

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PIURNA)  
(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en tres  
ecosistemas de Guatemala.  
nombre del proyecto de investigación

B11-2021  
código del proyecto de investigación

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas  
unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Natalia Escobedo Kenefic, coordinadora  
Alfredo Mejía Coroy, auxiliar de investigación II

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Guatemala, 28 de febrero de 2022

## Autoridades

Dr. Hugo René Pérez Noriega  
Director General de Investigación

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

Ing. Agr. Saúl Guerra Gutiérrez  
Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

## Autores

Coordinadora de proyecto  
Licda. Natalia Escobedo Kenefic

Investigadora  
Dra. María Eunice Enríquez Cotton

Auxiliar de investigación II  
P.C. Osbel Alfredo Mejía Coroy

### Colaboradores:

Br. Edson Eduardo Cardona Valenzuela

Br. Darlene Denisse Escobar González

Br. Navil Duyzad Ventura Sáenz

Br. Quebin Bosbely Casiá Ajché

Unidad de Conocimiento, Uso y Valoración de la Biodiversidad, UBio, CECON-USAC

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través del código B-11 2021 en el Programa Universitario de Investigación de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PIURNA).

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

## Dirección General de Investigación

### INFORME FINAL

#### 1. Índice

1.	Índice general	3
2.	Resumen y palabras claves	5
3.	Introducción	7
4.	Planteamiento del problema	9
5.	Delimitación en tiempo y espacio	10
5.1	Delimitación en tiempo	10
5.2	Delimitación espacial	10
6.	Marco teórico	11
7.	Estado del arte	16
8.	Objetivos	17
8.1	Objetivo general	17
8.2	Objetivos específicos	18
9.	Hipótesis	18
10	Materiales y métodos	18
10.1	Enfoque de la investigación	18
10.2	Método	18
10.3	Recolección de información	19
10.4	Técnicas e instrumentos	20
10.5	Procesamiento y análisis de la información	21
11.	Resultados y discusión	23
11.1	Resultados	23
11.2	Discusión de resultados:	36
12.	Referencias	39
13.	Apéndice	49

13. 1 Apéndice 1	49
13.2 Apéndice 2.	52
13.3 Apéndice 3.	86
14. Aspectos éticos y legales	87
15. Vinculación	87
16. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	87
17. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS	88
18. Orden de pago final	88
19. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación	88
20. Aval de la directora del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario	89
21. Visado de la Dirección General de Investigación	89

## Índice de tablas

Tabla 1 Estimadores estructurales de redes de interacción planta-polinizador.	14
Tabla 2 Definición de los ecosistemas contempados en este estudio.	15
Tabla 3 Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de tres ecosistemas en Guatemala.	26
Tabla 4 Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de cuatro provincias de humedad en Guatemala.	27
Tabla 5 Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de cuatro pisos altitudinales en Guatemala.	28
Tabla 6 Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de nueve zonas de vida en Guatemala	29
Tabla 7 Especies núcleo y especies periferia en 43 redes de interacción planta-abeja de tres ecosistemas en Guatemala	30
Tabla 8 Respuesta de cinco estimadores estructurales de red de interacción planta abeja a cuatro variables del contexto ambiente en Guatemala	31
Tabla 9 Condiciones climáticas promedio que caracterizan a tres ecosistemas en Guatemala	33
Tabla 10 Modelo lineal explicativo de la influencia de la temperatura y precipitación promedio anual en el anidamiento de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala	34
Tabla 11 Modelo lineal explicativo de la influencia de la temperatura y precipitación promedio anual en la especialización de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala	35

## Índice de figuras

Figura 1. Mapa con clasificación de zonas de vida basada en el sistema de Holdridge, según IARNA-URL, 2018.	16
Figura 2. Comparación del anidamiento de las redes de interacción planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala.	32
Figura 3. Comparación de la especialización de las redes de interacción planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala.	32
Figura 4. Relación de la temperatura anual promedio y el anidamiento de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala.	35
Figura 5. Relación de la temperatura anual promedio y la especialización de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala.	36

## 2. Resumen y palabras claves

Las redes ecológicas permiten estudiar las relaciones entre niveles tróficos a escala de comunidades, por medio de métricas de la estructura del sistema. Sin embargo, el conocimiento sobre los patrones estructurales de redes de ecológicas en gradientes ambientales es escaso, y los trópicos no son la excepción. Este estudio busco definir la influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala: bosque de montaña, la selva lluviosa baja y el bosque seco de Guatemala. Se utilizaron los registros de interacción planta-abeja de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, y los mapas con la clasificación de las zonas de vida, provincias de humedad, pisos altitudinales y ecosistemas para Guatemala. Con la corrección de las métricas de las redes planta-abeja por modelos nulos, se encontró que el anidamiento de las redes fue mayor en el bosque de montaña, en comparación a el bosque seco, mientras que la especialización de las redes en fue mayor la selva lluviosa en comparación a el bosque de montaña. Estos resultados sugieren que las redes planta-abeja en ecosistemas de montaña son generalizadas, patrón estructural de red que podrían facilitar la extinción local de las interacción y especies especialistas, conformando sistemas planta-polinizador con pocos interactuantes e interacciones entre los mismos. Asimismo, encontramos efectos significativos de la temperatura sobre el anidamiento y especialización de las redes. En cuanto a la influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja, sugerimos que las diferencias en temperatura del ecosistema de montaña, en comparación los

ecosistemas de bosque seco y selva lluviosa baja, pueden explicar de forma indirecta la generalización encontrada en las redes de ecosistemas montañosos de Guatemala.

Palabras clave: anidamiento, colección biológica, especialización, generalización y polinizador.

## **Abstract and keywords**

The network ecology approach allows to study trophic level relationships at a community scale, through topological networks descriptors of the biological system. However, knowledge about ecological network structural patterns in environmental gradients is still scarce, and the tropics are no exception. The present study sought to define the influence of environmental context on the structure of plant-bee interactions structure in three ecosystems, in Guatemala: mountain forest, low rainforest and dry forest. In order to achieve this objective, we analyzed the plant-bee interactions records of the *Colección de Abejas Nativas de Guatemala* according to the updated map classification of life zones, humidity provinces, altitudinal floors, and ecosystems of Guatemala. Based on the plant-bee interaction network descriptors corrected by null models, we found that network nestedness was greater in mountain forest ecosystems, compared to dry forest ecosystems. Therefore, network specialization in low rainforest ecosystems was greater compare to mountain forest ecosystems. This suggests that plant-bee networks in mountain ecosystems have a tendency towards generalization and could facilitate specialist species loss, giving rise to plant-pollinator systems with few species and few interactions among them. Also, we found significant effects of temperature on nesstedness and specialization. Regarding the environmental context influence on plant-bee interactions, we suggest that differences in temperature between the mountain ecosystems, in comparission with dry and rainforest ecosystems, could indirectly explain generalization in interaction networks in the mountain ecosystems of Guatemala.

Key words: nestedness, biological collection, specialization, generalization, pollinators.

### 3. Introducción

El análisis de la estructura de las interacciones biológicas (*e.g.* mutualistas) puede dar información sobre la organización de las comunidades; sin embargo, no existe un consenso sobre los posibles mecanismos responsables de la estructuración de la biodiversidad (Bascompte & Jordano, 2007; Bascompte, 2010). El enfoque de redes de interacción ha desarrollado estimadores topológicos de red como conectancia (Jordano, 1987), promedio de grados de la especie (Bascompte & Jordano, 2014), asimetría (Blüthgen, Menzel, Hovestadt, Fiala & Blüthgen, 2007), anidamiento (Bascompte, Jordano, Melian & Olesen, 2003), modularidad (Barber, 2007), especialización (Blüthgen, Menzel, & Blüthgen, 2006), especies núcleo y especies periferia (Dáttilo, Guimarães & Izzo, 2013) para estudiar la estructura de las interacciones planta-polinizador. De manera general, las redes de interacción planta-polinizador tienen baja conectancia, distribución asimétrica de los grados de la especie, alto anidamiento. Además, las redes planta-polinizador se caracterizan por la existencia de modularidad y especialización, y de la presencia de especies núcleo y especies periferia (Vizentin-Burgoni, et al., 2018). Este patrón estructural sugiere que únicamente una fracción de las interacciones potenciales entre las especies ocurren; un grupo pequeño de especies concentra el mayor número de interacciones; las especies especialistas interactúan con especies generalistas, mientras las especies generalistas interactúan con otras especies, también especialistas; existe un grupo de especies que interactúa con mayor frecuencia con miembros del mismo grupo que con las demás especies y la presencia de un núcleo de especies que interactúa con todas las demás especies, respectivamente (Jordano, 1987; Jordano, Bascompte & Olesen, 2003; Vázquez, Blüthgen, Cagnolo, & Chacoff, 2009; Bascompte et al, 2003; Maruyama, Vizentin-Bugoni, Oliveira & Dasgaard, 2014; Dáttilo et al., 2013).

De ordinario, el análisis de redes de interacción planta-polinizador requiere de la recolección de datos de forma estructurada; generalmente, con esfuerzos de muestreo de datos en escalas temporales y espaciales restringidas por los recursos disponibles para la investigación (Chacoff et al, 2012; Jordano, 2016; Falcão, Dáttilo & Rico-Gray, 2016). Por otro lado, actualmente existe una gran cantidad de especímenes depositados en colecciones biológicas, muy a menudo con información única sobre el comportamiento de los individuos en hábitats naturales (*e.g.* interacción de polinizadores con las flores), con una distribución temporal y espacial amplia (Pyke & Erlich, 2010; Meineke, Davies, Daru, & Davis, 2018), disponibles para incorporar nuevo conocimiento sobre la asociación e influencia del

contexto ambiental en la estructura de las interacciones ecológicas mutualistas (Meineke & Davies, 2018). En consecuencia, la comparación de la estructura de las interacciones planta-polinizador de distintas comunidades, utilizando el enfoque de redes, y construidas con registros de colecciones biológicas, implica la manipulación posterior de los datos a los eventos de colecta de los especímenes, con rarefacciones o curvas de acumulación de especies, para controlar los posibles efectos del muestreo sobre los datos (Chacoff et al, 2012; Falcão et al., 2016).

La comparación de la estructura de las interacciones planta-polinizador en un gradiente climático y geográfico ha demostrado que la precipitación tiene efecto lineal sobre el anidamiento, modularidad y especialización de las redes de interacción, sugiriendo una organización de las interacciones más compleja en áreas con altos niveles de precipitación (Trøjelsgaard & Olesen, 2012; Dalsgaard, et al., 2011). Además, el trabajo de Campos-Navarrete, Parra-Tabla, Ramos-Zapata, Díaz-Castelazo y Reyes-Novelo (2013) demuestra la existencia de variaciones en la identidad de las especies núcleo y periferia de redes de interacción, aun cuando los sitios estudiados comparten un alto número de especies de abejas y plantas. Por lo general, para estos estudios se recopilaron los registros de interacción planta-polinizador de publicaciones científicas de revistas indexadas o de observaciones en el campo, pero hasta el momento, poco se ha empleado a las colecciones biológicas como fuente primaria de registros de interacciones polinizador-planta (González-Vaquero, Gravel & Devoto, 2014). Por consiguiente, analizar la estructura de las interacciones planta-abeja en contextos ambientales distintos puede dar información valiosa sobre los procesos que mantienen los niveles de biodiversidad en las comunidades entre plantas y polinizadores de Guatemala.

Sobre la base de la argumentación anteriormente dada, esta investigación analizó la influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala con alta diversidad de especies de abejas nativas: el bosque de montaña, la selva lluviosa baja y el bosque seco de Guatemala. Para alcanzar dicho objetivo, se planteó como objetivo general, definir la influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala, y como objetivos específicos: describir los estimadores de las redes de interacción planta-abeja, así como las especies núcleo y especies periferia, en los ecosistemas estudiados. Asimismo, se planteó establecer la relación entre el contexto ambiental y la estructura de las interacciones planta-abeja de los tres ecosistemas de Guatemala. Se planteó como hipótesis que el

contexto ambiental puede explicar la variación en la estructura de las interacciones planta-abeja en los tres sistemas de estudio. Para lograr lo anterior, se construyeron redes de interacción planta-abeja empleando la información de los ejemplares depositados en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, y se extrajo la información del contexto ambiental de los mapas con la clasificación actualizada de los ecosistemas de Guatemala. Con la corrección de los valores de los descriptores de la estructura de las interacciones planta-abeja por modelos nulos, se encontró que el ecosistema de montaña alberga sistemas de redes planta-abeja con una tendencia hacia la generalización. Esto sugiere que en los sistemas planta-abeja montañosos existen pocos interactuantes entre los niveles tróficos de la red, con dominancia de las especies generalistas sobre las especialistas. Esta situación podría generar sistemas planta-polinizador susceptibles a la extinción local de las interacciones de alta especificidad y de las especies especialistas.

#### **4. Planteamiento del problema**

La mayoría de la investigación en ecología de comunidades ha realizado el análisis de la biodiversidad por medio de estimadores de riqueza, diversidad y equidad de especies, tratando a las comunidades como si fueran un grupo de organismos sin relación entre sí. La realidad es mucho más compleja, las comunidades están constituidas por gremios (*e.g.* insectos y plantas) con estrechas relaciones (*e.g.* mutualistas o antagonistas), consideradas como promotoras de la organización y la diversificación de la biodiversidad (Becerra, 2015; Fine, 2015; Viola et al., 2010). Por esta razón, ante la actual pérdida global de especies (Dirzo, et al, 2014), los estudios de biodiversidad no pueden tomar en cuenta únicamente a las especies, sino también a las interacciones en la misma comunidad. Por ejemplo, Valiente-Banuet y colaboradores (2015) evidencian que la pérdida de interacciones bióticas es resultado de la extinción de especies, que en última instancia representa la pérdida de funciones de los ecosistemas, por ejemplo, la polinización de plantas silvestres y manejadas. Por otra parte, se ha identificado a la precipitación y la temperatura como moduladores de la estructura de las interacciones planta-polinizador (Tylianakis, Laliberté, Nielsen & Bascompte, 2010), tanto en escala análisis histórico como en actual (Dalsgaard, et al., 2011; Dalsgaard, et al., 2013). En Guatemala, poco se conoce sobre la asociación del contexto ambiental con la topología de las interacciones planta-polinizador (Bustamante-Castillo, Hernández-Baños & Arizmendi, 2020). Por consiguiente, no se puede conservar lo que se desconoce. Bajo esta argumentación, este proyecto analizó la influencia del

contexto en la estructura de las interacciones planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala. El equipo de investigación planteo las siguientes interrogantes: ¿Cómo es la estructura de las interacciones planta-abeja, y cuáles son las especies núcleo y periferia, en el bosque de montaña, la selva lluviosa baja y el bosque seco de Guatemala? y ¿cuál es la asociación e influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en los tres ecosistemas? Para responder a estos interrogantes, se construyeron redes de interacción, utilizando los especímenes depositados en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (CANG), sus registros de interacciones planta-abeja, y se extrajo la información del contexto ambiental de los mapas con la clasificación actualizada de los ecosistemas de Guatemala.

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

### **5.1 Delimitación en tiempo**

Este estudio fue realizado de febrero a diciembre del año 2021.

### **5.2 Delimitación espacial**

El trabajo de gabinete fue realizado en las instalaciones del Centro de Estudios Conservacionistas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. En cuanto a las regiones geográficas que fueron contempladas en este estudio, se incluyen las siguientes regiones de Guatemala: bosques de montaña del altiplano central y cadena volcánica; bosques secos del oriente del país (Zacapa, Jalapa, Chiquimula, principalmente), Baja Verapaz y Huehuetenango; y selva tropical húmeda de la franja transversal del Norte (principalmente en los departamentos de Quiché, Alta Verapaz e Izabal) y boca costa del Pacífico.

## 6. Marco teórico

### Colecciones biológicas

Los museos de historia natural y herbarios del mundo albergan una gran variedad de especies depositadas en colecciones biológicas de referencia (Pyke & Ehrlich, 2010). Según la estimación de Ariño (2010), en las colecciones biológicas hay depositadas de 2 a 4 millones de especies y la última actualización del Programa de digitalización de las Colecciones Biológicas de la Fundación Nacional para la Ciencia del gobierno norteamericano, reporta 114 millones de presencias, con un estimado de 300 a 400 millones de ejemplares depositados en las colecciones (Meineke et al., 2018). Por esta razón, las colecciones biológicas son una herramienta para estudiar patrones de biodiversidad, que no sería posible por medio de datos de campo. Por ejemplo, usando especímenes de colecciones biológicas, Meineke y Davies, (2018) sugieren que el cambio en la distribución espacial y fenología de las especies puede llegar a afectar las relaciones herbívoro-planta actuales.

### Colecciones biológicas de Guatemala

Según el portal de *Global Information Biodiversity Facility*, el país posee 2,428,714 registros de presencia, distribuidos en 36,332 especies depositadas en colecciones biológicas de museos de historia natural y herbarios del mundo (Global Information Biodiversity Facility, 2020). Aproximadamente, las colecciones biológicas de Guatemala tienen 401,650 registros de presencia de especies, que representan la biodiversidad de flora y fauna de los biomas del país (Enríquez & Ayala, 2014; Rosales de Zea, 2014; Quezada & Rodas, 2014; Barrios et al., 2014; Quintana, Barrientos & Elías, 2016; Schuster, 2019; Pérez-Consuegra, 2016; Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, s.f.); por desgracia, aun cuando la cifra de registros de presencia de especies es bastante significativa, las colecciones biológicas necesitan curaduría para hacer útil la información asociada a los especímenes para la investigación científica.

## **Colección de Abejas Nativas de Guatemala**

La Colección de Abejas Nativas de Guatemala (CANG), localizada en el Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tiene depositados alrededor de 24,000 especímenes, incluyendo especies de abejas de las familias Apidae, Halictidae, Megachilidae, Colletidae y Andrenidae, que representan la biodiversidad de abejas de Guatemala (Enríquez & Ayala, 2014; Enríquez, Yurrita, Ayala, Marroquín & Griswold, 2012). La CANG también contiene valiosa información de las interacciones planta-abeja, producto de observaciones directas en colectas de abejas silvestres en proyectos de investigación ejecutados en el país. Mucha de esta información, corresponde a ejemplares de especies de las familias Apidae y Megachilidae (Enríquez & Ayala, 2014).

## **Interacción planta-abeja**

Las abejas son el agente polinizador más importante del planeta; es por esto que la relación planta-abeja puede ser considerada una de las interacciones bióticas más importantes para los ecosistemas terrestres (Michener, 2007). Las plantas producen néctar y aceites esenciales que emplean como cebo para atraer a las abejas. Las abejas polinizadoras son en su mayoría hembras que recolectan polen en cada visita floral. Durante la visita floral, el polen transportado por la abeja es depositado en el estigma de la flor, desde donde los granos de polen llegarán a los óvulos de las plantas, promoviendo así de manera indirecta la reproducción cruzada en plantas silvestres y cultivadas (Michener, 2007). Por lo general, los machos de abejas transportan muy poco polen a las flores, por lo que su rol en la polinización es menos importante que el de las hembras (Michener, 2007). La relación planta-abeja puede ser estudiada por medio de la teoría de grafos, que permite representar las interacciones abeja-planta en una red compleja.

## **Redes complejas**

Una red (o grafo) es un objeto que simboliza las relaciones de entidades en un sistema. Dicho objeto consiste de “nodos”, representación de las entidades del sistema, y tales nodos pueden estar conectados por “enlaces”, demostración de algún tipo de nexo entre las entidades del sistema (Estrada, 2011). Los grafos son empleados para la modelación de las redes complejas, y por ende de algunos sistemas complejos (*e.g.* redes biológicas, informáticas y sociales). Según Bascompte y Jordano (2007), una de

las contribuciones más relevantes del análisis de redes complejas es la identificación y verificación de patrones generales en redes de distinta naturaleza (*e.g.* ecológicas, informáticas, sociales, etc.) que presentan propiedades estructurales similares. Esto sugiere la existencia de un patrón similar en la construcción de las redes, independientemente de su naturaleza y las entidades que la componen.

## **Redes ecológicas**

Las redes ecológicas describen la interacción entre especies en diferentes procesos ecológicos, como depredación, parasitismo, competencia o mutualismo (Bascompte & Jordano, 2014). En estas redes, los nodos representan a las especies y los enlaces, las relaciones entre las especies según el proceso ecológico *viz.*, en relaciones mutualistas como la polinización, los nodos representan especies del nivel trófico A y el nivel trófico B, y los enlaces manifiestan la interacción entre las especies de ambos niveles tróficos. Las redes ecológicas se pueden clasificar en a) unipartitas, donde figuran las relaciones entre las especies que potencialmente pueden interactuar tanto dentro como entre niveles tróficos, como las redes de depredador-presa, y b) bipartitas, donde figuran relaciones entre dos especies de dos grupos tróficos distintos, pero no entre especies del mismo nivel trófico o gremio, por ejemplo, las redes planta-polinizador. Ambas redes pueden representarse por medio de una matriz de adyacencia, donde las columnas y las filas muestran las interacciones entre las especies de ambos niveles tróficos, las entradas en la matriz indican la presencia de interacción (en redes sin ponderación) y la fuerza de la interacción (en redes ponderadas) (Dehling, 2018).

