiché	N 15.432161, O 91.049977
17/09/2018	Janlay (punto 4)	Quiché	N 15.436922, O 91.199508
17/09/2018	Janlay (punto 5)	Quiché	N 15.435540, O 91.202312
17/09/2018	Janlay (punto 6)	Quiché	N 15.436823, O 91.193009
17/09/2018	Aldea El Hato (punto 7)	Sacatepéquez	N 14.598556, O 90.706117
8/10/2018	Miramundo-Alzatate	Jalapa	N 14.549270, O 90.099487
8/10/2018	Cataratas de Tatasirire	Jalapa	N 14.566035, O 90.096151
9/10/2018	Afuera de Jalapa	Jalapa	N 14.649876, O 89.969940
9/10/2018	Ventura-Santa Elena	Jalapa	N 14.707585, O 89.979005
9/10/2018	Santa María Xalapán	Jalapa	N 14.614887, O 90.084927
10/10/2018	Volcán Tahual	Jutiapa	N 14.437797, O 89.914900
10/10/2018	Aldea Manantiales	Jutiapa	N 14.405140, O 89.955250
11/10/2018	Pontezuela	Jutiapa	N 14.402500, O 90.012300
11/10/2018	Aldea El Carmen, Ayarza	Santa Rosa	N 14.435410, O 90.093060
13/10/2018	Jumaytepeque, Nueva Sta. Rosa	Santa Rosa	N 14.352389, O 90.240333
13/10/2018	Parque Pino Dulce, Mataquesuintla	Jalapa	N 14.537031, O 90.155602
14/10/2018	Aldea Carolina, Chisec	Alta Verapaz	N 15.907880, O 90.268610
14/10/2018	Entre Sechaj y Cesaltul, Raxruhá	Alta Verapaz	N 15.932030, O 90.165970
15/10/2018	Sayaxché	Petén	N 16.520250, O 90.172440
15/10/2018	Aldea Santa Rita, La Libertad	Petén	N 16.816430, O 90.048340
16/10/2018	Aldea La Milpa	Petén	N 17.221930, O 89.952690
16/10/2018	Entrada a Biotopo El Zotz	Petén	N 17.167610, O 89.900130
16/10/2018	Biotopo El Zotz	Petén	N 17.180866, O 89.877277
17/10/2018	Camino a El Remate, La Ponderosa	Petén	N 16.899220, O 89.788390
17/10/2018	Biotopo Cerro Cahuí	Petén	N 16.998657, O 89.704474

Tabla 3

Sitios de Colecta donde fueron capturados especímenes del género Bombus

Fecha	Localidad	Departamento	Coordenadas
14/04/2018	San José Pinula 2	Guatemala	N 14.53958, O 90.34470
14/04/2018	Finca Agua Tibia	Guatemala	N 14.56617, O 90.38239
17/04/2018	Los Encuentros-Barreneche (S.J. Argueta 1)	Sololá	N 14.58691, O 91.17157
17/04/2018	San Juan Argueta 2	Sololá	N 14.85116, O 91.20123
17/04/2018	Alaska	Sololá	N 14.83836, O 91.37863
17/04/2018	Km. 178	Totonicapán	N 14.86146, O 91.40836
18/04/2018	Cuchumatanes 1	Huehuetenango	N 15.44039, O 91.49629
18/04/2018	Cuchumatanes 2	Huehuetenango	N 15.45475, O 91.52135
18/04/2018	Cuchumatanes 3	Huehuetenango	N 15.45575, O 91.49312
19/04/2018	Palencia-Sansur 1	Guatemala	N 14.65965, O 90.29488
20/04/2018	Sierra de las Minas 1	Zacapa	N 15.05007, O 89.88385
20/04/2018	Sierra de las Minas 2	Zacapa	N 15.05590, O 89.88328
20/04/2018	Sierra de las Minas 3	Zacapa	N 15.05791, O 89.88342
21/04/2018	Las Cebollas 2	Chiquimula	N 14.58500, O 89.40836
22/04/2018	Plan de Arada 2	Chiquimula	N 14.49387, O 89.36642
12/06/2018	Nebaj 1	Quiché	N 15.407155, O 91.157048
14/06/2018	El Pajal, Lanquín	Alta Verapaz	N 15.56094, O 90.11240
17/09/2018	Chajul (punto 1)	Quiché	N 15.475907, O 91.065866
17/09/2018	San Juan Cotzal (punto 2)	Quiché	N 15.426235, O 91.078633
17/09/2018	San Juan Cotzal (punto 3)	Quiché	N 15.432161, O 91.049977
17/09/2018	Janlay (punto 5)	Quiché	N 15.435540, O 91.202312
17/09/2018	Janlay (punto 6)	Quiché	N 15.436823, O 91.193009
17/09/2018	Aldea El Hato (punto 7)	Sacatepéquez	N 14.598556, O 90.706117
8/10/2018	Miramundo-Alzatate	Jalapa	N 14.549270, O 90.099487
8/10/2018	Cataratas de Tatasirire	Jalapa	N 14.566035, O 90.096151
9/10/2018	Ventura-Santa Elena	Jalapa	N 14.707585, O 89.979005
10/10/2018	Aldea Manantiales	Jutiapa	N 14.405140, O 89.955250
11/10/2018	Pontezuela	Jutiapa	N 14.402500, O 90.012300
11/10/2018	Aldea El Carmen, Ayarza	Santa Rosa	N 14.435410, O 90.093060
13/10/2018	Parque Pino Dulce, Mataquesuintla	Jalapa	N 14.537031, O 90.155602

Tabla 4

Especies botánicas con las que se registró interacciones entre plantas y abejas

Familia	Especie	Fechas de colecta
Acanthaceae	<i>Crossandra sp.</i>	04/14/2018
	<i>Justicia sp.</i>	04/14/2018, 06/13/2018
	<i>Thunbergia alata</i> Bojer ex Sims	04/14/2018
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea edulis</i> (Tussac) Herb.	08/16/2018
Apiaceae	<i>Eryngium carlinae</i> F. Delaroché	09/05/2018
Asparagaceae	<i>Agave sp.</i>	04/18/2018
Asphodelaceae	<i>Aloe sp.</i>	04/18/2018
Asteraceae	<i>Acmella repens</i> (Walter) Rich. ex Pers.	04/23/2018
	<i>Acmella oppositifolia</i> (Lam.) R.K. Jansen	08/16/2018
	<i>Ageratina sp.</i>	06/14/2018
	<i>Baccharis salicina</i> Torr. & A. Gray	08/17/2018
	<i>Baccharis inamoena</i> Gardner	04/23/2018
	<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Bretell	04/23/2018, 04/17/2018
	<i>Bidens sp.</i>	06/13/2018, 05/09/2018, 06/14/2018
	<i>Calea sp.</i>	06/15/2018
	<i>Clibadium arboreum</i> Donn. Sm.	06/14/2018
	<i>Cosmos sulphureus</i> Cav.	06/15/2018
	<i>Dahlia imperialis</i> Roez. ex Ortigies	10/14/2018
	<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	04/23/2018
	<i>Erigeron sp.</i>	5/09/2018
	<i>Erigeron bonariensis</i> L.	04/22/2018
	<i>Eupatorium sp.</i>	06/14/2018, 09/05/2018, 04/14/2018
	<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) R. M. King & H. Rob	
	<i>Lasianthea sp.</i>	04/14/2018, 04/17/2018
	<i>Liabum sp.</i>	04/22/2018
	<i>Melampodium sp.</i>	04/14/2018
	<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC.	06/13/2018
	<i>Millieria sp.</i>	04/20/2014
	<i>Pluchea odorata</i> (L.) Cass.	08/17/2018
	<i>Podachaenium sp.</i>	04/14/2018
	<i>Roldana petasioides</i> (Greenm.) H. Rob.	04/19/2018
	<i>Smallanthus maculatus</i> (Cav.) H. Rob.	8/01/2018
	<i>Sabatia sp.</i>	08/16/2018
	<i>Sclerocarpus phyllocephalus</i> S. F. Blake.	06/15/2018
	<i>Sclerocarpus divaricatus</i> (Benth.) Benth. & Hook f. ex Hemsl.	04/22/2018
	<i>Simsia sp.</i>	04/20/2018
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	08/16/2018, 04/23/2018
<i>Spilanthes sp.</i>	04/22/2018	
<i>Tagetes sp.</i>	10/14/2018	

Familia	Especie	Fechas de colecta
	<i>Tithonia sp.</i>	08/16/2018, 09/23/2018
	<i>Trixis inula</i> Crantz	04/14/2018
	<i>Vernonia sp.</i>	04/14/2018, 04/23/2018
	<i>Viguiera sp.</i>	04/19/2018
	<i>Wedelia sp.</i>	06/13/2018
	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.	04/23/2018
Brassicaceae		
	<i>Brassica napus</i> L.	04/14/2018
	<i>Brassica sp.</i>	10/14/2018
Boraginaceae		
	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	04/17/2018
Campanulaceae		
	<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	04/14/2018, 06/13/2018
Caprifoliaceae		
	<i>Lonicera sp.</i>	04/18/2018
Cucurbitaceae		
	<i>Cucurbita sp.</i>	04/14/2018, 06/15/2018
	<i>Cucurbita pepo</i> L.	04/14/2018, 04/18/2018
	<i>Sechium sp.</i>	10/14/2018
Cupressaceae		
	<i>Juniperus sp.</i>	04/18/2018
Euphorbiaceae		
	<i>Croton sp.</i>	04/19/2018
Fabaceae		
	<i>Acacia pennatula</i> (Schltdl. & Cham.) Benth.	08/17/2018
	<i>Phaseolus sp.</i>	08/16/2018, 10/13/2018
Gentianaceae		
	<i>Lisianthus sp.</i>	06/15/2018
Lamiaceae		
	<i>Aegiphila sp.</i>	04/19/2018
	<i>Prunella vulgaris</i> L.	05/09/2018, 08/16/2018
	<i>Salvia sp.</i>	04/14/2018, 05/09/2018
	<i>Salvia purpurea</i> Cav.	05/09/2018
	<i>Salvia urica</i> Epling	04/14/2018, 04/23/2018
	<i>Teucrium sp.</i>	08/17/2018
Iridaceae		
	<i>Crocoshia x crocosmiiflora</i> (Lemoine) N. E. Br.	08/16/2018
Lythraceae		
	<i>Cuphea sp.</i>	04/23/2018, 06/15/2018
	<i>Cuphea cyanea</i> DC.	08/16/2018