## **Estimadores de la estructura de las redes de interacción**

Según Soares, Ferreira y Lopes, (2017) los estimadores estructurales detallados en la tabla 1 son los más importantes para describir la estructura de las redes de interacción planta-polinizador.

Tabla 1

*Estimadores estructurales de redes de interacción planta-polinizador*

Estimador	Significado	Referencia
Conectancia	Proporción de las interacciones observadas en relación con las interacciones potenciales de la red.	(Jordano, 1987)
Promedio de grados de la especie	Promedio de las interacciones de la especie de ambos niveles tróficos de la red.	(Bascompte & Jordano, 2014)
Asimetría	Balance entre la riqueza de especies de ambos niveles tróficos.	(Blüthgen et al., 2007)
Anidamiento	Cuantificación del nivel de la persistencia de las interacciones en la red, con base en cálculo del grado de interacción de especies generalistas y especialistas.	(Bascompte et al., 2003)
Modularidad	Cuantificación de la frecuencia de la interacción de las especies en comparación a las demás especies en la red.	(Barber, 2007)
Especialización	Cuantificación de la selectividad de las interacciones entre los niveles tróficos en la red.	(Blüthgen et al., 2006)
Especies núcleo y especies periferia	Promedio de las interacciones para ambos niveles tróficos en la red. Valores mayores a 1 señalan que la especie forma parte del núcleo de la red.	(Dáttilo et al., 2013)

## Relación de la estructura de las redes de interacción y el contexto ambiental

En ecología, el debate Clements-Gleason sobre la organización de las comunidades biológicas ha puesto en evidencia que procesos bióticos y abióticos son moduladores de la estructura de la biodiversidad (Daniel, Gleason, Cottenie & Rooney, 2019; Carlson, Flagstand, Gillet & Mitchell, 2010); sin embargo, la influencia de los factores biológicos y ambientales sobre la estructura de las comunidades puede variar de acuerdo a atributos del hábitat (*e.g.* geografía y clima) y, por lo tanto, existe un contexto representado por características del hábitat que puede estar ligado a los procesos bióticos y abióticos que estructuran las comunidades (Singh, Dawson, McDonald & Buckland, 2009). Por otro lado, existen esfuerzos para estudiar la asociación del contexto ambiental, representado por un gradiente geográfico y climático, y la estructura de las interacciones en comunidades, figurado por patrones estructurales de redes de interacción mutualistas. Por ejemplo, Petanidou y colaboradores (2017) infieren la influencia del clima en la estructura de las interacciones planta-polinizador, en un área constituida por varias islas con contexto ambiental intrínseco del mar Egeo del Mediterráneo, por medio de la relación de los estimadores estructurales de la red de interacción planta-polinizador y variables climáticas. La relación entre la modularidad y especialización con la temperatura promedio anual es explicada por el 30 y 35% de la varianza del modelo lineal generalizado para cada estimador de la red de interacción, respectivamente. Por lo tanto, la estructura de las interacciones planta-

polinizador es afectada por el clima de esta región, probablemente vía la distribución de los patrones de actividad de las especies en el espacio y tiempo.

## Ecosistemas de Guatemala

La definición de ecosistema ha cambiado a lo largo del tiempo, y ha sido utilizada de distintas formas para clasificar las zonas bioclimáticas en nuestro país. Las primeras clasificaciones de ecosistemas en Guatemala fueron hechas en base a las condiciones climáticas. Fue hasta los años de 1970 que se aplicó en Guatemala el sistema de clasificación de Holdridge, basado en zonas de vida (Castañeda, 2008). En la década de 1980, Luis Villar propuso un sistema de biomas, que coincide con el concepto de provincias biogeográficas. A principios del siglo XXI, el Instituto Nacional de Bosques presentó el mapa de ecosistemas vegetales de Guatemala, en base a la “clasificación fisonómica-ecológica de las formaciones vegetales de la Tierra”, y se realizó a partir de imágenes de satélite (IARNA-URL, 2018). En este estudio definiremos los “ecosistemas” como las zonas bioclimáticas a trabajar, sobre la base de la clasificación de zonas de vida presentada por el IARNA en el 2018, basada en el sistema de Holdridge (Fig. 1), según se describe en el Tabla 2.

Tabla 2

### *Definición de los ecosistemas contemplados en este estudio*

Ecosistema	Región que abarca	Piso altitudinal	Zonas de vida incluidas
Bosque de montaña	Altiplano, meseta central y cadena volcánica	Montano	Bosque muy húmedo montano tropical
Bosque seco	Valle del Motagua	Montano bajo	Bosque húmedo montano bajo tropical
	Regiones secas del oriente de Guatemala, Baja Verapaz y Huehuetenango.	Basal	Bosque seco tropical
		Premontano	Bosque seco premontano tropical
Selva lluviosa baja	Áreas húmedas de la franja transversal del norte y boca costa.	Basal	Bosque muy húmedo tropical
		Premontano	Bosque muy húmedo premontano

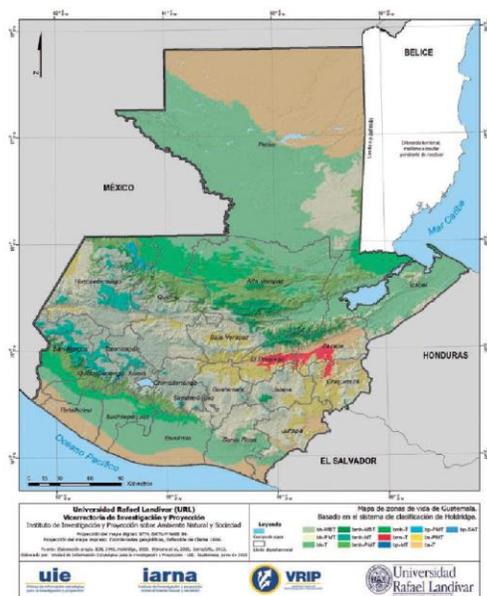


Figura 1. Mapa con clasificación de zonas de vida basada en el sistema de Holdridge, según IARNA-URL, 2018.

## 7. Estado del arte

### La colección biológica como herramienta para la investigación científica

Actualmente, las colecciones biológicas han sido utilizadas como una herramienta para entender la conformación de la biodiversidad. Estas han permitido explorar el efecto de procesos evolutivos y ecológicos en las especies, como la crisis global de las poblaciones de polinizadores (Bartomeus, Stavert, Ward & Aguado, 2018), el cambio en la morfología de las especies ante el cambio climático, el patrón y dinámica de interacciones planta-herbívoro, entre otros (Beaulieu, Lavoie & Proulx, 2018; Meineke & Davies, 2018). Sin embargo, la ecología de las interacciones planta-polinizador es un tema poco explorado. Recientemente, (González-Vaquero et al., 2014) recomienda utilizar los registros de asociación planta-polinizador asociados a especímenes de colecciones biológicas para explorar patrones en las interacciones en las comunidades, sobre todo, cuando se trata de áreas con bajos esfuerzos de recolección de datos.

## **Relación de la estructura de las redes de interacción planta-abeja y el contexto ambiental**

En los últimos 10 años, la investigación sobre la ecología de las interacciones bióticas, explorando la relación de los atributos del contexto ambiental (*e.g.* clima y geografía) en la estructura de las interacciones mutualistas, ha producido información sobre una gran variedad de comunidades como árbol-hormiga (Dáttilo & Vasconcelos, 2018; Rico-Gray, Díaz-Castelazo, Ramírez-Hernández, Guimaraes & Holland, 2012), hongos y bacterias-suelo (Shi et al., 2020), árbol-hongos (Hielmann-Claussen et al., 2016), planta-dispersor de semillas (Schleuning et al., 2014, Sebastián-González, Dalsgaard, Sandel & Guimarães, 2015), y planta-polinizador (Sonne et al., 2020; Classen et al., 2019; Antiquiera et al., 2020; Petanidou et al., 2017). Como patrón general, los resultados de las investigaciones anteriores identifican la asociación de variables ambientales (temperatura y precipitación) con estimadores de la estructura de las interacciones, anidamiento y modularidad, en las comunidades evaluadas. Por consiguiente, la investigación actual sobre la ecología de las interacciones bióticas sugiere el rol de la temperatura y la precipitación como organizadoras de la estructura de las interacciones mutualistas, por el probable efecto del clima sobre las condiciones de hábitat *viz.*: traslape fenologías o modificación de las condiciones idóneas en el hábitat para la presencia de las especies involucradas en la interacción mutualista. Sin embargo, investigaciones como la antes descrita no existen en Mesoamérica y el uso de los registros de interacciones planta-abeja, provenientes de los especímenes depositados en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala es una gran oportunidad para llenar ese vacío de información para la región.

## **8. Objetivos**

### **8.1 Objetivo general**

Definir la influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en el bosque de montaña, la selva lluviosa baja y el bosque seco de Guatemala.

## 8.2 Objetivos específicos

Describir los estimadores de las redes de interacción planta-abeja, así como también las especies núcleo y especies periferia, de los tres ecosistemas estudiados.

Establecer la relación entre el contexto ambiental y la estructura de las interacciones planta-abeja, así como también las especies núcleo y especies periferia, de los tres ecosistemas estudiados.

## 9. Hipótesis

El contexto ambiental puede explicar la variación en la estructura de las interacciones planta-abeja en bosque de montaña, la selva lluviosa baja y el bosque seco de Guatemala.

## 10 Materiales y métodos

### 10.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo.

### 10.2 Método

Para alcanzar los objetivos de este proyecto, se compilaron y depuraron los registros de interacciones planta-abeja, en alrededor de 24, 000 especímenes depositados en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (CANG). Posteriormente, se empleó una grilla de 5 grados latitud x 5 grados longitud para segregar los conjuntos de interacciones planta-abeja por su ubicación en la cuadrilla y el año de recolección y/o registro de interacción planta-abeja; esto con el objetivo de controlar los sesgos

espacio-temporales en los esfuerzos de muestreo de los datos, y obtener unidades de análisis. Se obtuvieron descriptores del contexto ambiental asociada a las de unidades análisis, a partir de la localización geográfica de cada unidad de análisis en los ecosistemas (zonas bioclimáticas) de Guatemala, con base en la clasificación actualizada de las zonas de vida elaborada por el IARNAR en el 2018, *sensu* Holdriege (Fig, 1), según se describe en la tabla 2. Por último, se obtuvieron matrices de adyacencia a partir del conjunto de interacciones planta-abeja anteriores en cada unidad de análisis, permitiendo la elaboración y cuantificación de la estructura de redes de interacción planta abeja asociadas a descriptores del contexto ambiental.

### 10.3 Recolección de información

***Compilación de registros de interacción planta-abeja:*** de manera exhaustiva, se revisó la información correspondiente a un aproximado de 24,000 especímenes depositados en la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, en búsqueda de registros de interacciones planta-abeja. Se buscó en la etiqueta de identificación de cada ejemplar; en las anotaciones en la libreta de campo ligada a la captura de la abeja, la interacción observada por los recolectores de la abeja con la planta. Posteriormente, la información recabada fue trasladada a un archivo de texto para la revisión y depuración respectiva.

***Revisión y depuración de datos de registros de interacción planta-abeja:*** se aplicaron los siguientes criterios de revisión a los registros de interacción planta-abeja en especímenes: a) presencia de número de catálogo de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (CANG), b) existencia de la localización en el espacio del espécimen, c) existencia del esfuerzo de colecta asociado al espécimen, d) existencia del método de colecta asociado al espécimen, e) factibilidad de la localidad de presencia de las especies involucradas en la interacción planta-abeja y f) determinación taxonómica realizada por personas capacitadas en el taxón, plantas y abejas por separado. Se descartaron los registros de interacción planta-abeja que no cumplan con los 6 criterios antes señalados. Posteriormente, los registros depurados fueron exportados a un nuevo archivo de texto para la delimitación de las unidades de análisis en el espacio geográfico de Guatemala.

*Delimitación de las unidades de análisis en el espacio-tiempo:* se visualizó la ubicación de los registros de interacción planta-abeja depurados en el espacio geográfico de Guatemala, usando el programa de sistema de información geográfica ArcGis. Posteriormente, se estableció una cuadrilla de 5 grados latitud x 5 grados longitud para segregar los conjuntos de interacciones planta-abeja por su ubicación en la grilla y el año de recolección y/o registro de interacción planta-abeja; esto con el objetivo de controlar los sesgos espacio-temporales en la recolección de los datos, y obtener unidades de análisis. Las unidades de análisis debieron tener al menos una interacción, permitiendo la expresión de algunos estimadores de la estructura de las interacciones, como la conectancia, por el intervalo [0;1], donde el cero representa redes de interacción con una interacción en el sistema (Poisot & Gravel, 2014).

## 10.4 Técnicas e instrumentos

### *Unidades de análisis y datos del contexto ambiental:*

Se construyeron matrices de adyacencia a partir de los conjuntos de interacciones planta-abeja de cada unidad de análisis, donde las filas y columnas representan a las plantas y abejas, respectivamente. La frecuencia de la interacción planta-abeja fue indicativa de la intensidad de la interacción en el sistema (Dehling, 2018). A partir de esto, se obtuvieron matrices de adyacencia que permitieron la elaboración de redes de interacción planta-abeja. Posteriormente, se obtuvo la caracterización del contexto ambiental asociada a cada red de interacción, utilizando mapas con la clasificación actualizada de zonas bioclimáticas, y sus respectivas categorías:

Ecosistemas: a) bosque de montaña, b) bosque seco y c) selva lluviosa

Provincias de humedad: a) húmedo, b) muy húmedo, c) muy seco y d) seco

Pisos altitudinales: a) basal, b) montano bajo, c) montano, y d) premontano

Zonas de vida: a) bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), bosque húmedo montano tropical (bh-MT), bosque húmedo premontano tropical (bh-PMT), bosque húmedo tropical (bh-T), bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT), bosque muy húmedo tropical (bmh-T), bosque muy seco tropical (bms-T), bosque premontano tropical (bs-PMT), y bosque seco tropical (bs-T).

Dichas imágenes elaboradas por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, *sensu* Holdridge en el 2018 (Figura 1 y cuadro 1).

Además, se extrajo la información del contexto ambiental asociado a cada red de interacción, empleando la información de temperatura y precipitación anual promedio proveniente de las estaciones climáticas del INSIVUMEH y el repositorio de archivos *raster* con información climática global de *WorldClim* (Fick & Hijmans, 2017). Lastimosamente, los registros climáticos de las estaciones climáticas del INSIVUMEH fueron escasos en muchas de las localidades contempladas en este proyecto, por lo tanto, se utilizaron únicamente los datos de *WorldClim*.

## 10.5 Procesamiento y análisis de la información

Se cuantificaron los estimadores estructurales de red de interacción: anidamiento, asimetría, conectancia, especialización y modularidad de las redes de interacción planta-polinizador, utilizando la librería *Bipartite* del programa *RStudio*. Las métricas de la topología de las redes de interacción son dependientes del tamaño de la muestra, en este caso, de la dimensión de la matriz de adyacencia; por lo tanto, se aplicó una corrección con modelos nulos a los valores observados de las métricas de las redes. Para ello, se utilizó el algoritmo de Patefield para la creación 1,000 redes al azar, calculando los valores promedio y desviación estándar de los valores de cada métrica de las redes. A partir de esto, se estimó el valor  $\Delta$ -transformado de cada métrica, al calcular las diferencias entre los valores promedio de los modelos nulos con los valores de los intervalos de confianza inferiores, dividido la desviación estándar de los modelos nulos, evidenciando la desviación del valor observado de las métricas de red del azar (Escobedo Kenefic et al., 2020; Dalsgaard et al., 2013; Schleuning et al., 2014; Simmons et al., 2018).

Se buscó demostrar variaciones significativas entre los descriptores topológicos  $\Delta$ -transformados de las redes construidas a partir de interacciones planta-abeja de diferente año de registro y/o recolección, y además de distinta cuadrilla de la grilla de 5 grados latitud x 5 grados longitud. Para ello, se aplicó una prueba de hipótesis utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para comparaciones múltiples, a un nivel de significancia de  $p = .05$ , usando *RStudio*. Por lo tanto, se tomaron en cuenta únicamente a las métricas de las redes de interacción planta-abeja con variación significativa en función del año de recolección y/o registro del conjunto de datos ( $p < .05$ ), y, asimismo, de diferente

cuadrilla en la grilla ( $p < .05$ ), para el análisis de la relación de los estimadores topológicos de las redes con las variables del contexto ambiental.

Seguidamente, se buscó definir como es la relación de las métricas  $\Delta$ -transformadas de redes de interacción planta-abeja y las variables del contexto ambiental: A) ecosistemas, B) pisos altitudinales, C) provincias de humedad y D) zonas de vida. Para esto, se ejecutó una prueba de hipótesis empleando la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para comparaciones múltiples, a un nivel de significancia de  $p = .05$ , usando *RStudio*. Por consiguiente, se seleccionó solamente a las métricas de redes de interacción con variación significativa en términos de las variables A) ecosistemas ( $p < .05$ ), B) pisos altitudinales ( $p < .05$ ), C) provincias de humedad ( $p < .05$ ) y D) zonas de vida ( $p < .05$ ), como indicio primero de la influencia de las variables del contexto ambiental en la estructura de las redes de interacción abeja-planta.

Posteriormente, se indago la solidez de las relaciones significativas entre las métricas  $\Delta$ -transformadas de redes de interacción planta-abeja y las variables del contexto ambiental. Para ello, se realizó una prueba de hipótesis empleando la prueba no paramétrica de bonferroni para la corrección de los valores de  $p$  en comparaciones múltiples, a un nivel de significancia de  $p = .05$ , usando *RStudio*. En consecuencia, se consideró únicamente a las métricas de red de interacción planta-abeja con respuesta variable respecto de las variables A) ecosistemas ( $p < .05$ ), B) pisos altitudinales ( $p < .05$ ), C) provincias de humedad ( $p < .05$ ) y D) zonas de vida ( $p < .05$ ), como evidencia sustentable de la influencia del contexto ambiental en la estructura de las redes de interacción planta-abeja. El resultado de este procedimiento fue complementado con el análisis de los rangos mínimos y máximos de elevación, temperatura anual promedio, precipitación anual promedio y relación de evapotranspiración de agua de los ecosistemas y zonas de vida evaluadas, a modo de encontrar relaciones indirectas de las variables climáticas y la estructura de las redes de interacción planta-abeja.

Además, se busco establecer cómo es la relación de las condiciones climáticas y las métricas  $\Delta$ -transformadas de redes de interacción planta-abeja. Para ello, se hizo una prueba de hipótesis recurriendo a modelos lineales generalizados gaussianos, a un nivel de significancia de  $p = .05$ . Para generar los modelos, se seleccionaron las variables de la siguiente manera:

- a) Se tomarón en cuenta a aquellas métricas con relación significativa con las variables del contexto ambiental, con base en las pruebas de hipótesis de Kruskall Wallis para comparaciones y la corrección de bonferroni para comparaciones multiples.
- b) Se tomarón en cuenta a las variables climáticas informativas del contexto ambiental de las zonas de vida y ecosistemas *sensu* Holdridge contemplados en este estudio (temperatura, precipitación y elevación), con base en análisis de correlación entre las mismas.

Como resultados, estos modelos establecieron relaciones directas, ya sea negativas o positivas, de las variables ambientales en la estructura de las redes de interacción planta-abeja. Por último, se cuantificó el rol de las especies interactuantes de las redes en especie periferia o especie núcleo, a partir del índice *G* propuesto por (Dáttilo, Guimarães & Jizzo, 2013), empleando el paquete Microsoft Excel.

## 11. Resultados y discusión

### 11.1 Resultados

Se recopilaron 5,600 registros de interacciones planta-abeja de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala (CANG). La revisión y depuración de las interacciones planta-abeja por su localización geográfica en las cuadrillas de una grilla de 5 grados latitud x 5 grados longitud, y por el año de recolección y/o registro de las interacciones, con el fin de delimitar unidades de análisis; además de la correspondencia de cada unidad de análisis a las variables del contexto ambiental A) ecosistemas, B) pisos altitudinales, C) provincias de humedad y D) zonas de vida, dio lugar a un conjunto de 3, 931 interacciones planta-abeja con información completa para ejecutar este proyecto de investigación. A partir de estas interacciones, se obtuvieron los descriptores  $\Delta$ -transformados de la estructura de 43 redes de interacción planta-abeja (apéndice 1 y 2).