Familia	Especie	Fechas de colecta
Malpighiaceae	<i>Stigmaphyllon sp.</i>	06/14/2018
Malvaceae	<i>Helicteres sp.</i>	06/15/2018
	<i>Melochia sp.</i>	06/15/2018
	<i>Sida sp.</i>	08/16/2018, 10/14/2018
Onagraceae	<i>Fuchsia sp.</i>	05/09/2018
	<i>Lopezia sp.</i>	04/14/2018
	<i>Oenothera sp.</i>	04/23/2018
	<i>Fuchsia paniculata</i> Lindl.	09/23/2018
Oxalidaceae	<i>Oxalis sp.</i>	06/14/2018
Piperaceae	<i>Piper sp.</i>	06/15/2018
Polygalaceae	<i>Monnina xalapensis</i> Kunth	04/14/2018
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	04/14/2018, 11/14/2018
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i> L.	04/14/2018
	<i>Parathesis sp.</i>	04/22/2018
Ranunculaceae	<i>Ranunculus petiolaris</i> Humb., Bonpl. & Kunth ex DC.	08/16/2018
Rosaceae	<i>Crataegus gracilior</i> J.B. Phipps.	04/23/2018
	<i>Rubus sp.</i>	04/20/2018
	<i>Rubus trilobus</i> Ser.	04/18/2018
Rubiaceae	<i>Crusea sp.</i>	08/16/2018
	<i>Melanthera nivea</i> (L.) Small	04/19/2018
	<i>Psychotria sp.</i>	06/15/2018
	<i>Hamelia patens</i> Jacq.	06/14/2018
	<i>Spermacoce laevis</i> Lam.	08/16/2018
Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>	04/17/2018, 10/14/2018, 04/14/2018, 09/23/2018
	<i>Solanum nigricans</i> M. Martens & Galeotti	06/15/2018 10/14/2018
Scrophulariaceae		10/14/2018
Verbenaceae		

Familia	Especie	Fechas de colecta
	<i>Verbena litoralis</i> Kunth	08/17/2018, 04/14/2018
Viburnaceae	<i>Sambucus sp.</i>	04/18/2018

Apéndice 2. Datos de distribución altitudinal.

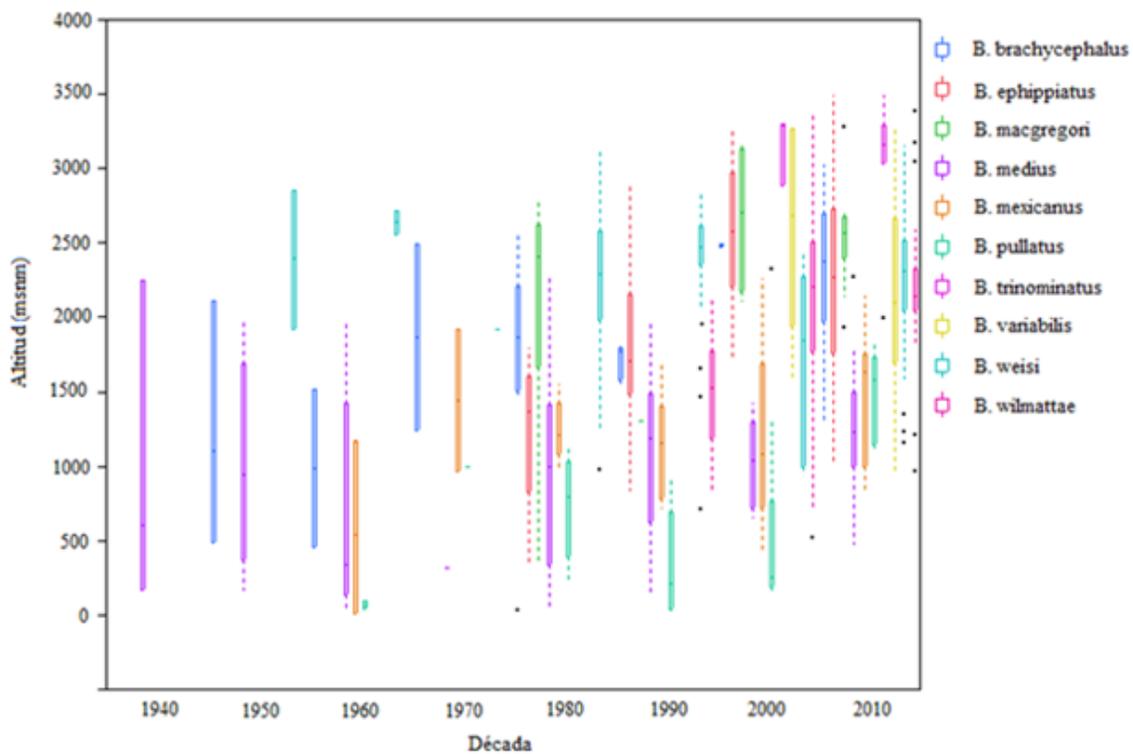


Figura 8. Distribución de los datos de altitud de los registros de abejorros del Género *Bombus* presentes en Guatemala, a lo largo de las décadas. Datos obtenidos de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang), y las bases de datos en línea *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, por sus siglas en inglés) y de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Apéndice 3. Modelado de distribuciones potenciales de las distintas especies de abejorros, 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

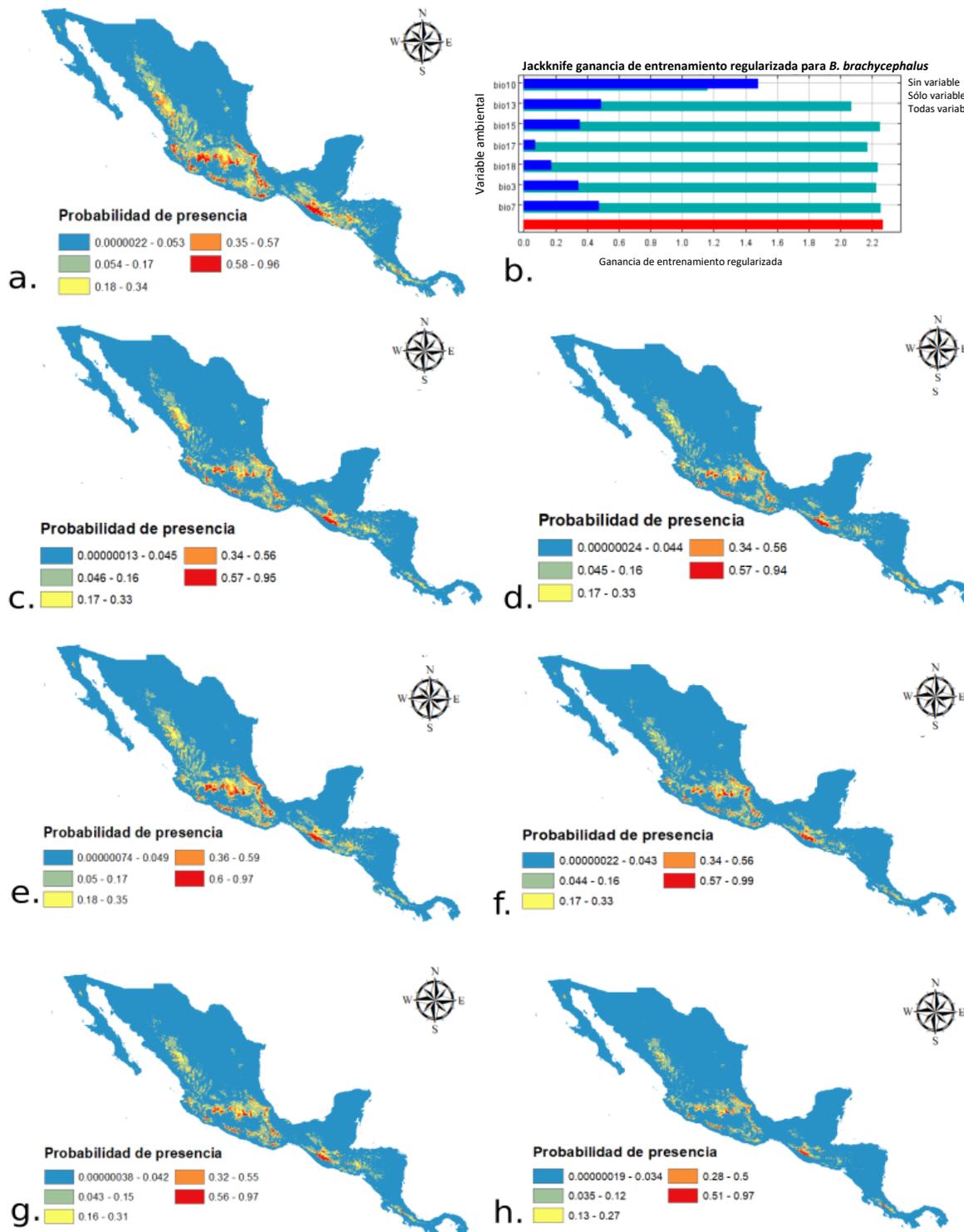


Figura 9. Mapas de distribución potencial de *Bombus brachycephalus* Handlirsch, 1888 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

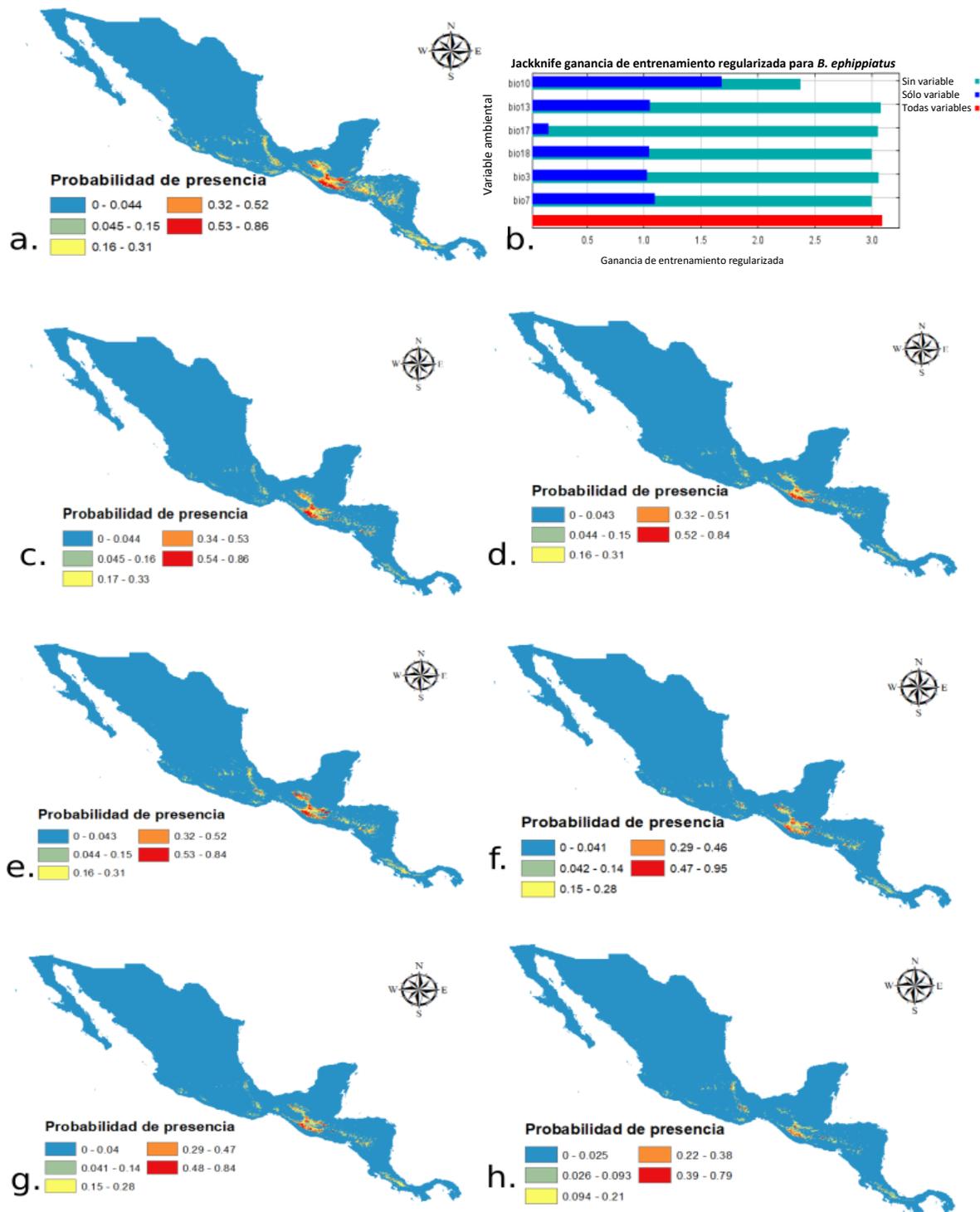


Figura 10. Mapas de distribución potencial de *Bombus ephippiatus* Say, 1837 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