A manera de descripción, las redes en el ecosistema de bosque de montaña presentan mayor anidamiento y conectancia, y a la vez, menor especialización y modularidad, en comparación a los ecosistemas de bosques seco y selva lluviosa. Las redes en el ecosistema de bosque seco muestran una mayor modularidad y menor anidamiento, en comparación a los ecosistemas de montaña y selva lluviosa (tabla 3, 4, 5 y 6). En cuanto a los patrones ecológicos de red de interacción, las redes de interacción planta-abeja están conformadas por un núcleo reducido de especies, de 2 a 5 especies por red, mientras la periferia de la red puede estar conformando por hasta 34 especies (tabla 7). Basados en la prueba de Kruskal Wallis para comparaciones múltiples, los valores  $\Delta$ -transformados de anidamiento, asimetría, conectancia, especialización y modularidad fueron diferentes entre cuadrillas de la grilla ( $p < .05$ ), y, asimismo, entre año de recolección de datos ( $p < .05$ ). Esto demuestra variaciones significativas en la respuesta de las métricas con las cuadrillas de la grilla y el año de registro de interacción planta-abeja. Por lo tanto, se obtuvo 43 redes de interacción planta-abeja con métricas  $\Delta$ -transformadas, redes cuyas métricas denotan variaciones significativas en el espacio y el tiempo.

Utilizando la prueba de Kruskal Wallis para comparaciones múltiples, se encontraron variaciones significativas de la estructura de las redes de interacción planta-abeja respecto al contexto ambiental, las cuales son: anidamiento y provincia de humedad ( $p = .01451$ ), asimetría y provincia de humedad ( $p = .011451$ ), especialización y piso altitudinal ( $p = .0148300$ ), asimetría y zona de vida ( $p = .0336$ ), especialización y zona de vida ( $p = .02916$ ), anidamiento y ecosistemas ( $p = .02301$ ), especialización y ecosistemas ( $p = .008311$ ) (tabla 8). Se utilizó la prueba de bonferroni para comparaciones múltiples con corrección de los valores de  $p$ , para indagar el comportamiento de las métricas de las redes de interacción anteriores entre los factores de las variables ambientales, controlando el error dependiente de las comparaciones múltiples a realizar. Se encontraron diferencias significativas entre los tipos de ecosistemas: bosque de montaña, bosque seco y selva lluviosa. El anidamiento de las redes de interacción fue mayor en el bosque de montaña en comparación a el bosque seco ( $p = .02$ ) (Figura 2), mientras la especialización de las redes en fue mayor la selva lluviosa en comparación a el bosque de montaña ( $p = .013$ ) (Figura 3).

Al analizar el contexto ambiental de cada ecosistema con base en los valores mínimos y máximos de altitud (m.s.n.m), biotemperatura (promedio anual en °C), precipitación (promedio anual en °C), y

evapotranspiración potencial de agua (tabla 9), se encontró que el ecosistema de bosque de montaña se caracteriza por tener una biotemperatura más baja (min. 6.1 °C y máx. 18 °C) en comparación a los ecosistemas de bosque seco (min. 18.3 °C y máx. 28.3 °C) y selva lluviosa (min. 18 °C y máx. 28.1 °C). Además, el ecosistema de bosque de montaña se ubica en altitudes sobre el nivel del mar más altas (min. 984 m.s.n.m a máx. 3,960 m.s.n.m) en contraste a los ecosistemas de bosque seco (min. 0 m.s.n.m a máx. 1,868 m.s.n.m) y selva lluviosa (min. 0 m.s.n.m a máx. 2,209 m.s.n.m). Tomando en cuenta que el ecosistema de bosque de montaña contiene redes de interacción más anidadas que en el ecosistema de bosque seco ( $p = .02$ ) y, al mismo tiempo, las redes en bosques de montaña son menos especializadas que en ecosistema de selva lluviosa ( $p = .013$ ). En consecuencia, las redes de interacción planta-abeja son más simples y generalizadas (por su alto anidamiento y baja especialización) en ecosistemas de bosque de montaña. Se sugiere que la relación de la generalización de las redes de interacción planta abeja y ecosistemas puede ser explicada de manera indirecta por las diferencias en biotemperatura y elevación entre los ecosistemas evaluados.

Además, se analizó la influencia del contexto ambiental en la estructura de las redes de interacción planta abeja, con base en modelos lineales generalizados gaussianos con las siguientes variables:

- a) Se seleccionó las métricas de red anidamiento y especialización. Ambas métricas poseen relaciones significativas con la variable ecosistemas,  $p = .02$  y  $p = .013$ , respectivamente para cada relación.
- b) Se seleccionó las variables ambientales BIO01 (temperatura anual promedio) y BIO12 (precipitación anual promedio) de los archivos *raster* de WorldClim, además de la altitud de asociada a las redes de interacción planta-abeja. Estas variables ambientales fueron tomadas por su relación en la conformación del clima, criterio basado en el sistema de *Holdridge* de clasificación las zonas climáticas basado en rangos de altitud, temperatura y precipitación. Con ayuda de un análisis de correlación de previo, se detectó que la altitud esta muy relacionada con las variables BIO01 y BIO12 ( $p > 0.5$ ), por lo que esta variable fue descartada del modelo final.

Los modelos lineales genralizados reportaron que existen efectos de la precipitación promedio anual en el anidamiento ( $p = 0.1485$ ; tabla 10) y la especialización ( $p = 0.30202$ ; tabla 11) de las redes de interacción planta-abeja. Sin embargo, estos modelos también señalan un efecto negativo de la

temperatura promedio anual en el anidamiento de las redes de interacción planta-abeja ( $p = .00894$ ; tabla 10; Figura 4), y también, un efecto positivo de la temperatura promedio anual en la especialización de las redes de interacción planta-abeja ( $p = .00949$ ; tabla 11; Figura 5).

Tabla 3

*Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de tres ecosistemas en Guatemala*

Métrica	Ecosistema	Promedio	Desviación estándar	Métrica	Ecosistema	Promedio	Desviación estándar
Anidamiento	BM	27.964964	15.27354073	Conectancia	BM	0.21611263	0.059377892
	BS	12.9852373	8.233752053		BS	0.20497978	0.090037168
	SLL	20.0213036	12.04592792		SLL	0.18090924	0.074147319
Asimetría	BM	0.08538022	0.068451726	Especialización	BM	-0.1548684	0.268612855
	BS	0.13859882	0.068667259		BS	0.04492215	0.195583433
	SLL	0.08749521	0.070455517		SLL	0.17368253	0.409642569
Modularidad	BM	0.16053272	0.154934484				
	BS	0.29610486	0.162514371				
	SLL	0.1654757	0.165616372				

BM: bosque de montaña, BS: bosque seco, SLL: selva lluviosa.

La tabla 3 muestra los valores promedio y desviación estándar de anidamiento, asimetría, conectancia, especialización y modularidad de 43 redes de interacción planta-abeja de los ecosistemas: bosque de montaña (BM), bosque seco (BS) y selva lluviosa (SLL). Los valores de las métricas fueron corregidos por modelos nulos. Las redes en el ecosistema de bosque de montaña presentan mayor anidamiento y conectancia, y a la vez, menor especialización y modularidad, en comparación a los ecosistemas de bosques seco y selva lluviosa. Las redes en el ecosistema de bosque seco muestran una mayor modularidad y menor anidamiento, en comparación a los ecosistemas de montaña y selva lluviosa. Las redes en el ecosistema de selva lluviosa presentan la mayor especialización de los tres ecosistemas evaluados. Número de redes por ecosistema: bosque de montaña (21), bosque seco (9) y selva lluviosa (13).

Tabla 4

*Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de cuatro provincias de humedad en Guatemala*

Métrica	Provincia de humedad	Promedio	Desviación estándar	Métrica	Provincia de humedad	Promedio	Desviación estándar
Anidamiento	H	23.3974894	13.20883425	conectancia	H	0.18849299	0.063780469
	MH	27.1136717	16.37263452		MH	0.22288039	0.067601813
	MS	14.9108866	7.06429864		MS	0.18801279	0.05740861
	S	6.24546478	11.23056314		S	0.26436424	0.189765281
Asimetría	H	0.10129666	0.080052279	especialización	H	-0.0098381	0.257870028
	MH	0.06460637	0.039682692		MH	-0.0569716	0.483715199
	MS	0.14974564	0.053789238		MS	0.11146876	0.134130318
	S	0.09958497	0.128249462		S	-0.187991	0.242035438
Modularidad	H	0.19630824	0.133181721				
	MH	0.11401474	0.179026037				
	MS	0.32531461	0.152504284				
	S	0.19387071	0.21181576				

BM: bosque de montaña, BS: bosque seco, SLL: selva lluviosa.

La tabla 4 muestra los valores promedio y desviación estándar de anidamiento, asimetría, conectancia, especialización y modularidad de 43 redes de interacción planta-abeja de las provincias de humedad: húmedo (H), muy húmedo (MH), muy seco (MS) y seco (S). Los valores de las métricas fueron corregidos por modelos nulos. Las redes en la provincia muy húmeda poseen los valores más altos de conectancia y anidamiento, en comparación a las provincias húmeda, muy seco y seco. Las redes en la provincia muy seca muestran alta asimetría, especialización y modularidad, en comparación a las provincias húmedas, muy húmedas y seca. Número de redes por provincia de humedad: húmedo (20), muy húmedo (14), muy seco (14) y seco (2).

Tabla 5

*Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de cuatro pisos altitudinales en Guatemala*

Métrica	Piso altitudinal	Promedio	Desviación estándar	Métrica	Piso altitudinal	Promedio	Desviación estándar
Anidamiento	B	18.3192797	11.93606958	Conectancia	B	0.1778341	0.082451788
	MB	20.5271706	12.84247339		MB	0.24554691	0.014521804
	M	27.964964	15.27354073		M	0.21611263	0.059377892
	PM	12.2601091	7.491903894		PM	0.20760654	0.084547724
Asimetría	B	0.11094551	0.07699817	Especialización	B	0.12499936	0.27195627
	MB	0.04054695	0.004059752		MB	0.1954838	1.065394099
	M	0.08538022	0.068451726		M	-0.1548684	0.268612855
	PM	0.12791013	0.065098229		PM	0.07924286	0.23308656
Modularidad	B	0.2272867	0.179021214				
	MB	0.04772165	0.031310623				
	M	0.16053272	0.154934484				
	PM	0.26227679	0.167671231				

BM: bosque de montaña, BS: bosque seco, SLL: selva lluviosa.

La tabla 5 muestra los valores promedio y desviación estándar de anidamiento, asimetría, conectancia, especialización y modularidad de 43 redes de interacción planta-abeja de los pisos altitudinales: basal (B), montano bajo (MB), montano (M) y premontano (PM). Los valores de las métricas fueron corregidos por modelos nulos. Las redes en el piso montano muestran la menor especialización y mayor anidamiento, en contraste a los pisos altitudinales basal, montano bajo y premontano. Número de redes por provincia por piso altitudinal: basal (15), montano bajo (2), montano (21) y premontano (5).

Tabla 6

*Patrones estructurales de 43 redes de interacción planta-abeja de nueve zonas de vida en Guatemala*

Métrica	Zona de vida	Promedio	Desviación estándar	Métrica	Zona de vida	Promedio	Desviación estándar
Anidamiento	bh-MBT	25.5142203	14.70616524	Asimetría	bh-MBT	0.10069887	0.076433839
	bh-MT	32.8664515	16.33929821		bh-MT	0.05474292	0.036307253
	bh-PMT	12.5831227	3.856971938		bh-PMT	0.15365628	0.058192127
	bh-T	24.3337787	5.36210011		bh-T	0.05172672	0.108253147
	bmh-MBT	20.5271706	12.84247339		bmh-MBT	0.04054695	0.004059752
	bmh-T	21.6943804	17.69736608		bmh-T	0.08803898	0.044613245
	bms-T	16.1650057	4.413675784		bms-T	0.17392753	0.02190511
	bs-PMT	11.7755888	13.92765226		bs-PMT	0.08929091	0.072159465
	bs-T	6.24546478	11.23056314	bs-T	0.09958497	0.128249462	
Conectancia	bh-MBT	0.19715877	0.058046563	Especialización	bh-MBT	-0.0797395	0.23353783
	bh-MT	0.25402036	0.044015114		bh-MT	-0.3051262	0.287800729
	bh-PMT	0.21161554	0.096321429		bh-PMT	0.09227171	0.289232406
	bh-T	0.12493015	0.008863778		bh-T	0.21425878	0.261503342
	bmh-MBT	0.24554691	0.014521804		bmh-MBT	0.1954838	1.065394099
	bmh-T	0.17021784	0.080456595		bmh-T	0.18946277	0.36997396
	bms-T	0.18258069	0.048324452		bms-T	0.13217643	0.113697012
	bs-PMT	0.20159304	0.099584612		bs-PMT	0.05969959	0.220756603
	bs-T	0.26436424	0.189765281	bs-T	-0.187991	0.242035438	
Modularidad	bh-MBT	0.20768244	0.147149066				
	bh-MT	0.06623327	0.132436663				
	bh-PMT	0.21993007	0.084922425				
	bh-T	0.11960681	0.099912154				
	bmh-MBT	0.04772165	0.031310623				
	bmh-T	0.20742603	0.245986603				
	bms-T	0.32512171	0.117221045				
	bs-PMT	0.32579688	0.290829151				
	bs-T	0.19387071	0.21181576				

BM: bosque de montaña, BS: bosque seco, SLL: selva lluviosa.

La tabla 6 muestra los valores promedio y desviación estándar de anidamiento, asimetría, conectancia, especialización y modularidad de 43 redes de interacción planta-abeja de las zonas de vida: bosque húmedo montano bajo tropical, bosque húmedo montano tropical, bosque húmedo premontano tropical, bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo montano bajo tropical, bosque muy húmedo tropical, bosque muy seco tropical, bosque premontano tropical, y bosque seco tropical. Los valores de las métricas fueron corregidos por modelos nulos. Las redes en el bosque muy seco son más asimétricas, en comparación a las redes en el resto de zonas de vida. Número de redes por zona de vida: bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), bosque húmedo montano tropical (bh-MT), bosque húmedo premontano tropical (bh-PMT), bosque húmedo tropical (bh-T), bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT), bosque muy húmedo tropical (bmh-T), bosque muy seco tropical (bms-T), bosque premontano tropical (bs-PMT), y bosque seco tropical (bs-T).

Tabla 7

*Especies núcleo y especies periferia en 43 redes de interacción planta-abeja de tres ecosistemas en Guatemala*

Ecosistema	Total de especies núcleo	Promedio de especies núcleo	Total de especies periferia	Promedio de especies periferia
Bosque de montaña	72	3	317	15
Bosque seco	21	2	206	23
Selva lluviosa	60	5	436	34

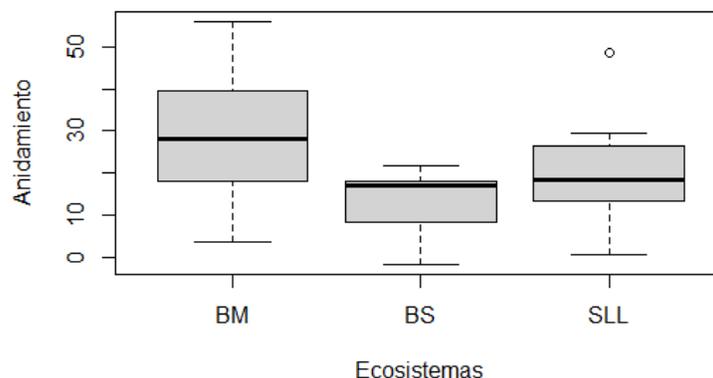
La tabla 7 muestra el total y promedio de especies núcleo y especies periferia en los ecosistemas de bosque de montaña, bosque seco y selva lluviosa. Como patrón general, se observa que la proporción de especies que conforman el núcleo de las redes de interacción planta-abeja en los tres ecosistemas es baja, existiendo menos de cinco especies de interactuantes conformando los núcleos de las redes. N de especies periferia = 959. N de especies núcleo = 153.

Tabla 8

*Respuesta de cinco estimadores estructurales de redes de interacción planta-abeja a cuatro variables del contexto ambiental en Guatemala. Se muestran los valores de  $p$  para cada prueba. Los valores significativos (nivel  $\alpha=0.05$ ), se resaltan en negritas*

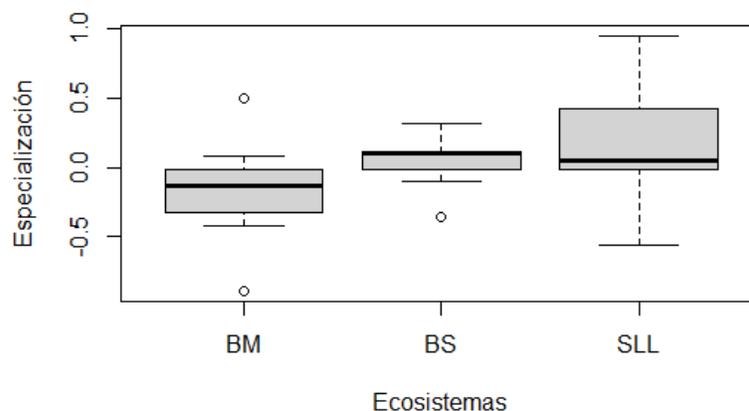
Métrica	Ecosistema	Provincia de humedad	Piso altitudinal	Zona de vida
Anidamiento	<b>.02301</b>	<b>.01034</b>	.05748	.1644
Asimetría	.07101	<b>.01451</b>	.3073	<b>.0336</b>
Conectancia	.3623	.444	.1664	.2006
Especialización	<b>.008311</b>	.1294	<b>.01483</b>	<b>.02916</b>
Modularidad	.1198	.05038	.1794	.1395

La tabla 8 muestra la respuesta del anidamiento, asimetría, conectancia, especialización y modularidad de las redes de interacción planta-abeja a los ecosistemas (bosque de montaña, bosque seco y selva lluviosa); provincias de humedad (húmedo, muy húmedo, muy seco y seco); pisos altitudinales (basal, montano bajo, montano y premontano); zonas de vida (bosque húmedo montano bajo tropical, bosque húmedo montano tropical, bosque húmedo premontano tropical, bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo montano bajo tropical, bosque muy húmedo tropical, bosque muy seco tropical, bosque premontano tropical, y bosque seco tropical). Se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para identificar la existencia de diferencias entre los valores de las métricas de red de interacción en los factores de cada variable ambiental. Se encontraron siete variaciones significativas de las métricas de red con los factores de variables ambientales, las cuales son: 1) anidamiento y ecosistemas ( $p = .02301$ ), especialización y ecosistemas ( $p = .008311$ ), anidamiento y provincia de humedad ( $p = .01451$ ), asimetría y provincia de humedad ( $p = .011451$ ), especialización y piso altitudinal ( $p = .0148300$ ), asimetría y zona de vida ( $p = .0336$ ) y especialización y zona de vida ( $p = .02916$ ).



*Figura 2.* Comparación del anidamiento de las redes de interacción planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala. BM: Bosque de Montaña, BS: Bosque Seco, SLL: Selva Baja Lluviosa.

La figura 2 representa el comportamiento del anidamiento de las redes de interacción planta-abeja en los ecosistemas: bosque de montaña, bosque seco y selva lluviosa, en Guatemala. Para indagar diferencias en el anidamiento de las redes entre los tres ecosistemas evaluados, se aplicó una prueba de bonferroni. Esta prueba demostró que existen de diferencias significativas del anidamiento de las redes entre los ecosistemas de bosque de montaña y bosque seco ( $p = .02$ ). Las comparaciones del anidamiento de las redes entre bosque seco y selva lluviosa, y bosque de montaña y selva lluviosa fueron no significativas ( $p > .05$ ).



*Figura 3.* Comparación de la especialización de las redes de interacción planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala. BM: Bosque de Montaña, BS: Bosque Seco, SLL: Selva Baja Lluviosa.

La figura 3 representa el comportamiento de la especialización de las redes de interacción planta-abeja en los ecosistemas: bosque de montaña, bosque seco y selva lluviosa, en Guatemala. Para indagar diferencias en el anidamiento de las redes entre los tres ecosistemas evaluados, se aplicó una prueba de bonferroni. Esta prueba demuestra que existen diferencias significativas de la especialización de las redes entre los ecosistemas de bosque de montaña y la selva lluviosa ( $p = .013$ ). Las comparaciones de la especialización de las redes entre bosque de montaña y bosque seco, y bosque seco y selva lluviosa fueron no significativas ( $p > .05$ ).

Tabla 9

*Condiciones climáticas promedio que caracterizan a tres ecosistemas en Guatemala*

Ecosistema	Zona de Vida	Altitud (m.s.n.m.)		Biotemperatura(°C)		Precipitación (mm)		Relación ETP/pp [1]	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
BS	bms-T	146	1,009	23.1	27.4	577	950	2.36	1.80
	bs-T	0	1,082	24	28.3	705	1,863	2.01	0.90
	bs-PMT	315	1,868	18.3	24	624	1,200	1.73	1.18
BM	bh-MBT	1,047	3,207	10	18	901	2,000	0.85	0.53
	bmh-MBT	984	2,949	9.9	18	1,850	3,410	0.45	0.31
	bmh-MT	1,943	3,960	6.1	15.5	1,141	2,056	0.45	0.25
SLL	bh-T	0	1,139	24	28.1	1,426	4,071	0.99	0.41
	bmh-T	0	1,003	24	26.7	2,793	4,706	0.51	0.33
	bh-PMT	126	2,209	18	24	2,000	4,850	0.53	0.29

Fuente: modificado de (IARNA, 2018).