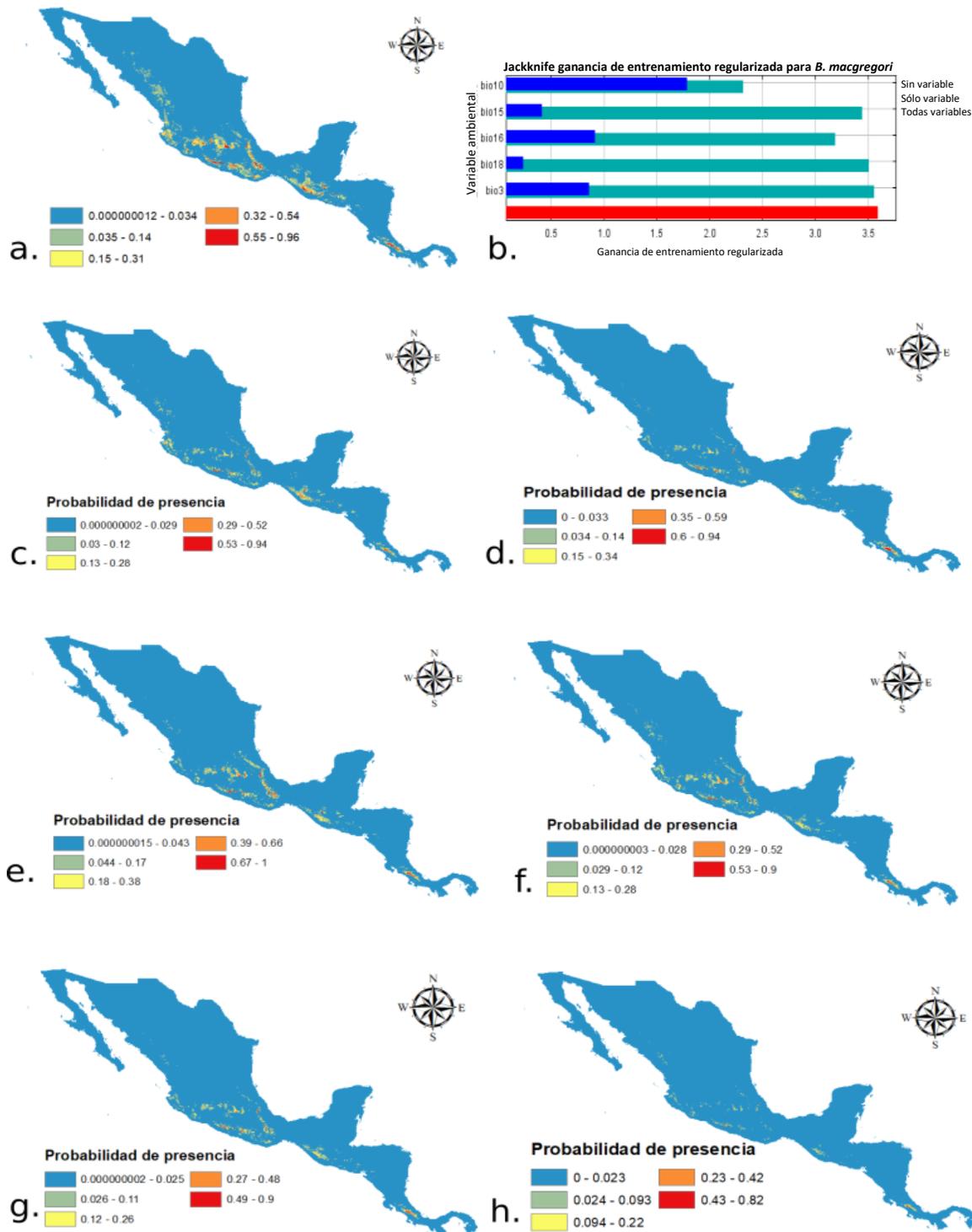


Figura 11. Mapas de distribución potencial de *Bombus macgregori* Labougle y Ayala, 1985 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

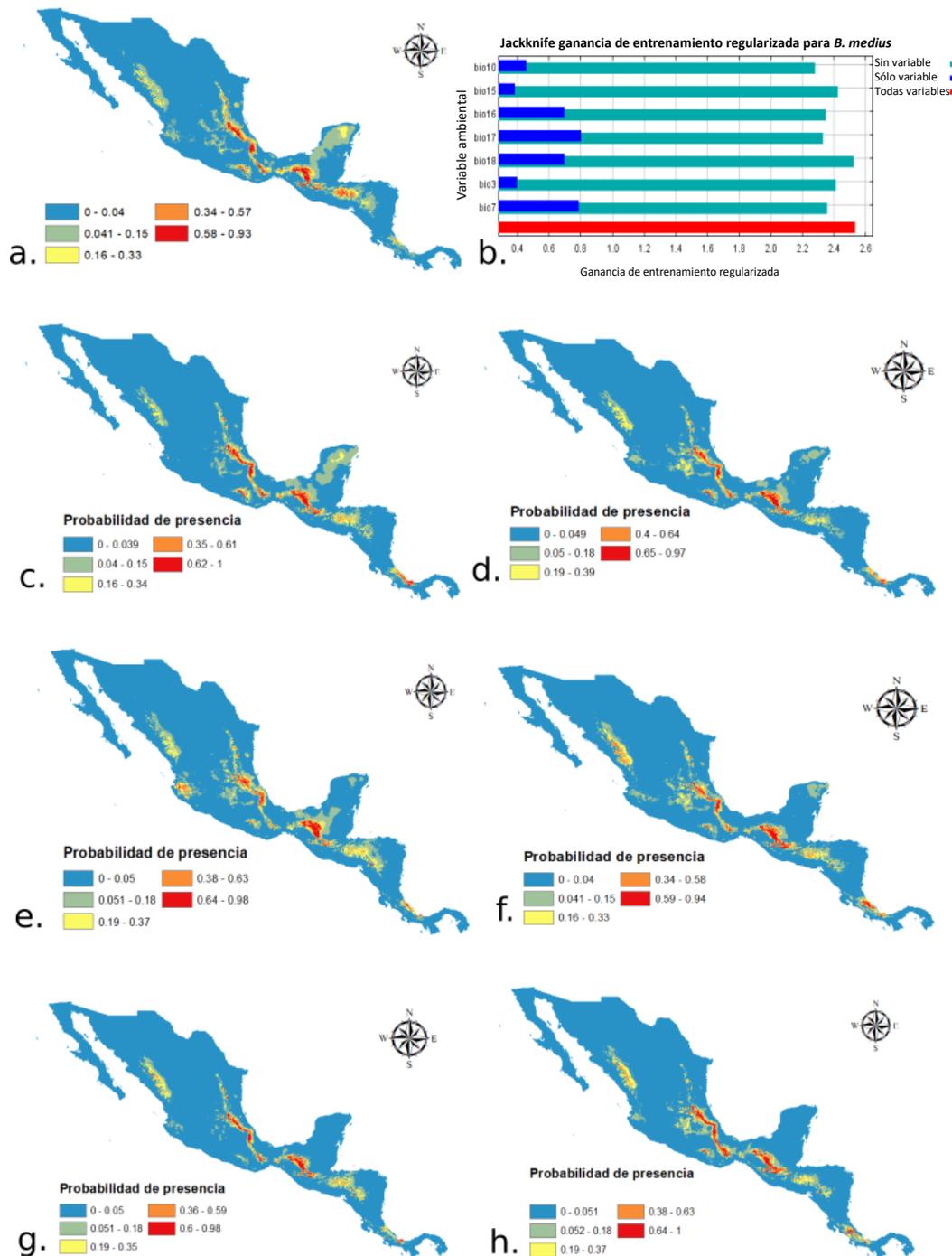


Figura 12. Mapas de distribución potencial de *Bombus medius* Cresson, 1863 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050 d) RCP 4.5, año 2070 , e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

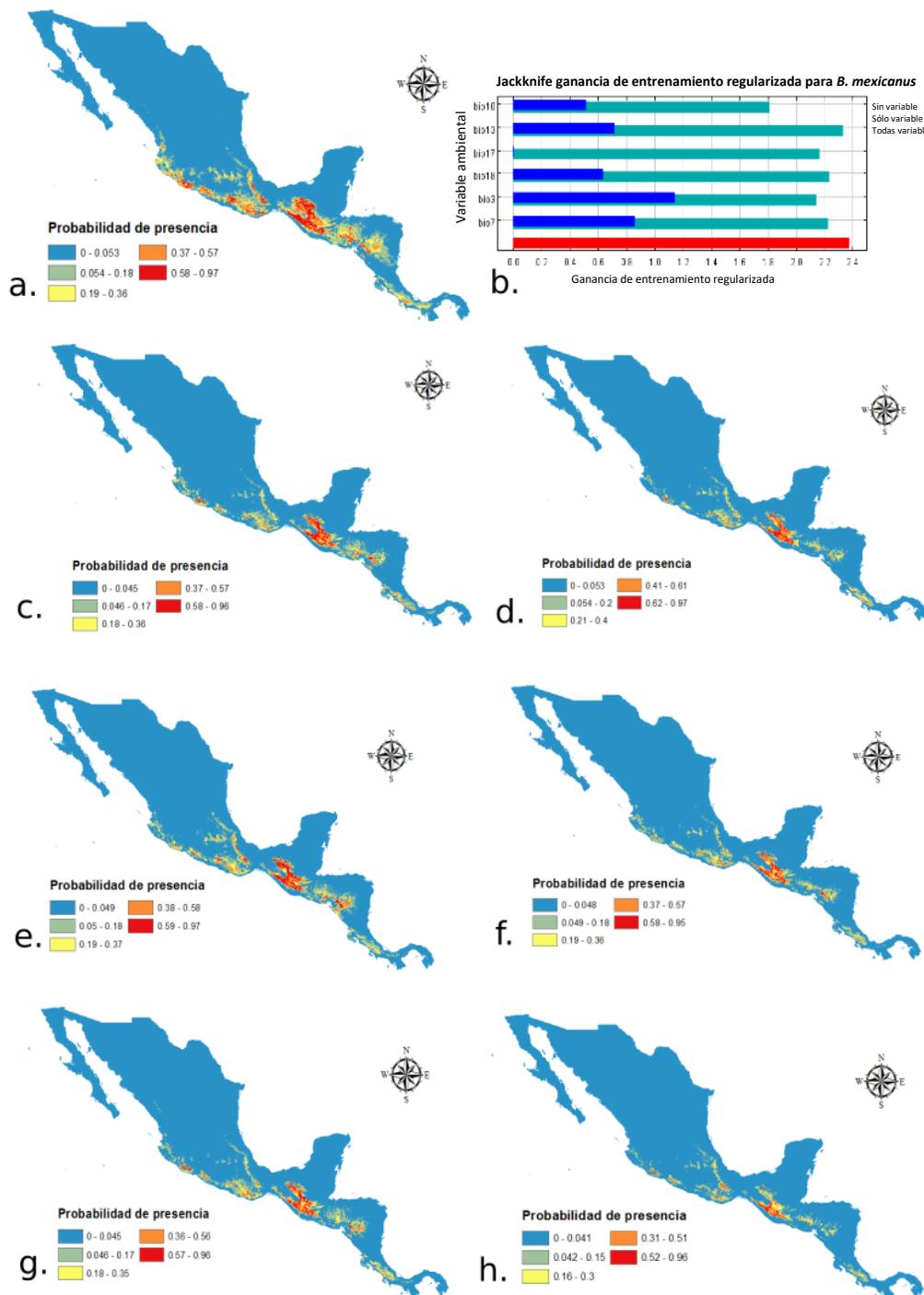


Figura 13. Mapas de distribución potencial de *Bombus mexicanus* Cresson, 1978 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

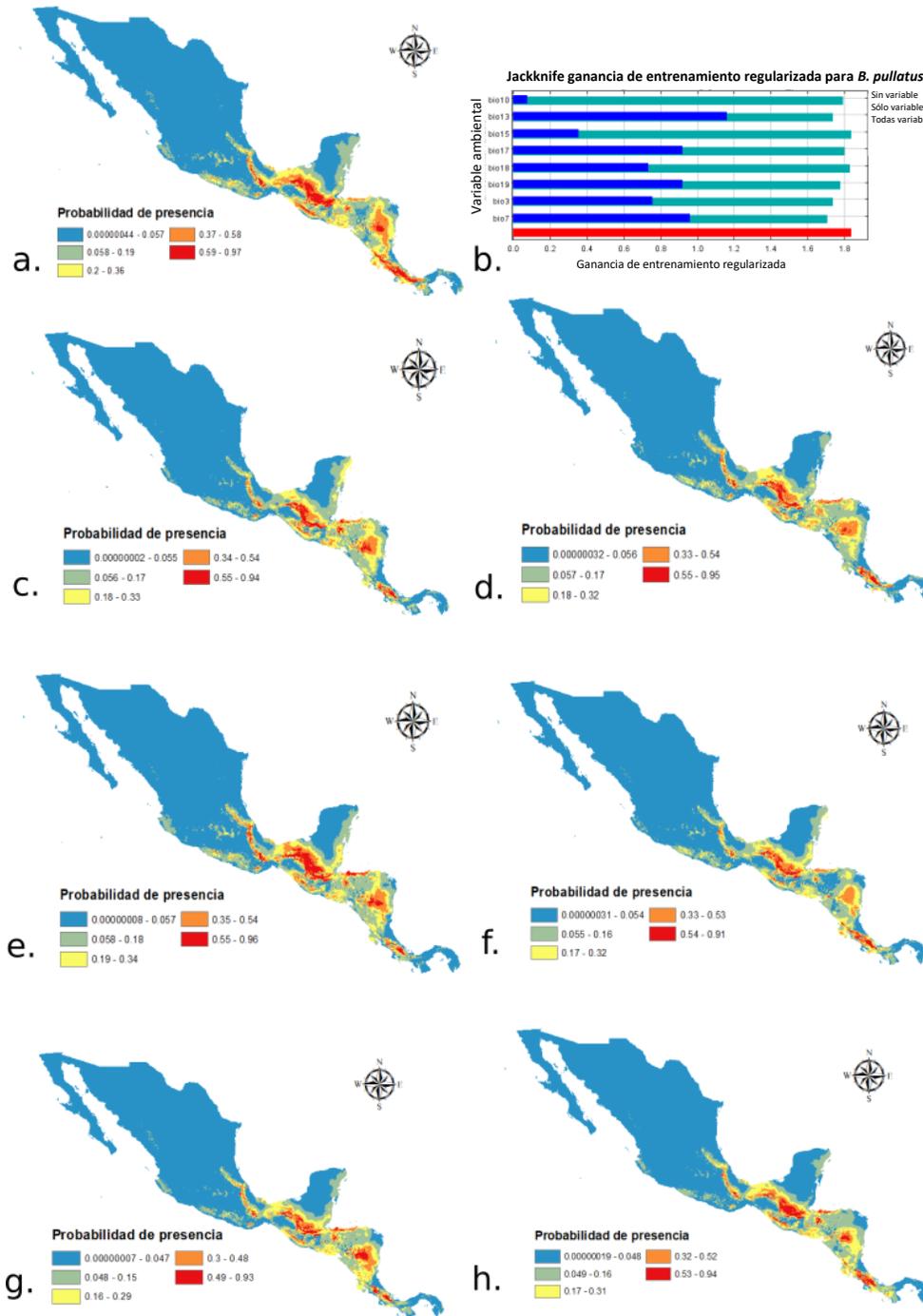


Figura 14. Mapas de distribución potencial de *Bombus pullatus* Franklin, 1913 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

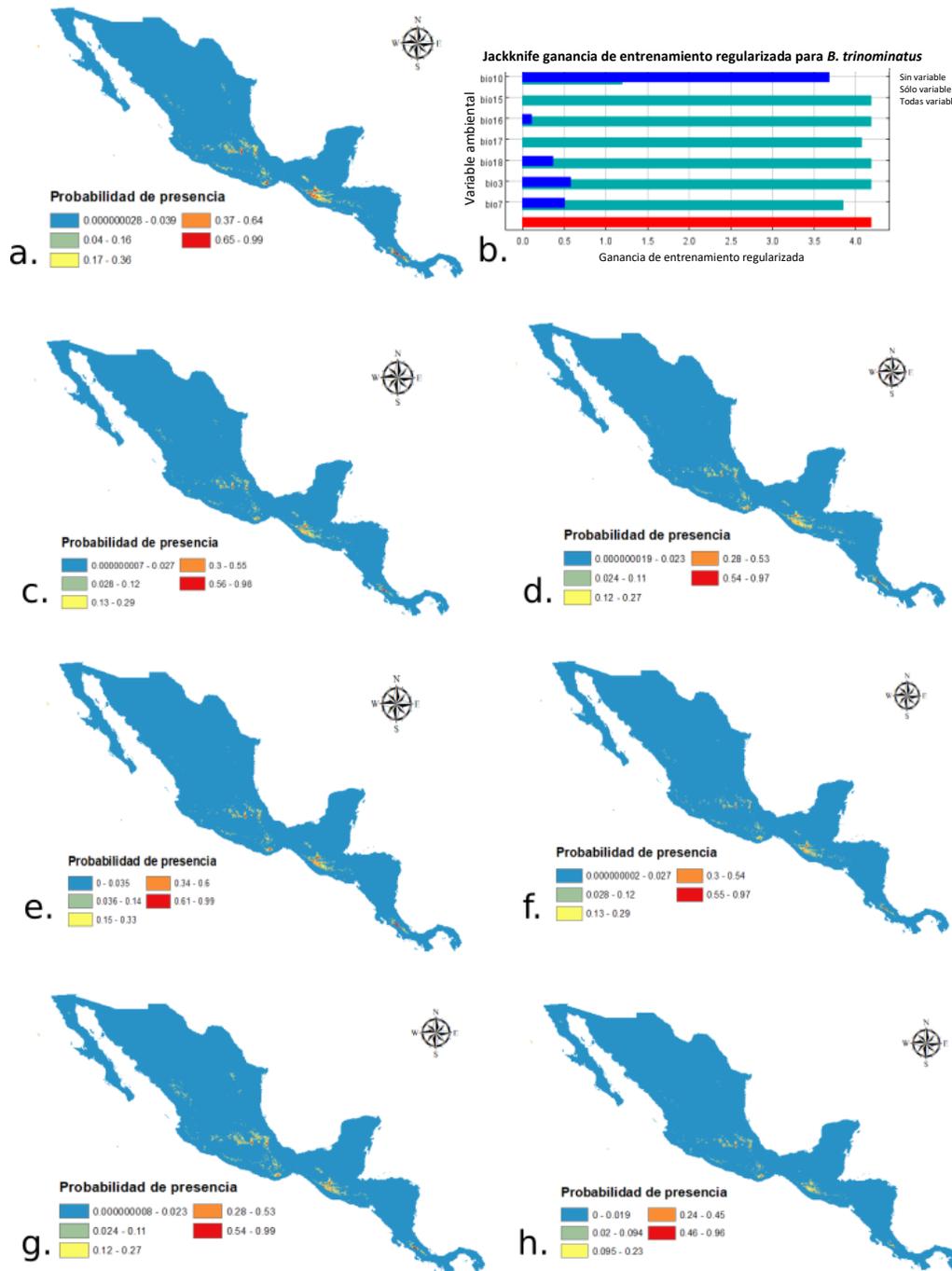


Figura 15. Mapas de distribución potencial de *Bombus trinominatus* Asperen de Boer, 1992 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