La tabla 9 muestra la altitud (m.s.n.m), biotemperatura (media anual en °C), precipitación (media anual en mm) y relación ETP (evaporación del agua) para los ecosistemas de bosque seco, bosque de montaña y selva lluviosa, *sensu* Holdridge. Se observa que el ecosistema de bosque de montaña posee la biotemperatura más baja (min. 6.1 °C y máx. 18 °C) en comparación a los ecosistemas de bosque seco (min. 18.3 °C y máx. 28.3 °C) y selva lluviosa (min. 18 °C y máx. 28.1 °C). Además, se observa que el ecosistema de montaña se localiza altas elevaciones sobre el nivel del mar (min. 984 m.s.n.m a máx. 3,960 m.s.n.m) en contraste a los ecosistemas de bosque seco (min. 0 m.s.n.m a máx. 1,868 m.s.n.m) y selva lluviosa (min. 0 m.s.n.m a máx. 2,209 m.s.n.m).

Ecosistemas: A) BS = bosque seco, B) BM = bosque de montaña y C) SLL = selva lluviosa. Zonas de vida: A) bms-T [bosque muy seco tropical], B) bs-PMT [bosque seco premontano tropical], C) bs-T [bosque seco tropical], D) bh-MBT [bosque húmedo montano bajo tropical], E) bmh-MBT [bosque muy húmedo montano bajo tropical, F) bmh-MT [bosque muy húmedo montano], G) bh-T [bosque húmedo tropical], H) bmh-T [bosque muy húmedo tropical], I) bh-PMT [bosque muy húmedo premontano tropical].

Tabla 10

*Modelo lineal explicativo de la influencia de la temperatura y precipitación promedio anual en el anidamiento de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala*

	Estimador	Error estándar	Valor de $t$	$p (> t )$
Intercepto	33.33711	6.83792	4.875	1.85E-05 ***
Temperatura	-0.091417	0.03322	-2.752	.00894 **
Precipitación	0.003597	0.00244	1.474	.1485

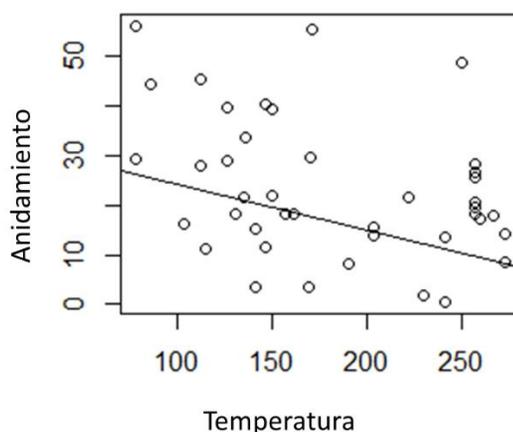
La tabla 10 muestra los estimadores, error estándar, valor de  $t$  y  $p$ , mismos correspondientes a un modelo lineal generalizado explicativo de la influencia de la temperatura y precipitación promedio anual en el anidamiento de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala. No existe relación entre la precipitación promedio anual y el anidamiento de las redes ( $p > .1485$ ). Sin embargo, se encuentra una relación negativa significativa entre la temperatura anual promedio y el anidamiento de las redes ( $p < .00894$ ). Intercepto del modelo ( $p = 1.85e-05$ ). Valor de  $p$  del modelo lineal generalizado ( $p = .2324$ ).

Tabla 11

*Modelo lineal explicativo de la influencia de la temperatura y precipitación promedio anual en la especialización de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala*

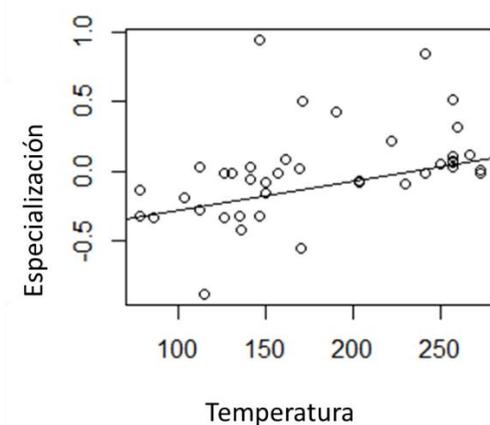
	Estimador	Error estándar	Valor de $t$	$p$ ( $> t $ )
Intercepto	-5.02E-01	1.60E-01	-3.133	.00328 **
Temperatura	2.12E-03	7.79E-04	2.729	.00949 **
Precipitación	5.98E-05	5.72E-05	1.046	.30202

La tabla 11 muestra los estimadores, error estándar, valor de  $t$  y  $p$ , mismos correspondientes a un modelo lineal generalizado explicativo de la influencia de la temperatura y precipitación promedio anual en la especialización de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala. No existe relación entre la precipitación promedio anual y el anidamiento de las redes ( $p > .300202$ ). Sin embargo, se encuentra una relación negativa entre la temperatura anual promedio y el anidamiento de las redes ( $p < .00949$ ). Intercepto del modelo ( $p = .00328$ ). Valor de  $p$  del modelo lineal generalizado ( $p = .00937$ ).



*Figura 4.* Relación de la temperatura anual promedio y el anidamiento de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala.

La figura 4 muestra la relación lineal negativa entre la temperatura anual promedio y el anidamiento de las redes. Estimador del modelo para el intercepto = 33.33711. Estimador del modelo para la temperatura = -0.091417.



*Figura 5.* Relación de la temperatura anual promedio y la especialización de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala.

La figura 5 muestra la relación lineal positiva entre la temperatura anual promedio y la especialización de las redes. Estimador del modelo para el intercepto =  $-5.02e-01$  Estimador del modelo para la temperatura =  $2.12e-03$ .

## 11.2 Discusión de resultados

El núcleo de las redes de interacción está conformado por un número muy reducido de especies, siendo dos, tres y cinco el promedio de las especies núcleo de las redes de interacción en los ecosistemas evaluados (tabla 7). De manera general, esto sugiere que la cohesión y estabilización de la red depende de un número reducido de especies generalistas que monopolizan y compiten por los recursos disponibles (Bascompte et al., 2003, Dáttilo et al., 2013). Las redes de interacción planta-abeja son más asimétricas y anidadas en el ecosistema de bosque de montaña, y menos especializadas y modulares, en comparación a los ecosistemas de bosque seco y selva lluviosa. En contraste, las redes de interacción planta-abeja en el ecosistema de selva lluviosa son más asimétricas que en los

ecosistemas de bosque de montaña y bosque seco. Por otra parte, las redes de interacción en el ecosistema de bosque seco son más modulares que en los ecosistemas de bosque de montaña y la selva lluviosa (tabla 3, 4, 5 y 6). Este patrón de variación en el anidamiento, asimetría y especialización de las redes de interacción sugiere diferencias en la conformación de las redes en los tres ecosistemas evaluados.

En este proyecto, se encontraron indicios de la relación de la estructura de las interacciones planta-abeeja y el ambiente, resultado basado en una prueba de Kruskal Wallis para comparaciones múltiples. A partir de esta prueba, se identificaron variaciones significativas de algunas métricas de red de interacción entre las variables del contexto ambiental, tales como anidamiento y provincia de humedad ( $p = .01451$ ), asimetría y provincia de humedad ( $p = .011451$ ), especialización y piso altitudinal ( $p = .0148300$ ), asimetría y zona de vida ( $p = .0336$ ), especialización y zona de vida ( $p = .02916$ ), anidamiento y ecosistemas ( $p = .02301$ ), especialización y ecosistemas ( $p = .008311$ ) (tabla 8). Sin embargo, al evaluar la robustez de las variaciones significativas utilizando la corrección de bonferroni para comparaciones múltiples, la estructura de las redes de interacción planta abeeja es explicada solamente por la variable ecosistemas, ya que el anidamiento de las redes de interacción planta-abeeja es mayor en el ecosistema de bosque de montaña, en contraste con el bosque seco ( $p = .02$ ) (Figura 2). A la vez, la especialización de las redes de interacción planta-abeeja es mayor en el ecosistema de selva lluviosa, en comparación al bosque de montaña ( $p = .013$ ) (Figura 3).

Al analizar el contexto ambiental de los ecosistemas evaluados en este proyecto, con base en los valores mínimos y máximos de altitud (m.s.n.m), biotemperatura (promedio anual en °C), precipitación (promedio anual en °C), y evapotranspiración potencial de agua (tabla 9), se encontró que el ecosistema de bosque de montaña se caracteriza por tener una biotemperatura más baja (min. 6.1 °C y máx. 18 °C) en comparación a los ecosistemas de bosque seco (min. 18.3 °C y máx. 28.3 °C) y selva lluviosa (min. 18 °C y máx. 28.1 °C). Además, el ecosistema de bosque de montaña se ubica en altitudes sobre el nivel del mar más altas (min. 984 m.s.n.m a máx. 3,960 m.s.n.m) en contraste a los ecosistemas de bosque seco (min. 0 m.s.n.m a máx. 1,868 m.s.n.m) y selva lluviosa (min. 0 m.s.n.m a máx. 2,209 m.s.n.m). Tomando en cuenta que el ecosistema de bosque de montaña contiene redes de interacción más anidadas que en el ecosistema de bosque seco ( $p = .02$ ) y, al mismo tiempo, las redes en bosques de montaña son menos especializadas que en ecosistema de selva lluviosa ( $p = .013$ ). Se

sugiere el rol indirecto que poseen la baja temperatura (min. 6.1 °C y máx. 18 °C) y altas elevaciones (min. 984 m.s.n.m a máx. 3,960 m.s.n.m) del ecosistema de montaña en el alto anidamiento y baja especialización de las redes de interacción planta-abeja. El patrón sugerido fue corroborado al encontrarse un efecto negativo de la temperatura promedio anual en el anidamiento de las redes de interacción planta-abeja ( $p = .00894$ ; tabla 10; Figura 4), y también, un efecto positivo de la temperatura promedio anual en la especialización de las redes de interacción planta-abeja ( $p = .00949$ ; tabla 11; Figura 5). Investigaciones anteriores han documentado diferencias en la estructura de las interacciones mutualistas en gradientes ambientales, resultados explicados por variables como la temperatura (Dáttilo & Vasconcelos, 2018; Rico-Gray, Díaz-Castelazo, Ramírez-Hernández, Guimaraes & Holland, 2012; Shi et al., 2020; Hielmann-Claussen et al., 2016; Schleuning et al., 2014; Sebastián-González et al., 2015), incluyendo interacciones planta-polinizador (Sonne et al., 2020; Classen et al., 2019; Antiquiera et al., 2020; Petanidou et al., 2017). Por consiguiente, el alto anidamiento y baja especialización de las redes de interacción planta-abeja es explicada de forma indirecta por la baja temperatura y alta elevación que caracterizan al ecosistema de bosque de montaña en Guatemala.

Por otra parte, se sugiere que las redes de interacción planta-abeja en selvas lluviosas contienen interacciones de alta especificidad entre los niveles tróficos, aumentando la competencia interespecífica por los recursos disponibles. En el mismo sentido, esto también puede sugerir la existencia de algunos grupos o conglomerados de interactuantes aislados en la red (Escobedo Kenefic, et al., 2020). Además, también se sugiere que las redes de interacción en la planta-abeja en ecosistemas de montaña contienen un grupo de especies generalistas que interactúan con el resto de especies especialistas en la red. Sin embargo, estas interacciones ocurren de forma poco específica. En consecuencia, la red de interacción en zonas boscosa presenta una tendencia hacia la generalización, aumentando la competencia interespecífica por los recursos (Bastolla, et al., 2009; Dalsgaard, et al., 2013). Estos resultados sugieren posibles consecuencias para la conservación de los ecosistemas de montaña, ya que estos sitios demostraron redes de interacción generalizadas. En estos casos, las perturbaciones del ambiente podrían facilitar la extinción local de las interacciones y especies especialistas de ambos niveles tróficos, conformando sistemas planta-polinizador con pocos interactuantes e interacciones entre los mismos, y por consiguiente con poca resiliencia a las presiones ambientales.

**12. Referencias**

- Antiquiera, P., de Omena, P., Gonçalves-Souza, T., Vieira, C., Migliorini, G., Kersch-Becker, M., ... Romero, G. (2020). Precipitation and predation risk alter the diversity and behavior of pollinators and reduce plant fitness. *Oecologia*, 192 (3), 745-753. doi: 10.1007/s00442-020-04612-0
- Ariño, H. (2010). Approaches to estimating the universe of natural history collections data. *Biodiversity Informatics*, 7 (2), 81 – 92. doi:10.17161/bi.v7i2.3991.
- Barber, M. (2007). Modularity and community detection in bipartite networks. *Physical Review*, E76 (6 Pt 2), 066102. doi: 10.1103/PhysRevE.76.066102
- Barrios, M., García, P., Orellana, R., García, M., Burgos, C., del Cid, J., ... Cruz, H. (2014). Conocimiento del Patrimonio Natural de Guatemala, 25 años de investigación y manejo de información: Centro de Datos para la Conservación (CDC). *Ciencia y Conservación*, 5, 26 - 37.
- Bartomeus, I., Stavert, R., D., Ward., & Aguado, O. (2018). Historical collections as a tool for assessing the global pollination crisis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374, 20170389. doi: 10.1098/rstb.2017.0389
- Bascompte J, & Jordano, P. (2014). *Mutualistic networks*. Princeton University Press, Princeton.
- Bascompte, J. (2010). Structure and dynamics of ecological networks. *Science*, 329(5993), 765 – 766. doi: 10.1126/science.1194255
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: The architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 38 (1), 567 – 593. doi: annurev.ecolsys.38.091206.095818

- Bascompte, J., Jordano, P., Melian, C., & Olesen, J. (2003). The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of National Academy of Science of the United States of America*, *10*(16), 9389. – 9387. doi: 10.1073/pnas.1633576100
- Bastolla, U., Fortuna, M.A., Pascual-García, A., Ferrera, A., Luque, B. & Bascompte, J. (2009). The architecture of mutualistic networks minimizes competition and increases biodiversity. *Nature*, *458*, 1018-1020. doi: <https://doi.org/10.1038/nature07950>
- Beaulieu, C., Lavoie, C., Proulx, R. (2018). Bookkeeping of insect herbivory trends in herbarium specimens of purple loosestrife (*Lythrum salicaria*). *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *374*, 20170398. doi: 10.1098/rstb.2017.0398
- Becerra, J. (2015). On factors that promote the diversity of herbivorous insect and plants in tropical forest. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, *119*(12), 6098 - 6103. doi: 10.1073/pnas.1418643112
- Blüthgen N., Menzel F., Blüthgen N. (2006). Measuring specialization in species interaction networks. *BioMed Central Ecology*, *6*(1), 9. doi:10.1186/1472-6785-6-9
- Blüthgen, N., Menzel, F., Hovestadt, T., Fiala, B., & Blüthgen, N. (2007). Specialization, constraints and conflicting interest in mutualistic networks. *Current Biology*, *17*(4): 1 – 6. doi: 10.1016/j.cub.2006.12.039
- Bustamante-Castillo, M., Hernández-Baños, B., Arizmendi, M. (2020). Hummingbird-plant visitation networks in agricultural and forested areas in a tropical dry forest region of Guatemala. *Journal of Ornithology*, *161*(1), 189–201. doi: 10.1007/s10336-019-01712-4

- Campos-Navarrete, M.J., Parra-Tabla, V., Ramos-Zapata, J., Díaz-Castelazo, C., & Reyes, N. (2013). Structure of plant-Hymenoptera networks in two coastal shrub sites in Mexico. *Arthropod-Plant Interactions*, 7(6), 607 - 617. doi: 10.1007/s11829-013-9280-1
- Carlson, C., Flagstand, F., Gillet, F., & Mitchell, E. (2010). Community development along a proglacial chronosequence: are above-ground and below-ground community structure controlled more by biotic than abiotic factors? *Journal of Ecology*, 98(5), 1084–1095. doi: 10.1111/j.1365-2745.2010.01699.x
- Castañeda, C. (2008). Diversidad de ecosistemas en Guatemala. En: *Guatemala y su Biodiversidad. Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*, 181-229. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Chacoff, N., Vázquez, D., Lomascolo, Silva, Stevani, E., Dorando, J., & Padrón, B. (2012). Evaluating sampling completeness in a desert plant–pollinator network. *Journal of Animal Ecology*, 81(1), 190 – 200. doi: 10.1111/j.1365-2656.2011.01883.x
- Classen, A., Eardley, C., Hemp, A., Peters, M., Peters, R., Ssymank, A., & Steffan-Dewenter, I. (2019). Specialization of plant-pollinator interactions increases with temperature at Mt. Kilimanjaro. *Ecology and Evolution*, 10(4), 2182–2195. doi: 10.1002/ece3.6056
- Dalsgaard, B., Magård, E., Fjeldså, J., Martín, A.M.G., Rahbek, C., Olesen, J.M., ... Svenning, J. (2011). Specialization in plant–hummingbird networks is associated with species richness, contemporary precipitation and Quaternary climate-change velocity. *PLoS ONE*, 6, e25891.

- Dalsgaard, B., Trøjelsgaard, K., Martín, M., Nogués-Bravo, D., Ollerton, J., Petanidou, T., ...Olesen, J. (2013). Historical climate-change influences modularity and nestedness of pollination networks, *Ecography*, 36(12), 1331 – 1340. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.00201.x
- Daniel, J., Gleason, J., Cottenie, K., & Rooney, R. (2019). Stochastic and deterministic processes drive wetland community assembly across a gradient of environmental filtering. *OIKOS*, 128(8), 1158 - 1169. doi: 10.1111/oik.05987
- Dáttilo, W., & Vasconcelos, H. (2018). Macroecological patterns and correlates of ant-tree interaction networks in Neotropical savannas. *Global Ecology and Biogeography*, 28(9), 1283 – 1294. doi: doi.org/10.1111/geb.12932
- Dáttilo, W., Guimarães, P. R., & Izzo, T. J. (2013). Spatial structure of ant-plant mutualistic networks. *OIKOS*, 122(11), 1643–1648. doi:10.1111/j.1600-0706.2013.00562.x
- Dehling, M. (2018). The Structure of Ecological Networks. En W. Dáttilo & V., Rico-Gray (Eds), *Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interaction from Some of the most Species-Rich Habitats on Earth* (pp. 29 - 44). Gewerbestrasse; Springer
- Dirzo, R., Young, H., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401 – 406. doi: 10.1126/science.1251817
- Enriquez, E. & Ayala, R. (2014). Impacto de la Colección de Abejas Nativas de Guatemala, luego de 14 años de su conformación. *Ciencia y Conservación*, 5, 38-47.
- Enríquez, E., Yurrita, C., Ayala, R., Marroquín, A., & Griswold, T. (2012). Diversidad de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) de Guatemala. En: E. Cano & J. Schuster (Eds.), *Biodiversidad de Guatemala* (Vol.2, pp. 2-20). Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

- Estrada, E. (2011). *The Structure of Complex Networks: Theory and Applications*. Londres: Oxford University Press
- Escobedo-Kenefic, N., Landaverde-González P., Theodorou, P., Cardona, E., Dardón, M.J., Martínez, O., & Domínguez, C. A. (2020). Disentangling the effects of local resources, landscape heterogeneity and climatic seasonality on bee diversity and plant-pollinator networks in tropical highlands. *Oecologia*, *194*(3), 333-344. doi: 10.1007/s00442-020-04715-8.
- Falcão, J., Dáttilo, W., & Rico-Gray, V. (2016). Sampling effort differences can lead to biased conclusions on architecture of ant-plant interaction network. *Ecological Complexity*, *25*(1), 44 – 52. doi:10.1016/j.ecocom.2016.01.001
- Fine, P. (2015). Ecological and evolutionary drivers of geographics variation in species diversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic*, *46*(1), 369 – 392. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-112414-054102
- Global Biodiversity Information Facility (Julio, 2020). Global Biodiversity Information Facility Occurrence Download. DOI: 10.15468/dl.c3tcwk
- González-Vaquero, R., Gravel, A., & Devoto, M. (2014). Information retrieved from specimens at Natural History Collection can improve the quality of field based ecological networks. *Community Ecology*, *15*(2), 187 – 193. doi: 10.1556/ComEc.15.2014.2.7
- Hielmann-Claussen, J., Maruyama, P., Bruun, H., Dimitrov, D., Læssøe, T., Frøslev, T., & Dalsgaard, B. (2016). Citizen science data reveal ecological, historical and evolutionary factors shaping interactions between woody hosts and wood-inhabiting fungi. *New Phytologist*, *212*(4), 1072–1082. doi: 10.1111/nph.14194

IARNA-URL (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar). (2018). *Ecosistemas de Guatemala basado en el sistema de clasificación de zonas de vida*. Guatemala: Autor.