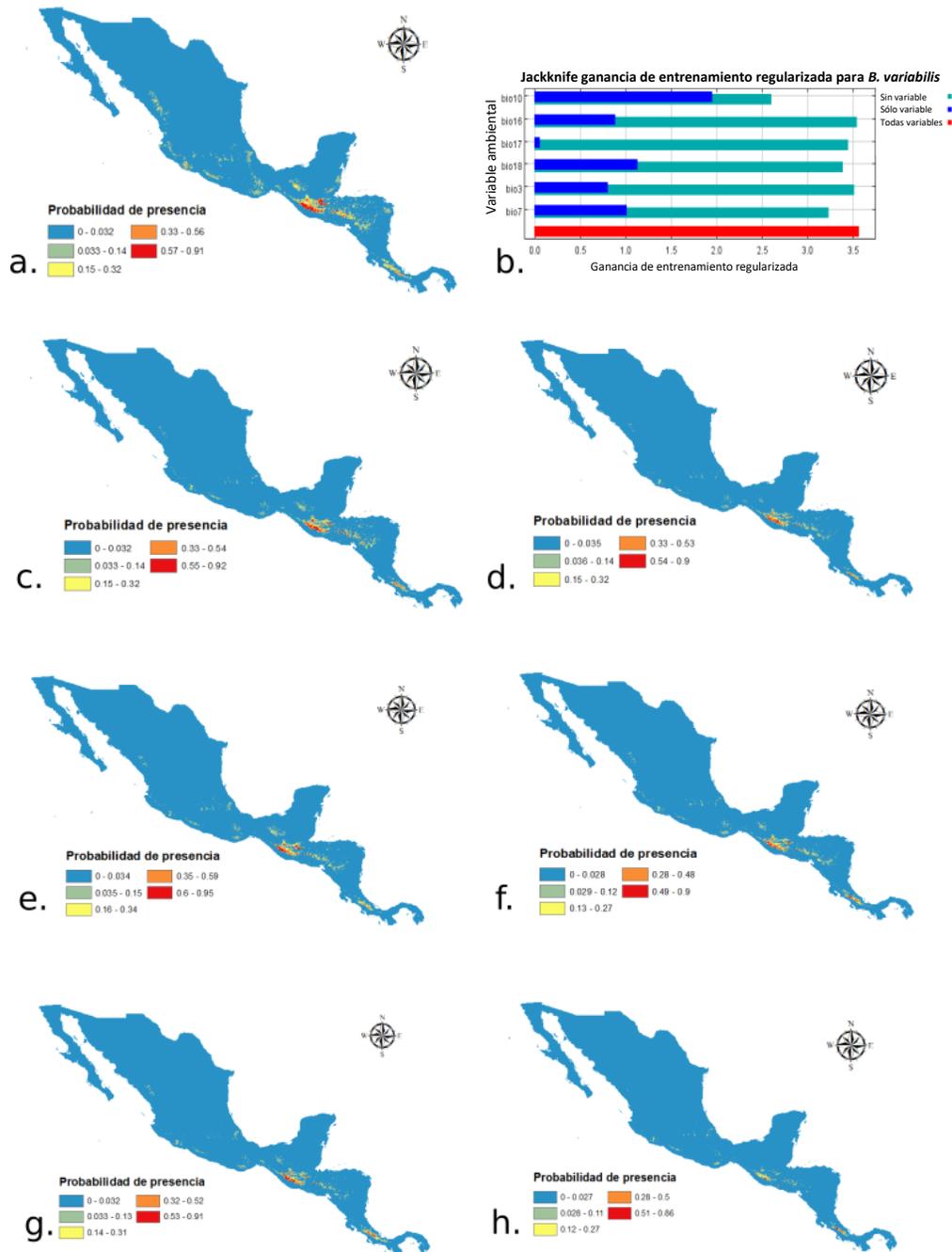


Figura 16. Mapas de distribución potencial de *Bombus variabilis* Cresson, 1872 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

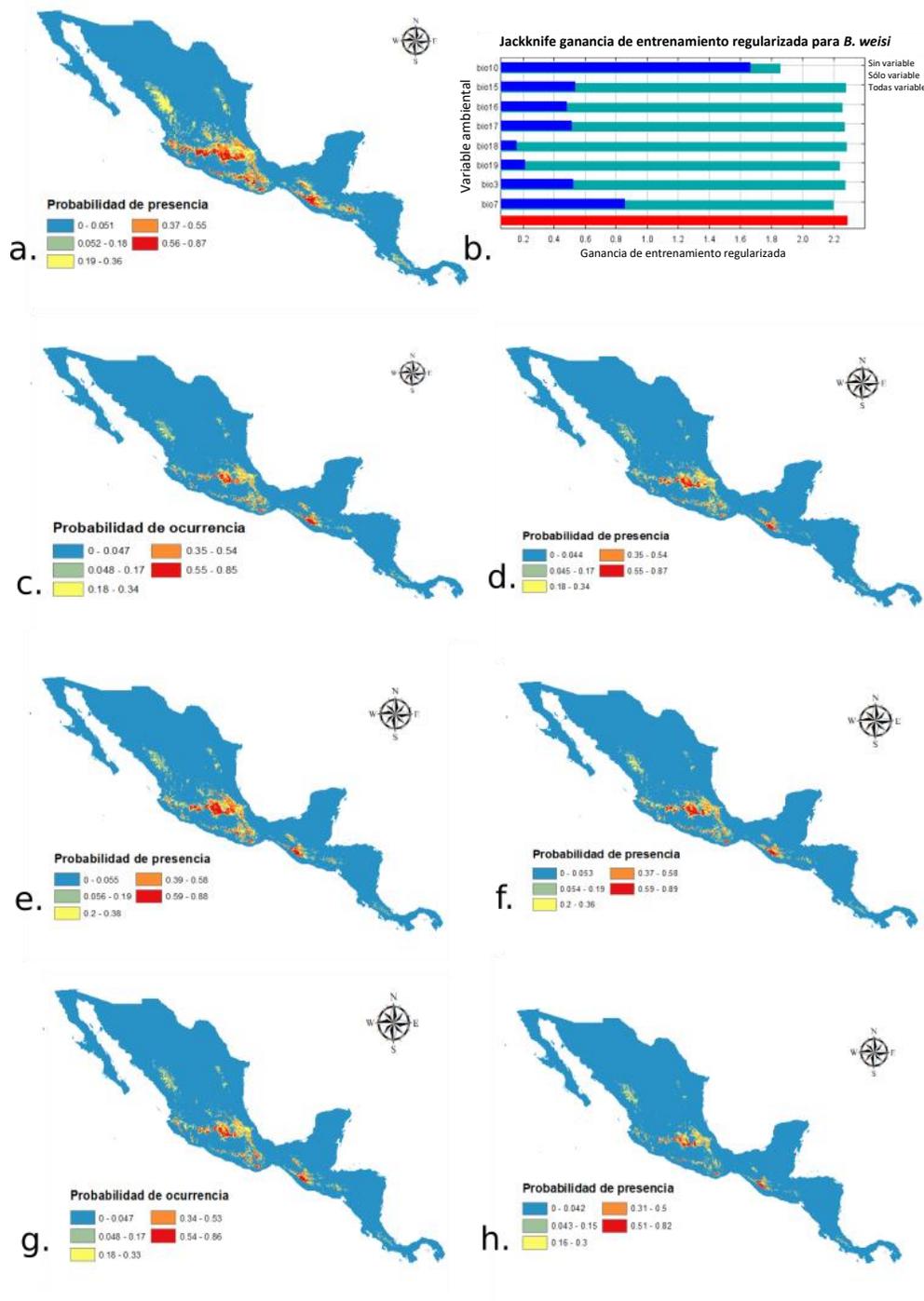


Figura 17. Mapas de distribución potencial de *Bombus weisi* Asperen de Boer, 1992 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

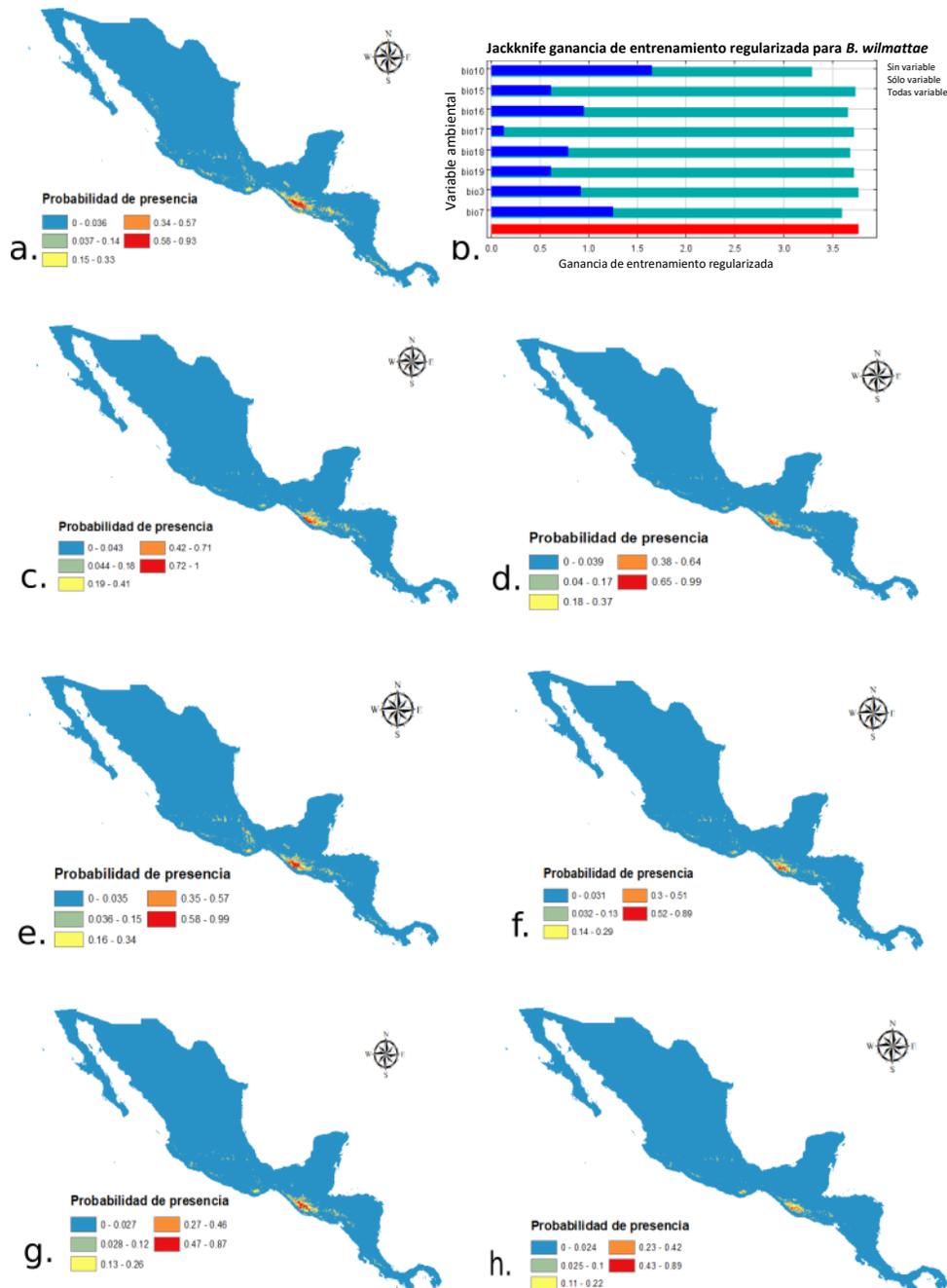


Figura 18. Mapas de distribución potencial de *Bombus wilmattae* Cockerell, 1912 para Mesoamérica según las variables Bioclim actuales y predichas; a) condiciones climáticas actuales, b) porcentaje de contribución de cada variable al modelo, c) RCP 4.5, año 2050, d) RCP 4.5, año 2070, e) RCP 6.0, año 2050, f) RCP 6.0, año 2070, g) RCP 8.5, año 2050, y h) RCP 8.5, año 2070.