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas (s.f.). Herbario de la Escuela de Biología, BIGU [Entrada de página web]. Recuperado de <https://iiqb.ccqqfar.usac.edu.gt/en/unidades-de-investigacion/herbariobigu/>

Jordano, P. (1987). Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. *The American Naturalist*, 129(5), 657 – 677. doi: 10.1086/284665

Jordano, P. (2016). Sampling networks of ecological interactions. *Functional Ecology*, 30(12), 1885 – 1893. doi: 10.1111/1365-2435.12763

Jordano, P., Bascompte, J., & Olesen, J. (2003). Invariant properties in coevolutionary network of plant-pollinator interaction. *Ecology Letters*, 6 (1), 69 – 81. doi: 10.1046/j.1461-0248.2003.00403.x

Maruyama., P, Vizentin-Bugoni, J., Oliveira, G., Oliveira, P., & Dasgaard, B. (2014). Morphological and spatio-temporal mismatches shape a neotropical savanna plant-hummingbird network. *Biotropica*, 46(6),740–747. doi: 10.1111/btp.12170

Meineke, E., & Davies, T. (2018). Museum specimens provide novel insights into changing plant-herbivore interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374, 20170393. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2017.0393>

- Meineke, E., Davies, J., Daru, B., & Davis, C. (2018). Biological collections for understanding biodiversity in the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374, 20170386. doi: 10.1098/rstb.2017.0386
- Michener, C. (2007). *Bees of the world*. The John Hopkins University: Baltimore.
- Pérez-Consuegra, S. (2016). USAC Mammals Collection. Version 8.1. Museo de Historia Natural de la USAC MUSHNAT. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/16fwgc> accessed via GBIF.org on 2020-07-05.
- Petanidou, T., Kallimanis, A., Lazarina, M., Tscheulin, T., Devalez, J., Stefanaki, A., Hanlidou, E., ... Sgardelis, S. (2017). Climate drives plant–pollinator interactions even along small-scale climate gradients: the case of the Aegean. *Plant Biology*, 20(S1), 176 – 183. doi: 10.1111/plb.12593
- Poisot, T. & Gravel, D. (2014). When is an ecological network complex? Connectance drives degree distribution and emerging network properties. *PeerJ*, 2, e251. doi: 10.7717/peerj.251
- Pyke, G., & Ehrlich, P. (2010). Biological collections and ecological/environmental research: a review, some observations and a look to the future. *Biological Reviews*, 85(1), 247 - 266. doi:10.1111/j.1469-185X.2009.00098.x
- Quezada, M., & Rodas, R. (2014). Herbario Universidad de San Carlos de Guatemala (USCG): inicios, presente y perspectivas al futuro. *Ciencia y Conservación*, 5, 10 – 17.
- Quintana, Y., Barrientos, C. y Elías, D. (2016). “Colección Ictiológica del Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala”. En L. F. Del Moral-Flores, A. J. Ramírez-

- Rico-Gray, V., Díaz-Castelazo, C., Ramírez-Hernández, A., Guimaraes, P., & Holland, J.N. (2012). Abiotic factors shape temporal variation in the structure of an and-plant network. *Arthropod-Plant Interactions*. 6:289-295. doi: 10.1007/s11829-011-9170-3
- Rosales de Zea, C. (2014). Las colecciones del Jardín Botánico: Historia, aportes y retos a casi cien años de su fundación. *Ciencia y conservación*, 5, 2-9.
- Schleuning, M., Ingmann, L., Strauß, R., Fritz, S., Dalsgaard, B., Dehling, D., Plein, M., ... Dormann, C. (2014). Ecological, historical and evolutionary determinants of modularity in weighted seed-dispersal networks. *Ecology Letters*, 17(4), 454 -463. doi:10.1111/ele.12245
- Schuster, J.C. (2019). Las colecciones de insectos contribuyen a su conservación, no a su extinción. *Revista Yu'am*, 3 (5): 71-74.
- Sebastián-González, E., Dalsgaard, B., Sandel, B., & Guimarães, P. (2015). Macroecological trends in nestedness of seed dispersal networks: human impact matters. *Global Ecology and Biogeography*, 24 (3), 293 – 303. doi:10.1111/geb.12270
- Shi, Y., Zhang, K., Li, Q., Liu, X., Heng, J., & Chu, H. (2020). Interannual climate variability and altered precipitation influence the soil microbial community structure in a Tibetan Plateau grassland. *Science of the Total Environment*, 714(1), 136794 doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136794
- Simmons, B. I., Sutherland, W. J., Dicks, L. V., Albrecht, J., Farwig, N., García D, ... González-Varo, J. P. (2018). Moving from frugivory to seed dispersal: Incorporating the functional outcomes of interactions in plant-frugivore networks. *Journal of Animal Ecology*, 87, 995–1007. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12831>

- Singh, B., Dawson, L., McDonald, C., & Buckland, S. (2009). Impact of biotic and abiotic interaction on soil microbial communities and functions: A field study. *Applied Soil Ecology*, 41 (3), 239 - 248. doi: 10.1016/j.apsoil.2008.10.003
- Soares, R., Ferreira, P., & Lopes, L (2017). Can plant-pollinator network metrics indicate environmental quality?. *Ecological Indicators*, 78(1), 361 – 370. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.03.037
- Sonne, J., Vizentin-Burgoni, J., Maruyama, P., Araujo, A., Chávez-González, E., Coelho, A., Cotton, A., ... Dalsgaard, B. (2020). Ecological mechanisms explaining interactions within plant-hummingbird networks: morphological matching increases towards lower latitudes. *Proceedings of the Royal Society B*, 287, 20192873 doi: 10.1098/rspb.2019.2873.
- Trøjelsgaard, K., & Olesen, M. (2012). Macroecology of pollination networks. *Global Ecology and Biogeography*, 22 (2), 149 - 152. doi: 10.1111/j.1466-8238.2012.00777.x
- Tylianakis, J., Laliberté, E., Nielsen, A., & Bascompte, J. (2010). Conservation of species interaction networks. *Biological Conservation*, 143(10), 2270 - 2279. doi:10.1016/j.biocon.2009.12.004
- Valiente-Banuet, A., Aizen, M., Alcántara, J., Arroyo, J., Cocucci, A., Galetti, M., García, M., ... Zamora, Regio. (2015). Beyond species loss: the extinction of the ecological interaction in a changing world. *Functional Ecology*. 29(3), 299–307. doi: 10.1111/1365-2435.12356
- Vázquez, D., Blüthgen, N., Cagnolo, L & Chacoff, N. (2009). Uniting pattern and process in plant-animal mutualistic networks: a review. *Annals of Botany*. 103(9):1445–1457. doi: 10.1093/aob/mcp057

- Villalobos, J. A. Martínez-Pérez, A. F. González-Acosta y J. Franco-López (Eds.). *Colecciones ictiológicas de Latinoamérica* (pp. 151-164). México: Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM/Sociedad Ictiológica Mexicana, A.C.
- Viola, D., Mordecai, E., Jaramillo, A., Sistla, S., Albersson, L., Gosnell, B, ... Levine, J. (2010). Competition-defense tradeoffs and the maintenance of plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 107(40), 17217–17222. doi: doi.org/10.1073/pnas.1007745107
- Vizentin-Burgoni, J., Maruyama, P., Silvera de Souza, C., Ollerton, J., Rech, A., & Sazima, M. (2018). Plant pollinator interactions networks in the tropics: A review. En: W. Dáttilo & V. Rico-Gray(Eds.), *Ecological networks in the tropics: An integrative overview of species interaction from some of the most species rich hábitats on earth* (pp. 73-92). Cham: Springer.

### 13. Apéndice

#### 13. 1 Apéndice 1

Tabla A1

*Métricas de las redes de interacción planta-abeja de Guatemala. Métricas corregidas por modelos nulos de 43 redes de interacción planta-abeja en Guatemala*

R	NODF	NODF Δ	ISA	ISAB Δ	C	C Δ	H2	H2 Δ	Q	Q Δ	Z vida	Piso	Provin	Eco
1	3.97676497	3.52065391	0.48337908	0.13122572	0.08278354	0.10836486	0.10073593	0.02188519	0.6568127	0.4570681	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
2	2.02159125	3.65829508	0.3240268	0.12589919	0.09970176	0.11331049	0.07619048	0.03356271	0.5450338	0.46458636	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
3	4.90196078	21.6762246	0.44344664	0.13609729	0.17232812	0.19845901	-0.21011396	-0.32762411	0.3319616	0.2590246	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
4	14.0169271	15.3392481	0.31280114	0.16931624	0.12535093	0.13102428	-0.05159373	-0.06208978	0.4497661	0.33848502	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
5	10.5362812	18.2075526	0.45297143	0.15335402	0.09370231	0.15313291	-0.01820354	-0.01073022	0.5155768	0.27242205	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
6	10.5362812	18.2075526	0.45297143	0.15335402	0.09370231	0.15313291	-0.01820354	-0.01073022	0.05355494	0.0498375	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
7	22.3979592	40.1401142	0.61053255	0.08834009	0.1972254	0.23355747	-0.50554212	-0.3247237	0.3002367	0.11586209	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
8	0	55.392371	0.79252289	-0.10219637	0.20869414	0.22521103	0.03571429	0.50207179	0.01642656	0.0071086	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
9	45.0980392	39.0833692	0.26455071	0.05041019	0.20913377	0.23751621	-0.14280386	-0.08711282	0.3072803	0.12409707	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
10	10.7142857	18.2328369	0.60589916	0.15021076	0.19191693	0.24397986	0.26534091	0.079104	0.4416	0.2523554	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
11	30.5555556	33.5321412	0.6082144	0.02887791	0.18386938	0.22763919	-0.53819444	-0.41992045	0.2347215	0.07661273	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
12	66.6666667	39.4362939	0	0.02453576	0.33996795	0.31071289	-0.0093254	-0.01805708	0.04994055	0.05003553	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
13	20.3331333	21.9811901	0.61048159	0.16913864	0.159254	0.19737554	-0.3791413	-0.15667811	0.5497638	0.26726759	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
14	37.8787879	28.7912406	0.27114462	0.13122069	0.23774117	0.22680616	-0.35611672	-0.33531042	0.2233887	0.17279153	bh-MBT	Mont	Húmedo	BM
15	8.37195484	15.6085341	0.56788878	0.16868762	0.08085816	0.1307668	-0.17809766	-0.08034427	0.5825047	0.31344815	bh-PMT	Pre-mo	Húmedo	SLL
16	12.6436782	13.900858	0.39481607	0.08942318	0.18481371	0.18589288	-0.08666667	-0.06902519	0.2168367	0.14762509	bh-PMT	Pre-mo	Húmedo	SLL

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

R	NODF	NODF Δ	ISA	ISAB Δ	C	C Δ	H2	H2 Δ	Q	Q Δ	Z vida	Piso	Provin	Eco
17	3.75586854	8.23997587	0.67542885	0.20285806	0.31096039	0.31818693	0.70128205	0.42618458	0.2608471	0.19871698	bh-PMT	Pre-mo	Húmedo	SLL
18	0	18.229234	1	-0.07324688	0.1264901	0.13496148	0.67333333	0.51617623	0.03668443	0.00445931	bh-T	Basal	Húmedo	SLL
19	17.2169508	28.2821638	0.52755358	0.11198992	0.07750383	0.11815499	0.14184434	0.06758781	0.4697846	0.17099765	bh-T	Basal	Húmedo	SLL
20	6.21266759	26.4899384	0.4935332	0.11643711	0.07810207	0.12167397	0.11579752	0.05901229	0.3729939	0.18336347	bh-T	Basal	Húmedo	SLL
21	8.33333333	11.4461706	0.14935431	0.04341763	0.23918197	0.23527844	0.94762808	0.94883119	0.02805197	0.02558169	bmh-MBT	Mon-ba	Mhúmedo	SLL
22	18.75	29.6081706	0.65345828	0.03767627	0.23020033	0.25581537	-0.6630303	-0.55786359	0.1217482	0.0698616	bmh-MBT	Mon-ba	Mhúmedo	SLL
23	0	11.1871662	0.78527681	0.02592247	0.26108809	0.27714927	-0.86666667	-0.88958138	0.1069388	0.0698616	bhm-MT	Mont	Mhúmedo	BM
24	42.8571429	44.3289685	0.14001439	0.03926665	0.32295692	0.32432527	-0.27661736	-0.33188287	0.1461973	0.09957799	bhm-MT	Mont	Mhúmedo	BM
25	48.4126984	45.1611804	0.19737507	0.03456805	0.24753256	0.25142267	0.13487654	0.02993332	0.1706509	0.07562923	bhm-MT	Mont	Mhúmedo	BM
26	54	55.9953394	0.57669635	0.03916193	0.17549186	0.20679217	-0.0911774	-0.13417614	0.2743484	0.04534683	bhm-MT	Mont	Mhúmedo	BM
27	23.2638889	29.1999104	0.27537865	0.03276315	0.25932023	0.25499302	-0.40698529	-0.32988754	0.2231405	0.12872104	bhm-MT	Mont	Mhúmedo	BM
28	7.69230769	27.9662858	0.59783889	0.12158572	0.20960904	0.26990299	-0.29506579	-0.28555728	0.3856749	-0.1966276	bhm-MT	Mont	Mhúmedo	BM
29	13.8888889	16.2263095	0.53631041	0.08993245	0.15239061	0.19355714	-0.15054945	-0.19473184	0.3923611	0.2411238	bhm-MT	Mont	Mhúmedo	BM
30	12.574764	20.6556016	0.4373371	0.13085345	0.06198485	0.11126465	0.06858817	0.03014915	0.47568	0.20681189	bmh-T	Basal	Mhúmedo	SLL
31	9.55930198	25.4243659	0.4497961	0.12293517	0.06867125	0.11116164	0.05409847	0.03042971	0.3837963	0.18768027	bmh-T	Basal	Mhúmedo	SLL
32	19.3548387	48.5211168	0.42619301	0.04296307	0.18046407	0.23206306	0.08672038	0.05447544	0.1156732	-0.0972898	bmh-T	Basal	Mhúmedo	SLL
33	0	13.3567379	0.81403804	0.03747111	0.24932865	0.28055541	0.84761905	0.84964629	0.2002743	0.15092221	bmh-T	Basal	Mhúmedo	SLL
34	5.42635659	0.51407954	0.14285714	0.1059721	0.13794837	0.11558967	0.02777778	-0.01738674	0.5879017	0.58900557	bmh-T	Basal	Mhúmedo	SLL
35	12.1222607	8.42429984	0.39202478	0.17184024	0.10260671	0.11458511	0.08588871	0.00334369	0.5626347	0.41957497	bms-T	Basal	Mseco	BS
36	7.3286052	17.9337568	0.78970759	0.19241255	0.09417163	0.17019387	0.61021324	0.118165	0.5762963	0.46790362	bms-T	Basal	Mseco	BS
37	7.3286052	17.9337568	0.78970759	0.19241255	0.09417163	0.17019387	0.61021324	0.118165	0.5649615	0.30290557	bms-T	Basal	Mseco	BS
38	0	17.0597133	1	0.17413813	0.19997933	0.23630294	0.7	0.31647134	0.3460208	0.18563679	bms-T	Basal	Mseco	BS

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

R	NODF	NODF $\Delta$	ISA	ISAB $\Delta$	C	C $\Delta$	H2	H2 $\Delta$	Q	Q $\Delta$	Z vida	Piso	Provin	Eco
39	12.5730994	19.4735018	0.53436172	0.13883419	0.17090833	0.22162766	0.22301587	0.10473714	0.4487535	0.2495876	bms-T	Basal	Mseco	BS
40	3.41463415	1.92725141	0.43445512	0.14031535	0.12674272	0.13117609	0.01428571	-0.0963989	0.626667	0.53144414	bs-PMT	Pre-mo	Mseco	BS
41	18.9189189	21.6239261	0.6156167	0.03826646	0.24258703	0.27201	0.50555556	0.21579808	0.2853746	0.12014961	bs-PMT	Pre-mo	Mseco	BS
42	13.1096681	14.1866721	0.46664947	0.19027103	0.09841225	0.13017992	-0.01888736	-0.01684609	0.4490089	0.34364707	bs-T	Basal	Seco	BS
43	12.5	-1.69574257	0.71528943	0.0088989	0.29982122	0.39854856	-0.57913052	-0.35913589	0.2897664	0.04409435	bs-T	Basal	Seco	BS

La tabla A1 muestra las métricas obtenidas para las 43 redes de interacción planta-abeja contempladas en este proyecto. También se muestran los valores observados y corregidos por modelos nulos de cinco métricas descriptiva de la estructura de cada red. Además, se expone las características del contexto ambiental de cada red. Variables representadas: 1) R = red de interacción, 2) NODF = anidamiento observado, 3) NODF $\Delta$  = anidamiento corregido, 3) ISA = asimetría observada, 4) ISA  $\Delta$  = asimetría corregida, 5) C = conectancia observada, 6) C  $\Delta$  = conectancia observada, 7) H2 = especialización observada, H2  $\Delta$  = especialización corregida, 8) Q = Modularidad observada, 9) Q  $\Delta$  = modularidad corregida, 8) Zvida = zona de vida y sus factores: A) bmh-MT = bosque muy húmedo montano tropical, B) bmh-T = bosque muy húmedo tropical, C) bms-T = bosque muy seco tropical, D) bs-PMT = bosque seco premontano, E) bs-T = bosque seco tropical, F) bh-MBT = bosque húmedo montano bajo tropical, G) bh-T = bosque húmedo tropical, H) bh-PMT = bosque húmedo premontano, I) bmh-PMT = bosque muy húmedo premontano tropical. 9) Piso = piso altitudinal y sus factores: A) montano, B) premontano, C) montano bajo y D) basal. 10) Provin = provincias de humedad y sus factores: A) Húmedo = Húmedo, B) MHúmedo = muy húmedo, C) Seco = seco y D) MSeco = muy seco. 11) Ecosistemas y sus factores = A) BM = bosque de montaña, B) BS = bosque seco y C) SLL = selva lluviosa.

## 13.2 Apéndice 2.

Registros de interacciones planta-abeja en los ecosistemas de Guatemala.

Tabla A2

*Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del Bosque húmedo montano bajo tropical bh-MBT*

	Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>		
	<i>Agapostemon (Agapostemon) texanus</i> Cresson, 1872	7
	<i>Agapostemon (Notagapostemon) erebus</i> Roberts, 1972	1
	<i>Agapostemon (Notagapostemon) leunculus</i> Vachal, 1903	14
	<i>Andrena</i> Fabricius, 1775 Sp1	13
	<i>Andrena</i> Fabricius, 1775 Sp2	5
	<i>Anthidium (Anthidium) maculifrons</i> Smith, 1854	1
	<i>Anthophora (Anthophoroides) californica</i> Cresson, 1869	3
	<i>Anthophora (Heliophila) squammulosa</i> Dours, 1870	1
	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	3
	<i>Augochlora (Augochlora) albiceps</i> Friese, 1925	5
	<i>Augochlora (Augochlora) quiriguensis</i> Cockerell, 1913	1
	<i>Augochlora (Augochlora) smaragdina</i> Friese, 1917	6
	<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp1	4
	<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp5	1
	<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp7	1
	<i>Augochlorella (Augochlorella) pomoniella</i> (Cockerell, 1915)	2
	<i>Augochlorella aurata</i> (Smith, 1853)	1
	<i>Augochloropsis (Paraugochloropsis) metallica</i> (Fabricius, 1793)	1
	<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1897 Sp4	2
	<i>Bombus (Brachycephalibombus) brachycephalus</i> Handlirsch, 1888	2
	<i>Bombus (Dasybombus) macgregori</i> Labougle and Ayala, 1985	3
	<i>Bombus (Fervidobombus) mexicanus</i> Cresson, 1878	23
	<i>Bombus (Fervidobombus) weisi</i> Friese, 1903	3
	<i>Bombus (Psythirus) variabilis</i> (Cresson, 1872)	8
	<i>Bombus (Pyrobombus) ephippiatus</i> Say, 1837	182
	<i>Bombus (Pyrobombus) wilmattae</i> Cockerell, 1912	476
	<i>Centris (Paracentris) nigrocaerulea</i> Smith, 1874	7
	<i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)	1
	<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp10	1
	<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp7	3
	<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp8	2
	<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp9	8
	<i>Coelioxys</i> Latreille, 1809 Sp1	2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp1	4
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp3	1
<i>Dinagapostemon sicheli</i> (Vachal, 1901)	1
<i>Dolichotrigona schulthessi</i> (Friese, 1900)	3
<i>Epicharis</i> (Epicharana) <i>elegans</i> Smith, 1861	1
<i>Epicharis</i> (Epicharoides) <i>maculata</i> Smith, 1874	2
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 Sp1	3
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 Sp2	3
<i>Halictus</i> ( <i>Odontalictus</i> ) <i>ligatus</i> Say, 1837	1
<i>Halictus</i> ( <i>Seladonia</i> ) <i>hesperus</i> Smith, 1862	3
<i>Hylaeus</i> Fabricius, 1793 Sp3	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp10	3
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp2	6
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp7	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp8	9
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp9	7
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Eickwortia</i> ) <i>nyctere</i> (Vachal, 1904)	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Lasioglossum</i> ) <i>acarophilum</i> McGinley, 1986	4
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Lasioglossum</i> ) <i>costale</i> (Vachal, 1904)	8
<i>Lasioglossum</i> Curtis, 1833 Sp1	4
<i>Megachile</i> ( <i>Chelostomoides</i> ) <i>otomita</i> Cresson, 1878	3
<i>Megachile</i> ( <i>Chrysoaenus</i> ) Latreille, 1802 Sp	3
<i>Megachile</i> ( <i>Cresoniella</i> ) <i>zapoteca</i> Cresson, 1878	4
<i>Megachile</i> ( <i>Leptorachis</i> ) Latreille, 1802 Sp1	1
<i>Megachile</i> ( <i>Pseudocentron</i> ) <i>curvipes</i> Smith, 1853	1
<i>Megachile</i> Latreille, 1802 Sp2	1
<i>Melipona</i> <i>beecheii</i> Bennett, 1831	14
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 Sp2	2
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 Sp4	18
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 Sp5	4
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	5
<i>Neocorynura pubescens</i> (Friese, 1917)	9
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1879 Sp1	1
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1879 Sp3	4
No esta	2
<i>Nomada</i> Scopoli, 1770 Sp2	1
<i>Paratetrapedia</i> ( <i>Paratetrapedia</i> ) <i>calcarata</i> (Cresson, 1878)	3
<i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)	4
<i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)	128
<i>Peponapis</i> ( <i>Peponapis</i> ) <i>limitaris</i> (Cockerell, 1906)	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Peponapis (Peponapis) atrata</i> (Smith, 1879)	20
<i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)	2
<i>Plebeia melanica</i> Ayala, 1999	1
<i>Plebeia parkeri</i> Ayala, 1999	1
<i>Plebeia pulchra</i> Ayala, 1999	2
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	2
<i>Pseudopanurgus asperatus</i> (Timberlake, 1975)	12
<i>Pseudopanurgus bidentis</i> (Cockerell, 1896)	1
<i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin-Méneville, 1845)	5
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	8
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp2	8
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	13
<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	8
<i>Trigonisca pipioli</i> Ayala, 1999	5
<i>Xylocopa (Notoxylocopa) guatemalensis</i> Cockerell, 1912	1
<i>Xylocopa (Notoxylocopa) tabaniformis</i> Smith, 1854	2
<i>Xylocopa (Schnnherrnia) lateralis</i> Say, 1837	1
<b>Total abejas</b>	<b>1160</b>

## Plantas

<i>Abutilon megapotamicum</i> (A.Spreng.) A.St.-Hil. & Naudin	1
<i>Acmella oppositifolia</i> (Lam.) R.K.Jansen	23
<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	5
<i>Alloispermum integrifolium</i> (DC.) H.Rob.	1
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	1
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H.Rob. & Brettell	12
<i>Bidens bicolor</i> Greenm.	42
<i>Bidens holwayi</i> Sherff & S.F.Blake	2
<i>Bidens odorata</i> Dum.Cours.	3
<i>Bidens pilosa</i> L.	1
<i>Bidens</i> L. sp	11
<i>Bidens squarrosa</i> Kunth	9
<i>Bidens odorata</i> Dum. Cours.	5
<i>Buddleja americana</i> L.	1
<i>Borreria</i> G. Mey. Sp	1
<i>Brachistus stramonifolius</i> (Kunth) Miers	3
<i>Brassica campestris</i> L.	68
<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	2
<i>Brassica napus</i> L.	4
<i>Brassica rapa</i> L.	22

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Brassica</i> L. Sp	23
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	6
<i>Catharanthus</i> G. Don Sp	2
<i>Chrysanthemum americanum</i> (L.) Vatke ex Weberl. & Lagos	5
<i>Cirsium radians</i> Benth.	10
<i>Cirsium subcoriaceum</i> (Less.) Sch.Bip. ex Sch.Bip.	15
<i>Cissus cacuminis</i> Standl.	1
<i>Cissus microphylla</i> Turcz.	1
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	1
<i>Coriandrum sativum</i> L.	27
<i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché	1
<i>Cucurbita pepo</i> L.	84
<i>Cucurbita</i> L. sp	5
<i>Coffea arabica</i> L.	30
<i>Cuscuta</i> L. Sp	1
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	3
<i>Dahlia imperialis</i> Roetzl ex Ortgies	26
<i>Dalea annua</i> (Mill.) Kuntze	2
<i>Dalea</i> L. Sp	7
<i>Desmodium</i> Desv. Sp	4
<i>Dyschoriste quadrangularis</i> (Oerst.) Kuntze	2
<i>Epilobium mexicanum</i> Moc. & Sessé ex DC.	4
<i>Erigeron</i> L. Sp	2
<i>Eupatorium</i> L. Sp	4
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.	1
<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) R.M.King & H.Rob.	2
<i>Fleischmannia</i> Sch. Bip. Sp	4
<i>Fleischmannia pycnocephaloides</i> (B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.	3
<i>Fuchsia arborescens</i> Sims	13
<i>Fuchsia microphylla</i> Kunth	8
<i>Fuchsia paniculata</i> Lindl.	4
<i>Fuchsia striolata</i> Lundell	1
<i>Geranium guatemalense</i> R.Knuth	2
<i>Hippobroma longiflora</i> (L.) G.Don	1
<i>Hymenostephium guatemalense</i> (B.L.Rob. & Greenm.) S.F.Blake	4
<i>Hyptis urticoides</i> Kunth	3
<i>Ipomoea meyeri</i> (Spreng.) G. Don	17
<i>Jaltomata procumbens</i> (Cav.) J.L.Gentry	7
<i>Lasianthaea fruticosa</i> (L.) K.M.Becker	1
<i>Lepidium virginicum</i> L.	3

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Lippia substrigosa</i> Turcz.	11
<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	1
<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	12
<i>Lysimachia steyermarkii</i> Standl.	1
<i>Malvastrum ribifolium</i> Hemsl.	1
<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich. ex Rich.) DC.	8
<i>Melampodium perfoliatum</i> (Cav.) Kunth	17
<i>Melanthera nivea</i> (L.) Small	3
<i>Miconia tixixensis</i> Standl. & Steyerm.	1
<i>Mimosa albida</i> Willd.	2
<i>Montanoa pteropoda</i> S.F.Blake	12
<i>Nicandra physalodes</i> (L.) Gaertn.	4
<i>Ocimum basilicum</i> L.	9
<i>Oenothera elata</i> Kunth	3
<i>Oxalis corniculata</i> L.	1
<i>Oxalis</i> L. Sp	1
<i>Oxalis tenella</i> Jacq.	1
<i>Passiflora sexflora</i> Juss.	5
<i>Passiflora</i> L. Sp	6
<i>Perymenium grande</i> Hemsl.	9
<i>Phacelia platycarpa</i> (Cav.) Spreng.	5
<i>Phaseolus lunatus</i> L.	7
<i>Phaseolus polyanthus</i> Greenm.	3
<i>Phaseolus</i> L. Sp	4
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	6
<i>Physalis angustiphysa</i> Waterf.	20
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	7
<i>Pisum sativum</i> L.	8
<i>Pluchea odorata</i> (L.) Cass.	1
<i>Podachaenium eminens</i> (Lag.) Sch.Bip. ex Sch.Bip.	5
<i>Portulaca oleracea</i> L.	1
<i>Prunella vulgaris</i> L.	2
<i>Pseudognaphalium attenuatum</i> (DC.) Anderb.	1
<i>Psidium guajava</i> L.	1
<i>Psidium pyriferum</i> L.	1
<i>Psidium guajava</i> L.	1
<i>Psidium pyriferum</i> L.	9
<i>Psidium sativum</i>	1
<i>Ranunculus dichotomus</i> Moc. & Sessé ex DC.	2
<i>Ranunculus geoides</i> Humb., Bonpl. & Kunth ex DC.	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Raphanus raphanistroides</i> Sinskaya	46
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	8
<i>Raphanus sativus</i> L.	17
<i>Raphanus</i> L. Sp	17
<i>Roldana petasioides</i> (Greenm.) H.Rob.	1
<i>Roldana petasioides</i> (Greenm.) H. Rob.	8
<i>Roldana</i> La Llave Sp	1
<i>Rondeletia cordata</i> Benth.	28
<i>Rubus costaricanus</i> Liebm.	1
<i>Rubus</i> L. Sp	3
<i>Rubus swinhoei</i> Hance	1
<i>Salvia longistyla</i> Benth	2
<i>Salvia polystachya</i> Cav.	29
<i>Salvia</i> L. Sp	3
<i>Schistocarpha kellermanii</i> Rydb.	3
<i>Schistocarpha</i> Less. Sp	5
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	2
<i>Sida rhombifolia</i> L.	4
<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	32
<i>Simsia sanguinea</i> A.Gray	2
<i>Simsia</i> Pers. Sp	2
<i>Smallanthus maculatus</i> (Cav.) H.Rob.	3
<i>Smallanthus maculatus</i> (Cav.) H. Rob.	1
<i>Solanum americanum</i> Mill.	29
<i>Solanum atitlanum</i> K.E. Roe	2
<i>Solanum hartwegii</i> Benth.	3
<i>Sonchus oleraceus</i> (L.) L.	14
<i>Squamopappus skutchii</i> (S.F.Blake) "R.K.Jansen, N.A.Harriman & Urbatsch"	9
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	1
<i>Telanthophora cobanensis</i> (J.M.Coult.) H.Rob. & Brettell	1
<i>Tinantia erecta</i> (Jacq.) Fenzl	2
<i>Tithonia</i> Desf. ex Juss. Sp	86
<i>Tithonia tubaeformis</i> (Jacq.) Cass.	1
<i>Trifolium repens</i> L.	1
<i>Trixis inula</i> Crantz	1
<i>Vernonia</i> Schreb. Sp	21
<i>Vernonia triflosculosa</i> Kunth	1
<i>Vicia faba</i> L.	1
<i>Viguiera cordata</i> (Hook. & Arn.) D'Arcy	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Vinca major</i> L.	2
<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	12
<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.	2
<b>Total plantas</b>	<b>1160</b>

Tabla A3

*Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque pluvial premontano tropical bh-PMT*

Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Agapostemon (Notagapostemon) leunculus</i> Vachal, 1903	1
<i>Agapostemon (Notagapostemon) nasutus</i> Smith, 1853	2
<i>Anthidium (Anthidium) maculifrons</i> Smith, 1854	4
<i>Anthiodioctes</i> Sp	1
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	2
<i>Augochlora (Augochlora) albiceps</i> Friese, 1925	7
<i>Augochlora (Augochlora) nigrocyanea</i> Cockerell, 1897	1
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp1	3
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp3*	1
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp5	6
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp7	7
<i>Augochlorella (Augochlorella) pomoniella</i> (Cockerell, 1915)	6
<i>Augochlorella aurata</i> (Smith, 1853)	1
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1897 Sp4	5
<i>Bombus (Fervidobombus) mexicanus</i> Cresson, 1878	6
<i>Bombus (Fervidobombus) pullatus</i> Franklin, 1913	3
<i>Bombus (Pyrobombus) wilmattae</i> Cockerell, 1912	29
<i>Caenaugochlora</i> Michener, 1954 Sp1	2
<i>Centris (Centris) varia</i> (Erichson, 1848)	2
<i>Centris (Heterocentris) transversa</i> Pérez, 1905	3
<i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)	7
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp10	39
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp11	5
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp3	3
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp3*	6
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp7	19
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp8	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp9	24
<i>Chilicola (Anoediscelis) ashmeadi</i> (Crawford, 1906)	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Coelioxys</i> Latreille, 1809 Sp*	1
<i>Coelioxys</i> Latreille, 1809 Sp1	1
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp5*	1
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp2	1
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp2*	1
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp4*	2
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp6*	1
<i>Deltoptila</i> LaBerge & Michener Sp1	5
<i>Epeolus</i> ( <i>Epeolus</i> S. Str) Latreille, 1802 Sp1	3
<i>Euglossa</i> ( <i>Euglossa</i> ) <i>viridissima</i> Friese, 1899	2
<i>Eulaema</i> ( <i>Apeulaema</i> ) <i>polychroma</i> (Mocsáry, 1899)	4
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 Sp2	3
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 Sp4	2
<i>Frieseomelitta nigra</i> (Cresson, 1878)	1
<i>Geotrigona acapulconis</i> (Strand, 1919)	2
<i>Halictus</i> ( <i>Odontalictus</i> ) <i>ligatus</i> Say, 1837	2
<i>Halictus</i> ( <i>Seladonia</i> ) <i>hesperus</i> Smith, 1862	1
<i>Heriades</i> Spinola, 1808 Sp1	12
<i>Heriades</i> Spinola, 1808 Sp2	1
<i>Hylaeus</i> Fabricius, 1793 Sp2	1
<i>Hypanthidium</i> ( <i>Hypanthidium</i> ) <i>mexicanum</i> (Cresson, 1878)	3
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp1*	6
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp10	4
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp2	10
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp3*	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp4*	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp7	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp8	2
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp9	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Eickwortia</i> ) <i>nyctere</i> (Vachal, 1904)	3
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Lasioglossum</i> ) <i>costale</i> (Vachal, 1904)	4
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Lasioglossum</i> ) <i>eickworti</i> McGinley, 1986	5
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Lasioglossum</i> ) Curtis, 1833 Sp2*	3
<i>Megachile</i> ( <i>Austromegachile</i> ) <i>antiqua</i> Mitchell, 1930	1
<i>Megachile</i> ( <i>Austromegachile</i> ) <i>tepaneca</i> Cresson, 1878	12
<i>Megachile</i> ( <i>Chelostomoides</i> ) <i>otomita</i> Cresson, 1878	7
<i>Megachile</i> ( <i>Chrysoaurus</i> ) Latreille, 1802 Sp	2
<i>Megachile</i> ( <i>Cresoniella</i> ) <i>zapoteca</i> Cresson, 1878	1
<i>Megachile</i> ( <i>Pseudocentron</i> ) <i>affinis inscita</i> Mitchell, 1930	5
<i>Megachile</i> ( <i>Tylomegachile</i> ) <i>toluca</i> Cresson, 1878	1

Especie	Frecuencia
<i>Megachile</i> Latreille, 1802 Sp2	2
<i>Melipona beecheii</i> Bennett, 1831	10
<i>Melipona yucatanica</i> Camargo, Moure and Roubik, 1988	1
<i>Melissodes (Melissodes) tepaneca</i> Cresson, 1878	2
<i>Melissoptila</i> Holmberg, 1884 Sp*	1
<i>Melitoma marginella</i> (Cresson, 1872)	1
<i>Melitoma nudicauda</i> Cockerell, 1949	1
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	16
<i>Neocorynura pubescens</i> (Friese, 1917)	6
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1879 Sp1	3
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1879 Sp1*	1
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1879 Sp2	1
<i>Nomada</i> Scopoli, 1770 Sp1	2
<i>Osmia (Diceratosmia) azteca</i> Cresson, 1878	1
<i>Paranthidium (Paranthidium) gabbii</i> (Cresson, 1878)	6
<i>Paratetrapedia (Lophopedia) Moure, 1941</i>	2
<i>Paratetrapedia (Paratetrapedia) calcarata</i> (Cresson, 1878)	26
<i>Paratetrapedia</i> Moure, 1941 Sp1	2
<i>Paratetrapedia</i> Moure, 1941 Sp1*	3
<i>Paratetrapedia</i> Moure, 1941 Sp2	2
<i>Paratetrapedia</i> Moure, 1941 Sp3*	2
<i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)	4
<i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)	64
<i>Partamona orizabaensis</i> (Strand, 1919)	5
<i>Peponapis (Oepeponapis) utahensis</i> (Cockerell, 1905)	3
<i>Peponapis (Peponapis) limitaris</i> (Cockerell, 1906)	4
<i>Peponapis (Peponapis) apiculata</i> (Cresson, 1878)	1
<i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)	4
<i>Plebeia melanica</i> Ayala, 1999	2
<i>Plebeia pulchra</i> Ayala, 1999	7
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	5
<i>Pseudopanurgus bidentis</i> (Cockerell, 1896)	1
<i>Pseudopanurgus</i> Cockerell, 1897 Sp2	6
<i>Rhathymus</i> Lepeletier & Audinet-Serville, 1828 Sp	1
<i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin-Méneville, 1845)	32
<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	15
<i>Stelis (Dolichostelis) costaricensis</i> Friese, 1921	3
<i>Tetragona mayarum</i> (Cockerell, 1912)	26
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	43
<i>Tetrapedia</i> Klug, 1810 Sp	2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp1	2
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp1*	1
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp2	1
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp2*	1
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp3	2
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp3*	2
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp5*	1
<i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913	24
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	152
<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900	49
<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	24
<i>Trigona silvestriana</i> (Vachal, 1908)	4
<i>Trigonsca pipioli</i> Ayala, 1999	1
<i>Xenoglossa (Xenoglossa) gabbii</i> (Cresson, 1878)	2
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) fimbriata</i> Fabricius, 1804	1
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)	1
<i>Xylocopa (Notoxylocopa) tabaniformis</i> Smith, 1854	1
<b>Total abejas</b>	<b>905</b>

## Plantas

<i>Achyranthes aspera</i> L.	3
<i>Agapanthus africanus</i> (L.) Hoffmanns.	3
<i>Ageratina bustamenta</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.	24
<i>Ageratum conyzoides</i> (L.) L.	3
<i>Alloplectus</i> Mart. Sp	3
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	17
<i>Andira inermis</i> (Wright) DC.	3
<i>Antigonon</i> Endl. Sp	2
<i>Arachis hypogaea</i> L.	1
<i>Arthrostemma ciliatum</i> Pav. ex D. Don	6
<i>Baccharis trinervis</i> (Lam.) Pers.	5
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H.Rob. & Brettell	4
<i>Begonia oaxacana</i> A.DC.	1
<i>Bidens alba</i> (L.) DC.	4
<i>Bidens pilosa</i> L.	49
<i>Bixa orellana</i> L.	4
<i>Blechum brownei</i> Juss.	3
<i>Buddleja americana</i> L.	1
<i>Boerhavia erecta</i> L.	5
<i>Bravaisia grandiflora</i> Donn.Sm.	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	1
<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	1
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	21
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	1
<i>Calea</i> L. Sp	25
<i>Calliandra grandiflora</i> (L'Her.) Benth.	1
<i>Calyptracarya glomerulata</i> (Brongn.) Urb.	2
<i>Casearia nitida</i> Jacq.	2
<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G.Don	1
<i>Chamaecrista ramosa</i> (Vogel) H.S.Irwin & Barneby	3
<i>Cirsium costaricense</i> (Pol.) Petr.	12
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	2
<i>Cleome viscosa</i> L.	2
<i>Clibadium arboreum</i> Donn.Sm.	2
<i>Coffea arabica</i> L.	1
<i>Commelina erecta</i> L.	10
<i>Conyza</i> Less. Sp	3
<i>Cosmos sulphureus</i> Cav.	7
<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn.	9
<i>Croton ciliatoglandulifer</i> Ortega	1
<i>Croton limnocharis</i> Croizat	2
<i>Crusea calocephala</i> DC.	2
<i>Cucurbita pepo</i> L.	18
<i>Coffea arabica</i> L.	110
<i>Cuphea hyssopifolia</i> Kunth	1
<i>Cuphea mimuloides</i> Schltld. & Cham.	2
<i>Cuphea</i> P. Browne Sp.	1
<i>Dahlia imperialis</i> Roetzl ex Ortgies	1
<i>Desmanthodium guatemalense</i> Hemsl.	3
<i>Dichorisandra</i> J.C. Mikan Sp	2
<i>Duranta repens</i> L.	11
<i>Echeandia echeandioides</i> (Schltld.) Cruden	4
<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	4
<i>Erechtites valerianifolia</i> (Link ex Wolf) Less. ex DC.	1
<i>Eriochloa nelsonii</i> Scribn. & J.G.Sm.	1
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	5
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	1
<i>Eupatorium leucocephalum</i> Benth.	16
<i>Eupatorium populifolium</i> Kunth	3
<i>Euphorbia</i> L. Sp	3