Apéndice 4. Manuscrito científico elaborado como parte de los productos del proyecto.

Título Corto: Cambios temporales en la distribución altitudinal de *Bombus* de Guatemala

Cambios temporales de distribución altitudinal de *Bombus* (Apidae: Bombini) de Guatemala

Temporal changes of the altitudinal distribution of Bombus (Apidae: Bombini) of Guatemala

Natalia Escobedo-Kenefic*, Denisse Escobar, Jessica E. López

Centro de Estudios Conservacionistas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

*Autora a la que se dirige la correspondencia: escobedo.natalia@usac.edu.gt

Resumen

Los abejorros del género *Bombus* son abejas reconocidas por su alta eficiencia como polinizadores, lo que les ha dado gran importancia ecológica y económica a nivel mundial. El cambio climático es reconocido como una de las principales amenazas para la biodiversidad, y ha sido relacionado con las probabilidades de extinción de las especies actuales. Existen muy pocos estudios que aborden el tema de los efectos del cambio climático en las poblaciones de abejorros, y no se conoce ninguno para las especies de Guatemala. En este estudio se realizó una comparación entre los rangos de distribución altitudinal de los abejorros de Guatemala a partir de registros entre la década de 1940 al presente. Se encontró cambios significativos en distribución altitudinal para la composición de especies y para varias especies durante las últimas dos décadas.

Palabras clave: Abejorros, abejas, cambio climático, Mesoamérica

Abstract

Bumblebees (*Bombus spp.*) are well known for their high pollination efficiency, making them an economically and ecologically important group worldwide. Climate change has been identified as one of the main threats to biodiversity, and has been linked to high extinction probabilities for species nowadays. There are few studies that approach the subject of effects of climate change in bumblebee populations, and none is known for the species of Guatemala. This study presents a comparison among altitude ranges of Guatemalan bumblebees using data from 1940 to the present. We found a significant change in altitudinal distribution of some species during the last two decades.

Introducción

Los abejorros del género *Bombus* (Apidae: Bombini) son abejas con aguijón, abundantes en la región holártica, con muchas especies y subgéneros tanto en Eurasia como en Norteamérica. Este género se caracteriza por tener un comportamiento eusocial (verdaderamente social) en la

colonia, con excepción de las especies parásitas (Michener, 2007; Vásquez, Yurrita & Escobedo, 2010). Son abejas de tamaño mediano a grande (9 a 22 milímetros de largo), bombiformes y con abundantes setas que les dan una apariencia velluda (Michener, 2007).

El cambio climático causa fuertes impactos sobre las especies de abejorros (Kerr et al., 2015). Las poblaciones de abejorros, al igual que otros polinizadores, están sufriendo declives a escala global. Se considera que la causa de la disminución de las poblaciones está también relacionada con cambios en el uso del suelo, que afectan la disponibilidad de recursos florales. Sin embargo, el cambio climático podría tener un papel importante en el declive de las poblaciones de abejorros, debido a su posible efecto en la distribución de los recursos florales de los que se alimentan, en especial en el caso de las especies con menor tolerancia climática (Fernández & Emile, 2013). Por otra parte, estudios enfocados con especies propias de altitudes altas o de distribuciones altitudinales restringidas parecen estar cambiando en su distribución altitudinal como respuesta al cambio climático (Klanderud & Birks, 2003).

Numerosas especies del género *Bombus* son importantes para la economía, porque desempeñan un papel fundamental en la agricultura y consecuentemente en la seguridad alimentaria. La alteración ambiental, surgida a partir del cambio climático, ha provocado la disminución de varias especies de polinizadores, lo cual tiene importantes efectos en los ecosistemas naturales y agrícolas. Es probable que la disminución de polinizadores afecte la producción y costos de los cultivos, contribuyendo al desequilibrio alimentario y problemas de salud (Maglianesi, 2016).

No se han encontrado estudios que se enfoquen en los efectos del cambio climático en las especies de Guatemala o Mesoamérica, con excepción del estudio de Duennes, Lozier, Hines y Cameron (2012), se sugiere que los cambios climáticos ocurridos en el pleistoceno, luego del aislamiento geográfico, pudieron contribuir a la diversificación morfológica y genética de la especie *B. ephippiatus*.

El estado de conservación de 8 de las especies reportadas por Vásquez y colaboradores (2010), fue evaluado y clasificado dentro de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en años recientes, clasificando a *B. pullatus* como “deficiente de datos”. *B. macregori* y *B. ephippiatus* (incluyendo a *B. wilmattae* como parte del complejo) fueron clasificados como de “menor preocupación” (least concern), mientras que *B. medius* y *B.*

mexicanus fueron clasificados como “vulnerables”, *B. brachycephalus* fue clasificado como “amenazado”, y *B. variabilis* como “críticamente amenazado”. Esta evaluación sugiere que más de la mitad de las especies con datos suficientes para su clasificación, se encuentran bajo algún grado de amenaza (Duennes & Vandame, 2015; Escobedo, 2015a; Escobedo 2015b; Hatfield et al., 2016; Pineda Diez de Bonilla, Vandame, & Martínez, 2015; Vandame, Martínez-López & Pineda Diez de Bonilla, 2015a, 2015b).

La manera en la que el cambio climático afectará la producción agrícola, ecológica y la seguridad alimentaria dependerá de cómo la interacción planta-polinizador se vea influenciada. En este estudio hipotetizamos que las especies de abejorros de Guatemala se han desplazado altitudinalmente durante las últimas décadas. A partir de estos análisis, se espera obtener información que ayude a comprender el efecto que el cambio climático ha tenido y pueda tener en el futuro sobre los abejorros de Guatemala.

Materiales y métodos

Obtención de datos

Obtuvimos los datos utilizados en este estudio de los registros georreferenciados existentes en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang), complementados con registros obtenidos de bases de datos en línea (*Global Biodiversity Information Facility*, GBIF, por sus siglas en inglés) de todas las especies (www.gbif.org) y del Portal de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, para las especies *B. ephippiatus* y *B. wilmattae* (<https://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>).

Tomamos en cuenta registros de todas las especies del género *Bombus* nativas de Guatemala, correspondientes a toda la distribución geográfica de las mismas, extrayendo también la información geográfica y altitud en metros sobre el nivel del mar de cada uno. Los registros sin información de localidad de colecta exacta y/o sin fecha de la colecta no fueron tomados en cuenta para el análisis. Se realizó una revisión espacial de las localidades antes de tomar la información de altitud de cada registro.

Los registros utilizados fueron colectados en su mayoría en Guatemala y los estados del centro y sur de México, con pocos datos provenientes de Costa Rica y El Salvador.

Para las especies *Bombus wilmattae* y *Bombus ephippiatus* utilizamos solamente los registros provenientes de Guatemala, el sur de México y el extremo de Honduras, según lo indicado por Duennes y colaboradores (2012). Para la especie *Bombus trinominatus*, utilizamos sólo registros colectados en Guatemala.

Clasificamos los datos de altitud de todos los registros utilizados según la fecha de colecta en periodos de una década, con el fin de comparar la variación en los rangos altitudinales entre períodos y entre especies.

Procesamiento y análisis de información

Elaboramos gráficas de media y error estándar para describir la distribución de los datos de altitud por década, para todas las especies en conjunto y para cada especie individualmente.

Realizamos un Modelo Lineal Generalizado (GLM) para explicar los cambios de distribución altitudinal de las especies del género *Bombus* reportadas para Guatemala, a lo largo de las décadas. Para evaluar si existen diferencias significativas de las altitudes por décadas, por especie, realizamos análisis de varianza de una vía cuando los datos cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. En su defecto, se reportan los resultados de las pruebas de Wilcoxon y Kruskal-Wallis (en caso de datos no normales), o de Welch (en caso de haber datos normales con varianzas heterogéneas). Todas las pruebas se hicieron a un nivel de $\alpha = .05$). En el caso de encontrarse diferencias significativas en los análisis de varianza y pruebas de Welch, se realizaron pruebas pareadas de Tukey-Kramer (HSD). En el caso de obtener diferencias significativas en la prueba de Kruskal-Wallis, se realizó la prueba de pares de Mann-Whitney. Para la realización de los análisis utilizamos el paquete estadístico JMP(SAS) 8.0, y PAST 3.0.

Resultados

Se obtuvo un total 742 datos, de los cuales 45 datos corresponden a la especie *B. brachycephalus*, 225 a *B. ephippiatus*, 23 a *B. macgregori*, 26 a *B. medius*, 41 a *B. mexicanus*, 36 a *B. pullatus*, 67 a *B. wilmattae*, 36 a *B. variabilis*, 10 a *B. trinominatus*, y 233 a *B. weisi*. La mayor parte las especies, con excepción de *B. weisi*, *B. pullatus* y *B. mexicanus*, presentaron muy pocos datos antiguos, siendo que la mayoría corresponden a la década de los 80 y posteriores (Figura 1).

Los resultados del modelo lineal generalizado, detallados en la Tabla 1, indican un efecto significativo del tiempo, dado por la estimación correspondiente a la década del 2010 en adelante. Así mismo, las estimaciones correspondientes a todas las especies con excepción de *B. pullatus*, contribuyen significativamente al modelo.

La Figura 2 muestra la distribución de los datos de altitud por década y por especie. Para la mayoría de casos no se cuenta con registros para todas las décadas, o se cuenta con registros escasos. En el caso de *B. brachycephalus* (Figura 2a) se obtuvo una diferencia significativa en el aumento de altitud ($p = .0001$) entre la década de 1960 y la del 2000 ($p = 0.486$) y entre las décadas de 1950 y 1960 y la del 2010 ($p = .0489$ y $p = .0018$). Para *B. ephippiatus* (χ^2 , $p < .001$) y *B. wilmattae* (χ^2 , $p < .037$) también se encontró diferencia significativa entre las décadas del 2000 y 2010 respecto a las anteriores ($p < .01$) (Figura 2b y 2g). Para los registros de *B. pullatus* (Figura 2f) se encontró diferencia significativa entre la década del 2010 y las anteriores (χ^2 , $p < .001$). Para *B. weisi* (Figura 2j) se encontró una diferencia significativa (χ^2 , $p < .02$) entre la década de 1990 y las décadas del 2000 y 2010 ($p = .01$ y $p = .02$, respectivamente) y entre las décadas del 2000 y 2010 ($p = .02$). En cuanto a las otras especies evaluadas, *B. macgregori* (Figura 2c), *B. medius* (Figura 2d), *B. mexicanus* (Figura 2e), *B. variabilis* (Figura 2h) y *B. trinominatus* (Figura 2i), las pruebas no permitieron encontrar diferencias significativas en cuanto a los datos de altitud entre décadas.