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Euploca fallax</i> (I.M. Johnst.) J.I.M.Melo.	2
<i>Fleischmannia pycnocephaloides</i> (B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.	11
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	3
<i>Grewia caffra</i> Meisn.	2
<i>Heliotropium</i> L. Sp	1
<i>Hyptis</i> Jacq. Sp	6
<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	8
<i>Inga vera</i> Willd.	1
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	1
<i>Ipomoea</i> L. Sp	4
<i>Kallstroemia caribaea</i> Rydb.	2
<i>Lantana camara</i> L.	3
<i>Leonurus</i> L. Sp	8
<i>Lepidaploa canescens</i> (Kunth) Cass.	12
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	1
<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav.	1
<i>Matayba</i> Aubl. Sp	4
<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich. ex Rich.) DC.	20
<i>Melanthera nivea</i> (L.) Small	4
<i>Miconia tixixensis</i> Standl. & Steyerm.	1
<i>Mimosa pudica</i> L.	4
<i>Mitracarpus</i> Zucc. Sp	1
<i>Muntingia calabura</i> L.	1
<i>Musa</i> L. Sp	8
<i>Musa</i> L. (Banano)	1
<i>Ocimum basilicum</i> L.	9
<i>Ocimum</i> L. Sp	1
<i>Ocimum</i> L. Sp*	4
<i>Oenothera</i> L. Sp	8
<i>Oxalis frutescens</i> L.	1
<i>Oxalis frutescens</i> L. (Oxalis)	1
<i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex Flüggé	7
<i>Passiflora biflora</i> Lam.	1
<i>Passiflora</i> L. Sp	3
<i>Pentas lanceolata</i> (Forssk.) Deflers	1
<i>Perymenium grande</i> Hemsl.	15
<i>Perymenium</i> Schrad. Sp	4
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	5
<i>Phyllanthus rotundifolius</i> Klein ex Willd.	3
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	6

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Pinarophyllon</i> Brandegeee Sp	1
<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	2
<i>Pluchea odorata</i> (L.) Cass.	12
<i>Plumbago auriculata</i> Lam.	1
<i>Podocoma hieracifolia</i> (Poir.) Cass.	2
<i>Portulaca oleracea</i> L.	1
<i>Priva lappulacea</i> (L.) Pers.	2
<i>Pseudelephantopus spicatus</i> (B.Juss. ex Aubl.) Rohr ex C.F.Baker	1
<i>Psidium guajava</i> L.	3
<i>Quercus</i> L. Sp	3
<i>Richardia scabra</i> L.	1
<i>Rubus idaeus</i> L.	2
<i>Rubus urticifolius</i> Poir.	1
<i>Sabicea panamensis</i> Wernham	6
<i>Salvia</i> L. Sp	11
<i>Salvia splendens</i> Sellow ex Schult.	6
<i>Salvia urica</i> Epling	1
<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.	4
<i>Senna skinneri</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	7
<i>Serjania lateritia</i> Radlk.	2
<i>Serjania lobulata</i> Standl. & Steyerm.	6
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	30
<i>Sida rhombifolia</i> L.	4
<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	3
<i>Simsia holwayi</i> S.F.Blake	1
<i>Smalanthus maculatus</i> (Cav.) H.Rob.	13
<i>Solanum americanum</i> Mill.	7
<i>Solanum atitlanum</i> K.E. Roe	1
<i>Solanum chiapense</i> Brandegeee	1
<i>Solanum nigrescens</i> M. Martens & Galeotti	1
<i>Solanum nudum</i> Dunal	5
<i>Solanum</i> L. Sp	12
<i>Solanum torvum</i> Sw.	21
<i>Sonchus oleraceus</i> (L.) L.	2
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	1
<i>Spermacoce</i> L. Sp	1
<i>Stachys</i> L. Sp	2
<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.) Vahl	2
<i>Stemmadenia</i> Benth. Sp	1
<i>Strelitzia</i> Aiton Sp.	2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Willd.	1
<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H.Wigg.	2
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	6
<i>Thunbergia alata</i> Bojer ex Sims	1
<i>Tinantia standleyi</i> Steyerem.	2
<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A.Gray	7
<i>Tithonia tubaeformis</i> (Jacq.) Cass.	4
<i>Tribulus cistoides</i> L.	2
<i>Trichilia</i> P. Browne Sp.	1
<i>Tridax procumbens</i> (L.) L.	7
<i>Triumfetta</i> L. Sp	16
<i>Verbena litoralis</i> Kunth	3
<i>Verbena</i> L. Sp	17
<i>Viguiera cordata</i> (Hook. & Arn.) D'Arcy	4
<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	7
<i>Vinca major</i> L.	1
<i>Waltheria americana</i> L.	1
<i>Wedelia</i> Jacq. Sp	5
<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	1
<i>Zea mays</i> L.	2
<i>Zea mays</i> L.	2
<b>Total plantas</b>	<b>905</b>

Tabla A4

Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque húmedo tropical bh-T

Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Agapostemon (Notagapostemon) atrocaeruleus</i> Friese, 1917	1
<i>Agapostemon (Notagapostemon) nasutus</i> Smith, 1853	3
<i>Anthidium (Loyolanthidium)</i> Fabricius, 1804 Sp1	1
<i>Augochlora (Augochlora) albiceps</i> Friese, 1925	4
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp4	5
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp5	1
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp6	2
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp7	7
<i>Augochlora</i> (Say, 1837) Sp8	5

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Augochlorella</i> Sandhouse, 1937 Sp1	2
<i>Augochloropsis</i> ( <i>Augochloropsis</i> ) <i>affinis flamma</i> (Smith, 1861)	1
<i>Augochloropsis</i> ( <i>Augochloropsis</i> ) <i>ignita</i> (Smith, 1861)	2
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1987 Sp1	2
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1987 Sp2	2
<i>Bombus</i> ( <i>Fervidobombus</i> ) <i>pullatus</i> Franklin, 1913	20
<i>Caenohalictus</i> Cameron, 1903 Sp1	1
<i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)	5
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp1	8
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp2	2
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp4	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp5	4
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp6	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp7	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp8	9
<i>Coelioxys</i> ( <i>Glyptocoelioxys</i> ) Latreille, 1809 Sp1	1
<i>Colletes punctipennis</i> Cresson, 1868	1
<i>Dolichotrigona schulthessi</i> (Friese, 1900)	6
<i>Epicharis</i> ( <i>Epicharoides</i> ) <i>maculata</i> Smith, 1874	2
<i>Eulaema</i> ( <i>Apeulaema</i> ) <i>cingulata</i> (Fabricius, 1804)	1
<i>Exomalopsis</i> ( <i>Exomalopsis</i> ) <i>analisis</i> Spinola, 1853	4
<i>Halictus</i> ( <i>Odontalictus</i> ) <i>ligatus</i> Say, 1837	3
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp1	2
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp2	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp3	2
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp4	3
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 Sp5	4
<i>Megachile</i> ( <i>Acentron</i> ) <i>candida</i> Smith, 1879	10
<i>Megachile</i> ( <i>Leptorachis</i> ) <i>zexmeniae</i> Cockerell, 1912	1
<i>Megachile</i> ( <i>Pseudocentron</i> ) <i>azteca</i> Cresson, 1878	1
<i>Megachile</i> ( <i>Pseudocentron</i> ) <i>curvipes</i> Smith, 1853	5
<i>Megachile</i> ( <i>Ptilosarus</i> ) Latreille, 1802 Sp1	2
<i>Melipona beecheii</i> Bennett, 1831	44
<i>Melipona solani</i> Cockerell, 1912	110
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 Sp1	3
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 Sp2	1
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	3
No esta	9
<i>Osiris affinis mexicanus</i> Cresson, 1878 Sp1	1
<i>Paratetrapedia</i> ( <i>Paratetrapedia</i> ) <i>calcarata</i> (Cresson, 1878)	4

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Paratetrapedia (Paratetrapedia) mayarum</i> (Cockerell, 1912)	2
<i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)	1
<i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)	105
<i>Partamona orizabaensis</i> (Strand, 1919)	8
<i>Pereirapis</i> Moure, 1943 Sp1	6
<i>Plebeia jatiformis</i> (Cockerell, 1912)	1
<i>Plebeia pulchra</i> Ayala, 1999	2
<i>Pseudopanurgus bidentis</i> (Cockerell, 1896)	6
<i>Scaura latitarsis</i> (Friese, 1900)	5
<i>Tetragona mayarum</i> (Cockerell, 1912)	5
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	17
<i>Thygater (Thygater) crawfordi</i> Urban, 1967	2
<i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913	71
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	178
<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900	14
<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	20
<i>Trigona silvestriana</i> (Vachal, 1908)	71
<i>Trigonisca pipioli</i> Ayala, 1999	1
<b>Total abejas</b>	<b>829</b>
<b>Plantas</b>	
<i>Ageratum</i> L. Sp	1
<i>Attalea</i> Kunth Sp	1
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H.Rob. & Brettell	4
<i>Bidens alba</i> (L.) DC.	21
<i>Bidens</i> L. Sp	127
<i>Bixa orellana</i> L.	167
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	5
<i>Cassia</i> L. Sp	8
<i>Cephaelis tomentosa</i> (Aubl.) Vahl	7
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	12
<i>Clibadium</i> L. Sp	9
<i>Cocos nucifera</i> L.	2
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	3
<i>Costus ruber</i> C.Wright ex Griseb.	2
<i>Elettaria cardamomum</i> (L.) Maton	329
<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) R.M.King & H.Rob.	21
<i>Hyptis</i> Jacq.	3
<i>Hyptis verticillata</i> Jacq.	5
<i>Miconia</i> Ruiz & Pav. Sp	4

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Musa</i> L. Sp	2
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	1
<i>Piper</i> L. Sp	1
<i>Podachaenium eminens</i> (Lag.) Sch.Bip. ex Sch.Bip.	12
<i>Sida</i> L. Sp	1
<i>Solanum</i> L. SP	8
<i>Spigelia humboldtiana</i> Cham. & Schltldl.	7
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	1
<i>Vernonia</i> Schreb. Sp	1
<i>Weldenia candida</i> Schult.f.	5
<i>Zea mays</i> L.	29
<b>Total plantas</b>	<b>829</b>

Tabla A5

*Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque muy húmedo montano bajo tropical bmh-MBT*

Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Agapostemon (Notagapostemon) leunculus</i> Vachal, 1903	19
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	1
<i>Augochlora (Augochlora) nigrocyanea</i> Cockerell, 1897	3
<i>Augochlora (Augochlora) smaragdina</i> Friese, 1917	24
<i>Bombus (Psythirus) variabilis</i> (Cresson, 1872)	4
<i>Bombus (Pyrobombus) ephippiatus</i> Say, 1837	51
<i>Bombus (Pyrobombus) wilmattae</i> Cockerell, 1912	28
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp7	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 Sp8	3
<i>Colletes</i> Latreille, 1802 Sp1	1
<i>Deltoptila</i> LaBerge & Michener Sp2	1
<i>Dinagapostemon sicheli</i> (Vachal, 1901)	7
<i>Eulaema (Apeulaema) cingulata</i> (Fabricius, 1804)	3
<i>Eulaema (Apeulaema) polychroma</i> (Mocsáry, 1899)	4
<i>Eulaema (Eulaema) meriana</i> (Olivier, 1789)	1
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 Sp2	1
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> Curtis, 1833 Sp6	2
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> Curtis, 1833 Sp7	12
<i>Lasioglossum (Eickwortia) nyctere</i> (Vachal, 1904)	7
<i>Megachile (Acenteron)</i> Latreille, 1802 Sp1	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Neocorynura pubescens</i> (Friese, 1917)	10
No esta	4
<i>Partamona bilineata</i> (Say, 1837)	13
<i>Peponapis (Peponapis) limitaris</i> (Cockerell, 1906)	4
<i>Peponapis (Peponapis) apiculata</i> (Cresson, 1878)	2
<i>Pseudopanurgus asperatus</i> (Timberlake, 1975)	2
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 Sp1	2
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	1
<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	8
<i>Trigona silvestriana</i> (Vachal, 1908)	1
<b>Total abejas</b>	<b>221</b>
<b>Plantas</b>	
<i>Alloispermum integrifolium</i> (DC.) H.Rob.	12
<i>Brassica campestris</i> L.	1
<i>Cirsium</i> Mill. Sp	1
<i>Cucurbita pepo</i> L.	174
<i>Fuchsia paniculata</i> Lindl.	1
<i>Guaiacum coulteri</i> A.Gray	1
<i>Ipomoea</i> L. Sp	1
<i>Perymenium ghiesbreghtii</i> B.L.Rob. & Greenm.	6
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	1
<i>Roldana petasioides</i> (Greenm.) H.Rob.	9
<i>Schistocarpha kellermanii</i> Rydb.	1
Sin registro	9
<i>Solanum nigrum</i> L.	4
<b>Total plantas</b>	<b>221</b>

Tabla A6

*Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del Bosque muy húmedo montano tropical bmh-MT*

Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Andrena</i> Fabricius, 1775 Sp1*	15
<i>Bombus (Brachycephalibombus) brachycephalus</i> Handlirsch, 1888	1
<i>Bombus (Dasybombus) macgregori</i> Labougle and Ayala, 1985	8
<i>Bombus (Fervidobombus) trinominatus</i> Dalla Torre, 1890	7
<i>Bombus (Fervidobombus) weisi</i> Friese, 1903	2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Bombus (Psythirus) variabilis</i> (Cresson, 1872)	14
<i>Bombus (Pyrobombus) ephippiatus</i> Say, 1837	238
<i>Bombus (Pyrobombus) wilmattae</i> Cockerell, 1912	96
<i>Epeolus</i> ( <i>Epeolus</i> S. Str) Latreille, 1802 Sp2	2
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> Curtis, 1833 Sp8	2
<i>Lasioglossum (Lasioglossum) acarophilum</i> McGinley, 1986	1
<i>Lasioglossum (Lasioglossum) costale</i> (Vachal, 1904)	2
<i>Lasioglossum (Lasioglossum) eickworti</i> McGinley, 1986	1
<i>Pseudopanurgus bidentis</i> (Cockerell, 1896)	1
<i>Pseudopanurgus parvulus</i> (Friese, 1917)	1
<i>Pseudopanurgus</i> Cockerell, 1897 Sp3	1
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	4
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	4
<b>Total abejas</b>	<b>400</b>
<b>Planta</b>	
<i>Baccharis vaccinioides</i> Kunth	1
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H.Rob. & Brettell	5
<i>Bidens pilosa</i> L.	10
<i>Bidens</i> L. Sp	2
<i>Brassica campestris</i> L.	98
<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	11
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> L.	1
<i>Cirsium consociatum</i> S.F.Blake	9
<i>Coffea arabica</i> L.	4
<i>Dahlia imperialis</i> Roetzl ex Ortgies	6
<i>Dahlia pinnata</i> Cav.	1
<i>Eupatorium</i> L. Sp	2
<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) R.M.King & H.Rob.	2
<i>Fuchsia arborescens</i> Sims	1
<i>Fuchsia microphylla</i> Kunth	2
<i>Fuchsia paniculata</i> Lindl.	1
<i>Gaultheria erecta</i> Vent.	3
<i>Geranium alpicola</i> Loes.	85
<i>Halenia decumbens</i> Benth.	1
<i>Halenia shannonii</i> Briq.	12
<i>Helenium integrifolium</i> Sessé & Moc.	1
<i>Houstonia serpyllacea</i> (Schltdl.) C.L.Sm. ex Greenm.	24
<i>Lepechinia caulescens</i> (Ortega) Epling	8
<i>Lepechinia schiedeana</i> (Schltdl.) Vatke	7

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Lippia cardiostegia</i> Benth.	1
<i>Oenothera multicaulis</i> Ruiz & Pav.	2
<i>Oxylobus</i> (Moq. ex DC.) A.Gray Sp	1
<i>Perymenium ghiesbreghtii</i> B.L.Rob. & Greenm.	6
<i>Philactis zinnioides</i> Schrad.	3
<i>Physalis angustiphysa</i> Waterf.	8
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	4
<i>Plantago australis</i> Lam.	1
<i>Prunella vulgaris</i> L.	3
<i>Ranunculus geoides</i> Humb., Bonpl. & Kunth ex DC.	1
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	11
<i>Raphanus sativus</i> L.	1
<i>Salvia holwayi</i> S.F.Blake	12
<i>Salvia nana</i> Kunth	3
<i>Schistocarpha kellermanii</i> Rydb.	11
<i>Senecio warszewiczii</i> A.Braun & Bouché	2
Sin registro	14
<i>Solanum nigrescens</i> M. Martens & Galeotti	2
<i>Solanum nigricans</i> M. Martens & Galeotti	1
<i>Sphaeralcea rosea</i> (DC.) G. Don	9
<i>Stachys calcicola</i> Epling	1
<i>Tagetes foetidissima</i> Hort. ex DC.	1
<i>Vaccinium confertum</i> Kunth	3
<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	2
<b>Total plantas</b>	<b>400</b>

Tabla A7

*Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque muy húmedo premontano tropical bmh-PMT*

Especie de Abeja	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Agapostemon (Agapostemon) texanus</i> Cresson, 1872	6
<i>Agapostemon (Notagapostemon) leunculus</i> (Vachal, 1903)	1
<i>Augochlora (Augochlora) albiceps</i> Friese, 1925	2
<i>Augochlora (Augochlora) nigrocyanea</i> Cockerell, 1897	2
<i>Augochlora (Augochlora) Smith, 1853 sp1</i>	3
<i>Augochlora (Augochlora) Smith, 1853 sp5</i>	1
<i>Augochlora (Augochlora) Smith, 1853 sp7</i>	7

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece de Abeja	Frecuencia
<i>Augochlorella pomoniella</i> (Cockerell, 1915)	1
<i>Augochlorella</i> Sandhouse, 1937 sp1	1
<i>Bombus</i> ( <i>Pyrobombus</i> ) <i>ephippiatus</i> Say, 1837	2
<i>Bombus</i> ( <i>Pyrobombus</i> ) <i>wilmattae</i> Cockerell, 1913	11
<i>Caenohalictus</i> Cameron, 1903 sp	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp10	11
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp11	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp4	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp5	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp7	4
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp8	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp9	12
<i>Chilicola ashmeadi</i> (Crawford, 1906)	4
<i>Colletes punctipennis</i> Cresson, 1868	1
<i>Euglossa</i> ( <i>Euglossa</i> ) <i>mixta</i> Friese, 1899	1
<i>Eulaema</i> ( <i>Apeulaema</i> ) <i>polychroma</i> (Mocsáry, 1899)	1
<i>Exomalopsis</i> ( <i>Exomalopsis</i> ) <i>analis</i> Spinola, 1853	7
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 sp1	3
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 sp2	1
<i>Geotrigona acapulconis</i> (Strand, 1919)	2
<i>Halictus</i> ( <i>Seladonia</i> ) <i>hesperus</i> Smith, 1862	2
<i>Hylaeus</i> Fabricius, 1793 sp1	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp10	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp2	7
<i>Lestrimelitta nitkib</i> Ayala, 1999	1
<i>Megachile</i> ( <i>Austromegachile</i> ) <i>tepaneca</i> Cresson, 1878	4
<i>Megachile</i> ( <i>Cressoniella</i> ) <i>zapoteca</i> Cresson, 1878	2
<i>Megachile</i> ( <i>Leptorachis</i> ) <i>zexmeniae</i> Cockerell, 1912	1
<i>Megachile</i> ( <i>Pseudocentron</i> ) <i>curvipes</i> Smith, 1853	3
<i>Megachile</i> Latreille, 1802, sp1	3
<i>Melipona</i> ( <i>Melikerria</i> ) Bennett, 1831	1
<i>Melipona</i> ( <i>Michmelia</i> ) <i>solani</i> , Cockerell, 1912	1
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	2
<i>Neocorynura pubescens</i> (Friese, 1917)	7
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1910 sp2	6
<i>Oxytrigona mediorufa</i> (Cockerell, 1913)	7
<i>Paratetrapedia</i> ( <i>Paratetrapedia</i> ) <i>calcarata</i> (Cresson, 1878)	10
<i>Paratetrapedia</i> Moure, 1941 sp1	1
<i>Paratetrapedia</i> Moure, 1941 sp2*	2
<i>Paratrigona</i> ( <i>Paratrigona</i> ) <i>guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)	12