Discusión de resultados

En cuanto a la distribución general de los datos, se observa una tendencia hacia altitudes mayores en las décadas recientes, principalmente en la última década, aunque para algunas especies, principalmente *B. trinominatus*, *B. variabilis* y *B. weisi*, solamente se presentan datos correspondientes a las últimas décadas. Cabe mencionar que estas especies son raras y sus registros son escasos en comparación con las especies abundantes, como *B. ephippiatus* y *B. wilmattae* (Vásquez et al., 2010). Este fenómeno se observa incluso en las especies de altitudes bajas, principalmente *B. weisi* y *B. pullatus* (Figura 1).

El modelo lineal generalizado (Tabla 1) muestra que esta tendencia tiene un efecto significativo para el conjunto de especies en el cambio entre la década del 2000 y la del 2010. Esto sugiere que la tendencia de las especies a distribuirse a altitudes mayores fue más marcada durante estas dos décadas, lo que coincide con estudios realizados para otros taxones, principalmente vegetación (Klanderud & Birks, 2003).

En cuanto a los cambios en distribución altitudinal a nivel de especie, se encontró diferencias significativas en cambios altitudinales en las últimas décadas tanto en especies propias de altitudes mayores (*B. brachycephalus*, *B. ephippiatus*, *B. wilmattae*) (Figuras 2a, 2b y 2g), como de altitudes bajas (*B. pullatus* y *B. weisi*) (Figuras 2f y 2j). En el caso de las especies especialistas de altitudes altas, estas podrían tener más dificultad en encontrar refugios y podrían correr peligro de extinguirse (Gottfried, Pauli, Reiter, & Grabherr, 1999). Por otra parte, las especies de altitudes medias y bajas también podrían estar amenazadas debido a la disminución de hábitats disponibles que sirvan como refugio ante el potencial cambio de clima y composición de la estructura de la vegetación en sus hábitats (Klanderud & Birks, 2003). En el caso de *B. pullatus*, los registros de la década de 1960 reportan distribuciones altitudinales de menos de 100 msnm, lo cual no vuelve a repetirse en las décadas posteriores (Figura 2f).

En cuanto a las composiciones de especies, los cambios presentan variaciones que podrían explicarse por la biología de las especies, ya que algunas tienen rangos altitudinales más amplios que otras. Esta variación puede responder también a los cambios de hábitat y recursos florales

disponibles, y podría afectar o causar disrupción en la estructura de las interacciones entre los abejorros y las plantas que visitan (Lenoir, Marquet, Ruffray, & Brisse, 2008).

Finalmente, cabe mencionar que algunas de las especies de las cuales no se observó cambios significativos son especies raras y de distribuciones restringidas (*B. macgregori* y *B. trinominatus*) (Figuras 2c y 2i), o que están clasificadas bajo algún grado de amenaza (*B. medius*, *B. mexicanus* y *B. variabilis*) (Figuras 2d, 2e y 2h) (Hatfield et al., 2016; Escobedo, 2015b; Pineda et al, 2015; Vandame et al., 2015a) las cuales podrían no estarse moviendo debido a que no dispongan de hábitat disponible, lo cual implicaría una amenaza para su conservación.

Agradecimientos

Esta investigación fue cofinanciada por Digi-Usac (2018), proyecto: 4.8.63.2.10.

Referencias

- Duennes, M. D., Lozier, J. D., Hines, M. H., & Cameron, S. A. (2012). Geographical patterns of genetic divergence in the widespread Mesoamerican bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 64, 219-231.
- Duennes, M. D., & Vandame, R. V. (2015). *Bombus ephippiatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T21215149A21215217. doi:10.2305/IUCN.UK.2015
- Escobedo, N. (2015a). *Bombus macgregori*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi:10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215144A21215253.
- Escobedo, N. (2015b). *Bombus medius*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi:10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215154A21215257.
- GBIF.org (Noviembre, 2018). GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.lvaqls>
- Fernández, P., & Emile, C. (2013). *Desplazamientos altitudinales y características ecológicas de los abejorros (Bombus Spp.) de la Cordillera Cantábrica* (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo, España.
- Gottfried, M., Pauli, H., Reiter, K., & Grabherr, G. (1999). A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming. *Diversity and Distributions*, 5(6), 241–251. doi: 10.1046/j.1472-4642.1999.00058.x
- Hatfield, R., Jepsen, S., Thorp, R., Richardson, L., Colla, S., & Foltz Jordan, S. (2016). *Bombus variabilis*. The IUCN Red List of Threatened Species. doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T21215168A21215249.

- Instituto de Biología (IBUNAM), Insectos. En *Portal de Datos Abiertos UNAM Colecciones Universitarias* (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/>
- Kerr, J. T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S., Roberts, S. M., ... & Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349(6244), 177-180.
- Klanderud, K., & Birks, H. J. B. (2003). Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *Holocene*, 13(1), 1–6. doi: 10.1191/0959683603hl589ft
- Lenoir, J., Marquet, P. A., Ruffray, P. De, & Brisse, H. (2008). A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century, 320(June), 1768–1771. doi: 10.1126/science.1157704
- Maglianesi, A. (2016). Efectos del cambio climático sobre la polinización agrícola en América Tropical, *Revista Ingeniería*, 26(1), 25-38.
- Michener, C. (2007). *The Bees of the World*. Baltimore, Estados Unidos de América: Johns Hopkins University Press.
- Pineda Diez de Bonilla, E., Vandame, R. V., & Martínez, O. G. (2015). *Bombus brachycephalus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi: 10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215153A21215185.
- Vandame, R. V., Martínez López, O. G., & Pineda Diez de Bonilla, E. (2015a). *Bombus mexicanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi: 10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215169A21215265.
- Vandame, R. V., Martínez López, O. G., & Pineda Diez de Bonilla, E. (2015b). *Bombus pullatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T21215158A21215285.
- Vásquez, M., Yurrita, C., & Escobedo, N. (2010). Determinación y distribución de las especies de abejorros (*Bombus*) en las áreas bióticas chimalteca, volcánica y Escuintleca en Guatemala. (Informe de proyecto FODECYT 13-2009) Guatemala: Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.

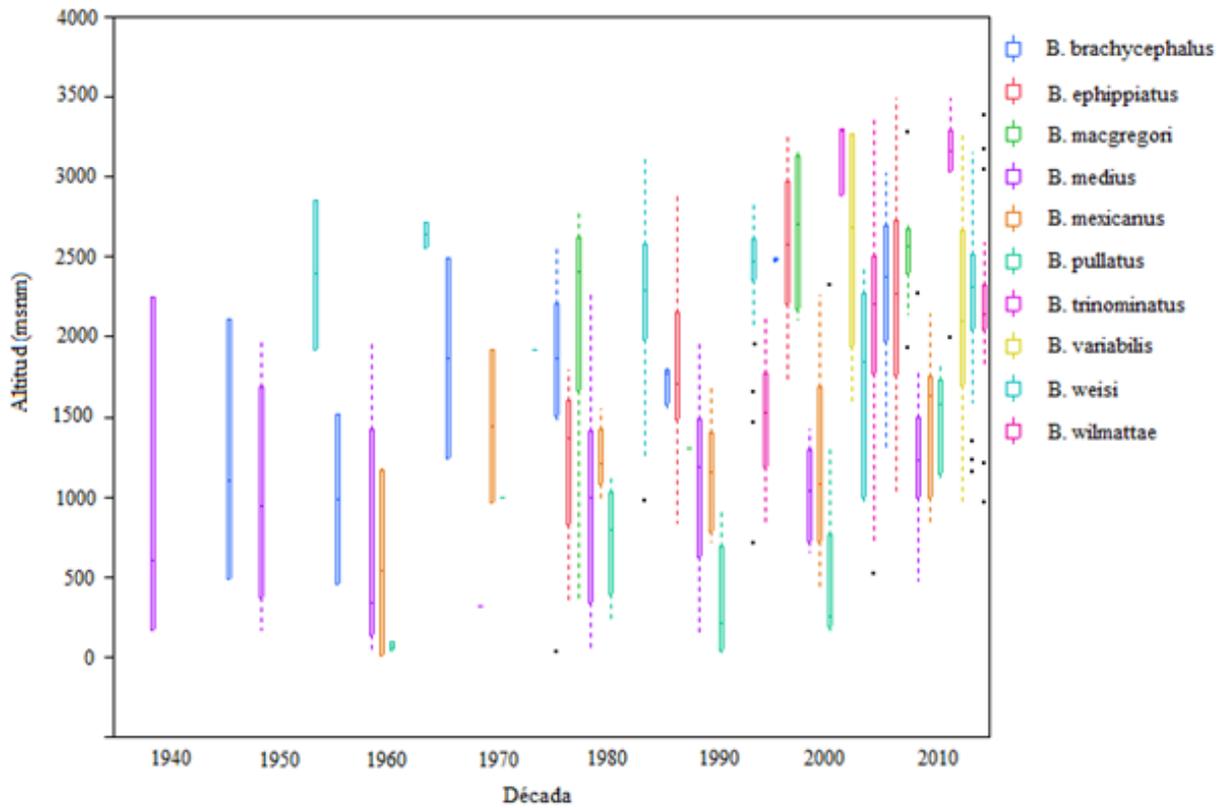


Figura 1. Distribución de los datos de altitud de los registros de abejorros del Género *Bombus* presentes en Guatemala, a lo largo de las décadas. Datos obtenidos de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang), y las bases de datos en línea *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, por sus siglas en inglés) y de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

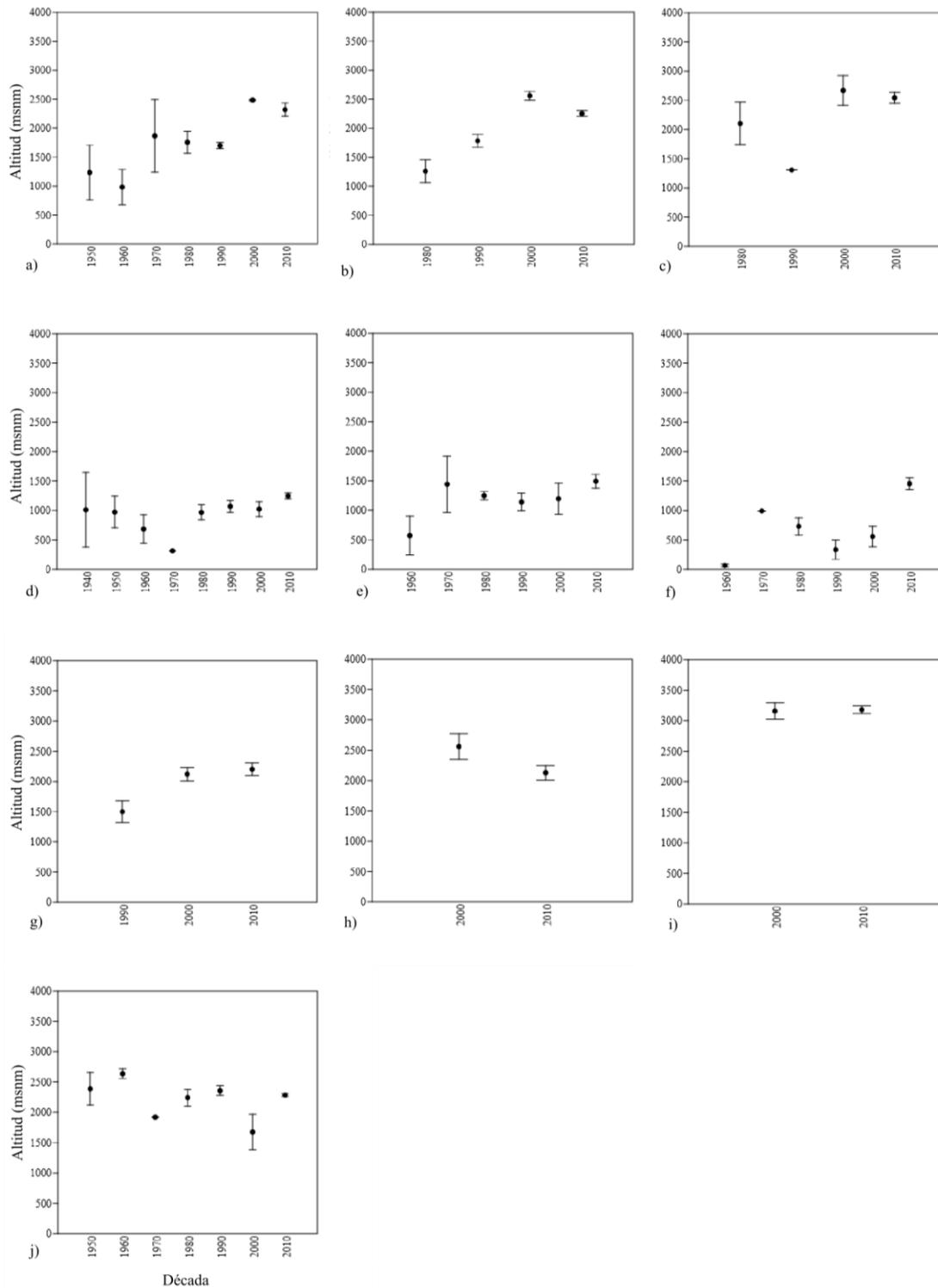


Figura 2. Distribución de los datos de altitud para cada especie de abejorro, por década: a) *B. brachycephalus*, b) *B. ephippiatus*, c) *B. macgregori*, d) *B. medius*, e) *B. mexicanus*, f) *B. pullatus*, g) *B. wilmattae*, h) *B. variabilis*, i) *B. trinominatus*, y j) *B. weisi*. Fuente: base de datos de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (Cang), y las bases de datos en línea *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, por sus siglas en inglés) y de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Tabla 1

Modelo lineal generalizado para explicar los cambios de distribución altitudinal de las diez especies del género *Bombus* registradas en Guatemala a lo largo del tiempo, por décadas, desde 1940 hasta el presente. Distribución: normal, función de enlace: identidad, método de estimación: máxima verosimilitud.

Respuesta	AICc		DF	Chi ²	L-R Chi ²	Prob > Chi ²
Altitud	13004.162					
		Modelo				
		Completo	16		597.1971	<.0001*
		Pearson	825	2.406e+8		0.0000*
		Deviance	825	2.406e+8		0.0000*
		Efectos				
		Década	7		56.286664	<.0001*
		Especie	9		436.78554	<.0001*
		Parámetros				
			Estimación	SE	L-R Chi ²	Prob > Chi ²
		Intercepto	1757.4267	313.30089	30.891574	<.0001*
		Década (1950-1940)	-92.29228	343.71112	0.0720983	0.7883
		Década (1960-1950)	-327.0144	189.70619	2.9662349	0.0850
		Década (1970-1960)	431.84667	234.01469	3.3985695	0.0653
		Década (1980-1970)	-65.03286	212.01758	0.0940801	0.7591
		Década (1990-1980)	53.19601	81.170246	0.4293917	0.5123
		Década (2000-1990)	307.3126	77.174944	15.709071	<.0001*
		Década (2010-2000)	-56.36563	59.590882	0.8942078	0.3443
		<i>B. brachycephalus</i>	87.736401	79.023378	1.2317732	0.2671
		<i>B. ephippiatus</i>	243.28408	43.720182	30.408682	<.0001*
		<i>B. macgregori</i>	468.7207	104.12212	20.024779	<.0001*
		<i>B. medius</i>	-746.4267	54.026271	172.04412	<.0001*
		<i>B. mexicanus</i>	-586.6212	80.982442	50.90262	<.0001*
		<i>B. pullatus</i>	-1133.914	85.417909	160.00871	<.0001*
		<i>B. trinominatus</i>	1042.3135	154.37421	44.396361	<.0001*
		<i>B. variabilis</i>	214.02624	85.528186	6.2388646	0.0125*
		<i>B. mexicanus</i>	334.34344	43.94607	55.979465	<.0001*

Apéndice 5. Material divulgativo elaborado para el proyecto.

Abejorros de Guatemala

Bombus xelajuensis
Asperen de Boer, 1992
Es muy similar a *B. trinominatus*, por lo que el estado de conservación de ambas especies ha sido evaluado en conjunto. Se le ha encontrado en Huehuetenango, Quetzaltenango, San Marcos y Totonicapán; entre 1982 y 3504 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus macgregori
Labouge y Ayala, 1985
También se le conoce como *B. menchuae* y *B. rasmonti*. Ha sido encontrado en Chimaltenango, Escuintla, Quetzaltenango, Sacatepéquez y San Marcos; en altitudes entre 2312 y 3263 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus wilsii
Fries, 1903
Ha sido registrado en Baja Verapaz, Chimaltenango, Quetzaltenango, Sacatepéquez, San Marcos y Sololá; en altitudes entre 1576 y 3163 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus wilmattae
Cockerell, 1912
Es muy semejante a *B. ephippiatus*. Se le ha encontrado en Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso, Escuintla, Huehuetenango, Jalapa, Jutiapa, Quetzaltenango, Quiché, Sacatepéquez y San Marcos, Santa Rosa, Sololá, Suchitepéquez y Totonicapán; en altitudes entre 1015 y 3500 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus variabilis
Cresson, 1872
Se le ha encontrado en Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso, Huehuetenango, Quetzaltenango, Sacatepéquez, San Marcos y Totonicapán; entre los 1204 y 3293 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus medius
Cresson, 1863
Se le ha encontrado en Alta Verapaz, Baja Verapaz y Petén; en altitudes entre 462 y 1280 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus pullatus
Franklin, 1913
Encontrado en Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal y Quiché; en altitudes entre 171 y 1620 msnm. Sin clasificación en la Lista Roja (datos insuficientes).
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC DD

Bombus brachycephalus
Hendrich, 1888
Ha sido encontrado en Quetzaltenango, San Marcos y Sololá; entre 2381 y 3000 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus ephippiatus
Say, 1837
Se le ha encontrado en Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso, Escuintla, Huehuetenango, Jalapa, Quetzaltenango, Quiché, Sacatepéquez y San Marcos, Santa Rosa, Sololá, Suchitepéquez y Totonicapán; en altitudes entre 1732 y 3500 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Bombus mexicanus
Cresson, 1878
Ha sido encontrado en Chimaltenango, Escuintla, Huehuetenango, Guatemala, Quiché, Sacatepéquez y Sololá; en altitudes entre 815 y 2271 msnm.
Extinto Amenazado Preocupación mejor
EX EW CR EN VU NT LC

Referencias: Gerónimo, M.A., Kurita, C.I., Escobedo, N. y Vásquez, M. (2013). *Bombus* de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 84 pp. @Quines, M.D. & Vardanis, A.V. (2015). *Bombus xelajuensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. @Vásquez, N. (2015). *Bombus macgregori*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. @Escobedo-Renfro, N. (2015.2). *Bombus medius*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. @Wardanis, A.V., Thompson, N., Richardson, L., Collins, S. & Soto yubon, S. (2016). *Bombus variabilis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. @Martinez López, O. & Vardanis, A.V. (2015). *Bombus trinominatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. @Wardanis, A.V., Vardanis, A.V. & Martínez López, O.G. (2015). *Bombus brachycephalus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. @Quines, M.D. & Martínez López, O.G. (2016). *Bombus wilsii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. @Vardanis, A.V., Martínez López, O.G. & Patricia Dora de Bonilla, E. (2015). *Bombus mexicanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015.

Abejorros (*Bombus* sp.) de Guatemala: distribución y clasificación en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Este cartón es un producto del proyecto de investigación "Distribución potencial de las abejas nativas de Guatemala ante posibles escenarios del cambio climático, fase II: *Bombus* (Apidae: Bombini)", avalado, aprobado y financiado por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, partida presupuestal 4.9.63.2.10. Equipo de investigación: Natalia Escobedo, Jessica López, Dennis Escobar, Susier Enriquez, Quetzil Casá, Oscar Martínez y Edson Cardona. Unidad para el Conocimiento, Obis y Valoración de la Biodiversidad/CECON/USAC. Autor: Quetzil Casá (ilustraciones) y Natalia Escobedo (digitalización y adaptación de imágenes). Tipo de letra "Bumblebee". ©Miguel Grebbick.

Figura 19. Afiche divulgativo para el conocimiento e identificación de las 10 especies del género *Bombus* presentes en Guatemala, con sus respectivas clasificaciones dentro de la Lista Roja de la UICN.

17. Agradecimientos

El equipo de trabajo 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 a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.2.10 durante el año 2018.

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 a Pablo Lee y a Astrid Valladares por su valioso apoyo durante el trabajo de campo, y en particular a Edson Cardona por su valioso apoyo tanto en el campo como en la revisión de este documento. Agradecemos también la Dra. Eunice Enríquez por sus aportes al proceso de investigación y al bachiller Quebin Casiá por sus invaluable contribuciones, así como su compromiso y duro trabajo para el éxito del proyecto.

Listado de los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Maria Eunice Enríquez	
Quebin Casiá	
Edson Cardona	
Oscar Gustavo Martínez	

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	
Natalia Escobedo Kenefic	Coordinadora	20070196	x		
Jéssica Esmeralda López López	Investigadora	20061049	x		
Darlene Denisse Escobar González	Auxiliar de Investigación II	20180733	x		

Guatemala 29 de noviembre 2018

Natalia Escobedo Kenefic
Coordinadora de Proyecto

Ing. Agr. Augusto Saúl Guerra Gutiérrez
Programa Recursos Naturales y Medio Ambiente

Rufino Salazar
Coordinador General de Programas