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece de Abeja	Frecuencia
<i>Partamona bilineata</i> ( <i>Partamona</i> ) (Say, 1837)	23
<i>Partamona orizabaensis</i> ( <i>Partamona</i> ) (Strand, 1919)	8
<i>Peponapis</i> ( <i>Peponapis</i> ) <i>limitaris</i> (Cockerell, 1906)	6
<i>Perdita</i> Smith, 1853	1
<i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)	3
<i>Plebeia melanica</i> Ayala, 1999	3
<i>Plebeia moureana</i> Ayala, 1999	2
<i>Plebeia pulchra</i> Ayala, 1999	11
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	6
<i>Pseudopanurgus bidentis</i> (Cockerell, 1896)	3
<i>Pseudopanurgus parvulus</i> (Friese, 1917)	1
<i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin-Méneville, 1845)	48
<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	4
<i>Tetragona mayarum</i> (Cockerell, 1912)	1
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	26
<i>Thygater rubricata</i> (Smith, 1879)	1
<i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913	9
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	70
<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	16
<i>Trigona silvestriana</i> (Vachal, 1908)	23
<i>Trigonisca</i> ( <i>Trigonisca</i> ) <i>pipioli</i> Ayala, 1999	1
<i>Xylocopa mexicanorum</i> ( <i>Neoxylocopa</i> ) Cockerell, 1912	1
<b>Total abejas</b>	<b>431</b>
<b>Planta</b>	
<i>Acmella oppositifolia</i> (Lam.) R. K. Jansen	3
<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	1
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz and Pav.) Juss.	12
<i>Baccharis trinervis</i> (Lam.) Pers.	3
<i>Bidens pilosa</i> L.	14
<i>Bidens</i> sp	1
<i>Bixa orellana</i> L.	1
<i>Browallia americana</i> L.	1
<i>Canna</i> × <i>generalis</i> L.H. Bailey & E.Z. Bailey	6
<i>Casearia nitida</i> Jacq.	1
<i>Chrysanthemum americanum</i> (L.) Vatke ex Weberl. & Lagos	2
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	35
<i>Cleome spinosa</i> Jacq.	1
<i>Commelina erecta</i> L.	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece de Abeja	Frecuencia
<i>Commelina</i> L. sp	1
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	1
<i>Critonia lanicaulis</i> (B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.	2
<i>Cucurbita pepo</i> L.	39
<i>Coffea arabica</i> L.	41
<i>Cuphea flavisetula</i> Bacig.	3
<i>Cuphea hyssopifolia</i> Kunth	3
<i>Desmodium</i> Desv. Sp	1
<i>Dypteris</i> sp	1
<i>Elettaria cardamomum</i> (L.) Maton	1
<i>Eucalyptus</i> L'Hér sp	1
<i>Eupatorium leucocephalum</i> Benth.	4
<i>Eupatorium pycnocephalum</i> J.M.Coult.	2
<i>Eupatorium pycnocephalum</i> J.M.Coult.	1
<i>Fleischmannia pycnocephaloides</i> (B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.	6
<i>Galinsoga</i> Sp	2
<i>Gomphrena filaginoides</i> M. Martens & Galeotti	1
<i>Heliconia rostrata</i> Ruiz & Pav.	5
<i>Hippobroma longiflora</i> (L.) G.Don	8
<i>Ipomoea tricolor</i> Cav.	3
<i>Justicia</i> L. sp	4
<i>Malvaviscus</i> Fabr. Sp	1
<i>Loeselia glandulosa</i> (Cav.)G.Don	2
<i>Kearnemalvastrum subtriflorum</i> (Lag.) D.M.Bates	1
<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich. ex Rich.) DC.	6
<i>Melampodium perfoliatum</i> (Cav.) Kunth	1
<i>Melanthera nivea</i> (L.) Small	9
<i>Mimosa pudica</i> L.	1
<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	7
<i>Oxalis corniculata</i> L.	4
<i>Passiflora vitifolia</i> Kunth	12
<i>Pentas lanceolata</i> (Forssk.) Deflers	1
<i>Pinus</i> L. sp	4
<i>Plantago australis</i> Lam.	1
<i>Pachystachys lutea</i> Nees	12
<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda	2
<i>Salvia</i> L. SP	11
<i>Salvia urica</i> Epling	4
<i>Salvia urica</i> Epling	6
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece de Abeja	Frecuencia
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	1
<i>Sida rhombifolia</i> L.	9
<i>Smallanthus maculatus</i> (Cav.) H.Rob.	12
<i>Solanum americanum</i> Mill.	7
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	5
<i>Solanum wendlandii</i> Hook.f.	1
<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i> Rose ex J.D.Sm.	1
<i>Tagetes nelsonii</i> Greenm.	6
<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H.Wigg.	1
<i>Teramnus labialis</i> (L.f.) Spreng.	1
<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A.Gray	1
<i>Vernonia deppeana</i> Less	26
<i>Vernonia</i> Schreb. Sp sp	4
<i>Eremosis triflosculosa</i> (Kunth) Gleason	30
<i>Zingiber spectabile</i> Griff.	27
<b>Total plantas</b>	<b>431</b>

Tabla A8

Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque muy húmedo tropical bh-MT

Espece	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Augochlora (Augochlora) albiceps</i> Friese, 1925	22
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp1	3
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp2	2
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp3	2
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp4	3
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp5	3
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp6	2
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp7	3
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp8	6
<i>Augochlorella pomoniella</i> (Cockerell, 1915)	3
<i>Augochlorella</i> Sandhouse, 1937 sp1	1
<i>Augochlorella</i> Sandhouse, 1937 sp2	5
<i>Augochloropsis affinis flammea</i> (Smith, 1861)	12
<i>Augochloropsis ignita</i> (Smith, 1861)	4
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1897, sp1	7
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1897, sp2	7

Especie	Frecuencia
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1897, sp3	1
<i>Bombus</i> ( <i>Thoracobombus</i> ) <i>pullatus</i> Franklin, 1913	14
<i>Caenaugochlora</i> Michener, 1954 sp1	3
<i>Caenaugochlora</i> Michener, 1954 sp2	1
<i>Caenaugochlora</i> Michener, 1954 sp3	3
<i>Caenohalictus</i> Cameron, 1903 sp1	8
<i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)	36
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp1	9
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp2	9
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp3	6
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp4	3
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp5	22
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp7	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp8	10
<i>Coelioxys</i> ( <i>Cyrtocoelioxys</i> ) Mitchell, 1973 sp1	1
<i>Coelioxys</i> ( <i>Glyptocoelioxys</i> ) Mitchell, 1973 sp1	1
<i>Coelioxys</i> ( <i>Neocoelioxys</i> ) <i>tolteca</i> Cresson, 1878	2
<i>Eufriesea macroglossa</i> (Moure, 1965)	2
<i>Euglossa</i> ( <i>Euglossa</i> ) <i>crininota</i> Dressler, 1978	1
<i>Euglossa</i> ( <i>Glossura</i> ) <i>ignita</i> Smith, 1874	1
<i>Euglossa</i> ( <i>Euglossa</i> ) Latreille, 1802	3
<i>Eulaema</i> ( <i>Apeulaema</i> ) <i>cingulata</i> (Fabricius, 1804)	1
<i>Exomalopsis</i> ( <i>Exomalopsis</i> ) <i>analisis</i> Spinola, 1853	5
<i>Exomalopsis</i> ( <i>Exomalopsis</i> ) <i>mellipes</i> Cresson, 1878	1
<i>Exomalopsis</i> ( <i>Exomalopsis</i> ) <i>similis</i> Cresson, 1865	3
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 sp1	1
<i>Exomalopsis</i> Spinola, 1853 sp3	1
<i>Halictus</i> ( <i>Odontalictus</i> ) <i>ligatus</i> Say, 1837	7
<i>Hylaeus</i> Fabricius, 1793 sp2	1
<i>Hypanthidioides</i> ( <i>Saranthidium</i> ) <i>aureocincta</i> (Cockerell, 1912)	14
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp1	11
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp2	4
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp3	2
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp4	7
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp5	1
<i>Lasioglossum</i> ( <i>Dialictus</i> ) Curtis, 1833 sp9	1
<i>Megachile</i> ( <i>Acentron</i> ) <i>candida</i> Smith, 1879	5
<i>Megachile</i> ( <i>Austromegachile</i> ) <i>antiqua</i> Mitchell, 1930	6
<i>Megachile</i> ( <i>Austromegachile</i> ) <i>tepaneca</i> Cresson, 1878	2
<i>Megachile</i> ( <i>Chelostomoides</i> ) <i>otomita</i> Cresson, 1878	2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Megachile (Leptorachis) zexmeniae</i> Cockerell, 1912	2
<i>Megachile (Pseudocentron) azteca</i> Cresson, 1878	5
<i>Megachile (Pseudocentron) curviceps</i> Smith, 1853	18
<i>Megachile (Pseudocentron) rhodopus</i> Cockerell, 1896	1
<i>Megachile (Ptilosarus)</i> Mitchell, 1943 sp1	7
<i>Megachile (Ptilosarus)</i> Mitchell, 1943 sp2	1
<i>Melipona (Melikerria)</i> Bennett, 1831	7
<i>Melipona (Michmelia) solani</i> , Cockerell, 1912	38
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	19
<i>Neocorynura pubescens</i> (Friese, 1917)	6
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1910 Sp1	1
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1910 Sp2	1
<i>Osiris affin mexicanus</i> Cresson, 1878 sp1	1
<i>Osiris affin mexicanus</i> Cresson, 1878 sp2	1
<i>Osiris affin panamensis</i> Cockerell, 1919	1
<i>Oxytrigona mediorufa</i> (Cockerell, 1913)	1
<i>Paratetrapedia (Paratetrapedia) calcarata</i> (Cresson, 1878)	27
<i>Paratetrapedia (Paratetrapedia) lugubris</i> (Cresson, 1878)	2
<i>Paratrigona guatemalensis</i> (Schwarz, 1938)	4
<i>Partamona (Partamona) bilineata</i> (Say, 1837)	73
<i>Partamona (Partamona) orizabaensis</i> (Strand, 1919)	13
<i>Pereirapis</i> Moure, 1943 sp1	4
<i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)	4
<i>Plebeia jatiformis</i> (Cockerell, 1912)	5
<i>Plebeia moureana</i> Ayala, 1999	7
<i>Plebeia parkeri</i> Ayala, 1999	19
<i>Plebeia pulchra</i> Ayala, 1999	22
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	2
<i>Pseudopanurgus bidentis</i> (Cockerell, 1896)	9
<i>Pseudopanurgus</i> Cockerell, 1897 sp1	1
<i>Scaptotrigona mexicana</i> (Guérin, 1844)	53
<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	6
<i>Scaura latitarsis</i> (Friese, 1900)	12
<i>Tetragona mayarum</i> (Cockerell, 1912)	10
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	78
<i>Thygater</i> (Thygater) crawfordi Urban, 1967	1
<i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913	126
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	136
<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900	56
<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	18

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Trigona silvestriana</i> (Vachal, 1908)	58
<i>Trigonisca (Trigonisca) maya</i> Ayala, 1999	2
<i>Trigonisca (Trigonisca) pipioli</i> Ayala, 1999	7
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) mexicanorum</i> Cockerell, 1912	2
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) nautlana</i> Cockerell, 1904	1
<i>Xylocopa (Schonnherria) viridis</i> Smith, 1854	1
<b>Total abejas</b>	<b>1179</b>
<b>Plantas</b>	
<i>Acmella oppositifolia</i> (Lam.) R.K.Jansen	3
<i>Ageratum</i> sp	17
<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	4
<i>Begonia</i> <u>L.</u>	1
<i>Bidens pilosa</i> L.	6
<i>Bidens pilosa</i> L.	24
<i>Bidens reptans</i> (L.) G.Don	22
<i>Bidens</i> sp	20
<i>Bixa orellana</i> L.	59
<i>Bouchea prismatica</i> (L.) Kuntze	1
<i>Cassia</i> sp	3
<i>Centropogon</i> sp_C. Presl	1
<i>Psychotria poeppigiana</i> Müll.Arg.	7
<i>Cirsium mexicanum</i> DC.	21
<i>Cissus alata</i> Jacq.	1
<i>Cissus</i> L. sp	11
<i>Clibadium</i>	23
<i>Clidemia</i> D. Don sp	1
<i>Coccocypselum</i> P. Browne sp	3
<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. Don ex DC.	4
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	6
<i>Costus pulverulentus</i> C.Presl	1
<i>Crusea</i> Cham. & Schltld. SP	2
<i>Coffea arabica</i> L.	24
<i>Cuphea</i> P.Browne sp	3
<i>Desmodium angustifolium</i> (Kunth) DC.	22
<i>Drymaria</i> Willd. ex Schult. sp	4
<i>Elettaria cardamomum</i> (L.) Maton	357
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC. ex DC.	1
<i>Eupatorium</i> L. sp	3
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	3

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Fleischmannia pycnocephala</i> (Less.) R.M.King & H.Rob.	16
<i>Fleischmannia pycnocephaloides</i> (B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.	2
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	4
<i>Hyptis</i> Jacq. sp	7
<i>Hyptis verticillata</i> Jacq.	28
<i>Iresine calea</i> (Ibantz) Standl.	4
<i>Ludwigia</i> L. sp	35
<i>Lantana camara</i> L.	2
<i>Lycianthes nitida</i> Bitter	1
<i>Mandevilla</i> Lindl. sp	5
<i>Melanthera nivea</i> (L.) Small	113
<i>Mikania</i> sp	3
<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R.Br. ex Cass.	7
<i>Odontonema callistachyum</i> (Schltdl. & Cham.) Kuntze	18
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	1
<i>Piper</i> L. sp	6
<i>Podachaenium eminens</i> (Lag.) Sch.Bip. ex Sch.Bip.	2
<i>Pseudelephantopus spicatus</i> (B.Juss. ex Aubl.) Rohr ex C.F.Baker	1
<i>Psychotria</i> L. sp	4
<i>Richardia scabra</i> L.	1
<i>Rinorea guatemalensis</i> (S. Watson) Bartlett	27
<i>Salvia misella</i> Kunth	1
<i>Scleria</i> P.J. Bergius sp	9
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	7
<i>Sida cordata</i> (Burm.f.) Borss.Waalk.	3
<i>Sida</i> L. sp	4
<i>Smallanthus maculatus</i> (Cav.) H.Rob.	2
<i>Solanum</i> L. sp	1
<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	45
<i>Tabernaemontana</i> L. sp	1
<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H.Wigg.	1
<i>Turbina</i> Raf. sp	1
<i>Vernonia canescens</i> (Kunth) Cass.	46
<i>Vernonia deppeana</i> Less	17
<i>Vernonia</i> Schreb. Sp sp	4
<i>Weldenia candida</i> Schult.f.	32
<i>Zea mays</i> L.	28
<b>Total plantas</b>	<b>1179</b>

Tabla A9

*Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque muy seco tropical bms-T*

Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>	2
<i>Ancylloscelis apiformis</i> (Fabricius, 1793)	13
<i>Andrena</i> Fabricius, 1775 sp*	1
<i>Ashmeadiella</i> Cockerell, 1897 Sp1	1
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp1	4
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp2*	6
<i>Augochlorella</i> Sandhouse, 1937 sp1*	20
<i>Augochloropsis</i> ( <i>Augochloropsis</i> ) <i>ignita</i> (Smith, 1861)	6
<i>Augochloropsis</i> ( <i>Paraugochloropsis</i> ) <i>metallica</i> (Fabricius, 1793)	2
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1897 sp1*	1
<i>Augochloropsis</i> Cockerell, 1897 sp2*	11
<i>Centris</i> ( <i>Centris</i> ) <i>flavofasciata</i> Friese, 1899	1
<i>Centris</i> ( <i>Centris</i> ) <i>varia</i> (Erichson, 1848)	15
<i>Centris</i> ( <i>Heterocentris</i> ) <i>transversa</i> Pérez, 1905	5
<i>Centris</i> ( <i>Heterocentris</i> ) <i>trigonoides</i> Lepeletier, 1841	1
<i>Centris</i> ( <i>Trachina</i> ) <i>fuscata</i> Lepeletier, 1841	1
<i>Centris</i> ( <i>Trachina</i> ) <i>heithausi</i> Snelling, 1974	7
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp1*	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp2*	2
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp4*	1
<i>Diadasia</i> ( <i>Coquillettapis</i> ) <i>australis</i> (Cresson, 1878)	4
<i>Euglossa</i> Latreille, 1802 sp2*	1
<i>Eulaema</i> ( <i>Apeulaema</i> ) <i>polychroma</i> (Mocsáry, 1899)	1
<i>Exomalopsis</i> ( <i>Stilbomalopsis</i> ) <i>affinis limata</i> Cresson, 1878	2
<i>Frieseomelitta nigra</i> (Cresson, 1878)	24
<i>Gaesischia</i> ( <i>Prodasyhalonia</i> ) <i>mexicana</i> LaBerge, 1958	2
<i>Halictus</i> ( <i>Seladonia</i> ) <i>hesperus</i> Smith, 1862	1
<i>Heriades</i> Spinola, 1808 sp1	3
<i>Hylaeus</i> Fabricius, 1793 SP1*	1
<i>Hylaeus</i> Fabricius, 1793 SP2*	1
<i>Megachile</i> ( <i>Chelostomoides</i> ) <i>abacula</i> Cresson, 1878	2
<i>Megachile</i> ( <i>Chelostomoides</i> ) <i>axyx</i> (Snelling, 1990)	1
<i>Megachile</i> ( <i>Chelostomoides</i> ) <i>texensis</i> Mitchell, 1956	1
<i>Megachile</i> ( <i>Neochelynia</i> ) <i>chichimeca</i> Cresson, 1878	5
<i>Megachile</i> ( <i>Pseudocentron</i> ) <i>affinis elongata</i> Smith, 1879	2
<i>Melissodes</i> ( <i>Melissodes</i> ) <i>tepaneca</i> Cresson, 1878	1

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 sp1	1
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 sp1*	1
<i>Melissodes</i> Latreille, 1829 sp3*	1
<i>Melitoma</i> Lepeletier & Serville, 1828 sp*	6
<i>Messopila</i> SP1	1
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	6
<i>Partamona (Partamona) bilineata</i> (Say, 1837)	1
<i>Pseudopanurgus crenulatus</i> (Cockerell, 1905)	2
<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	12
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	9
<i>Tetraloniella</i> Ashmead, 1900 sp*	1
<i>Thygater</i> Holmberg, 1884 sp1*	1
<i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913	4
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	12
<i>Trigonisca (Trigonisca) maya</i> Ayala, 1999	7
<i>Trigonisca (Trigonisca) pipioli</i> Ayala, 1999	9
<i>Xenoglossa</i> Smith, 1854 Sp	3
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) fimbriata</i> Fabricius, 1804	1
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) mexicanorum</i> Cockerell, 1912	2
<b>Total abejas</b>	<b>233</b>
<b>Plantas</b>	
<i>Ageratum conyzoides</i> (L.) L.	1
<i>Boerhavia diffusa</i> L.	2
<i>Boerhavia erecta</i> L.	2
<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch	2
<i>Cleome viscosa</i> L.	3
<i>Clinopodium</i> L. sp	1
<i>Commelina erecta</i> L.	2
<i>Convolvulus dissectus</i> Jacq	9
<i>Cornutia pyramidata</i> L.	2
<i>Cucumis melo</i> L.	2
<i>Euploca</i> Nutt.	1
<i>Guaiacum coulteri</i> A.Gray	10
<i>Haematoxylum brasiletto</i> H.Karst.	54
<i>Ipomoea</i> L. sp	1
<i>Ipomoea</i> L. sp1	2
<i>Isocarpha oppositifolia</i> (L.) Cass.	1
<i>Kallstroemia brachystylis</i> Vail	1
<i>Kallstroemia caribaea</i> Rydb.	3

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Especie	Frecuencia
<i>Malvastrum</i> A. Gray sp	1
<i>Mangifera indica</i> L.	5
<i>Nopalea guatemalensis</i> Roze	5
<i>Opuntia decumbens</i> Salm-Dyck	1
<i>Opuntia</i> Mill. sp	2
<i>Oxalis frutescens</i> L.	2
<i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex Flügge	6
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	1
<i>Prunus</i> L. sp	2
<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda	1
<i>Ruellia ciliatiflora</i> Hook.	1
<i>Salvia misella</i> Kunth	1
<i>Senna pallida</i> (Vahl) H.S.Irwin & Barneby	5
<i>Senna skinneri</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	3
<i>Serjania lobulata</i> Standl. & Steyerm.	6
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	2
<i>Sida rhombifolia</i> L.	2
<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	3
<i>Simsia holwayi</i> S.F.Blake	2
<i>Smilax maculatus</i> (Cav.) H.Rob.	1
<i>Solanum torvum</i> Sw.	3
<i>Stemmadenia</i> Benth.	5
<i>Tagetes punctata</i> Sessé & Moc.	17
<i>Tribulus cistoides</i> L.	10
<i>Trichilia</i> P. Browne sp	7
<i>Verbena litoralis</i> Kunth	3
<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	1
<i>Waltheria americana</i> L.	22
<b>Total plantas</b>	<b>233</b>

Tabla A10

Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque seco premontano tropical bs-PMT

Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Anthidiellum (Loyolanthidium) apicale</i> (Cresson, 1878)	1
<i>Augochlora</i> Smith, 1853 sp1	8
<i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)	2

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<i>Megachile (Pseudocentron) affinis elongata</i> Smith, 1879	4
<i>Melipona (Michmelia) solani</i> Cockerell, 1912	1
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	10
<i>Paratetrapedia (Paratetrapedia) moesta</i> (Cresson, 1878)	7
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	3
<i>Scaptotrigona pectoralis</i> (Dalla Torre, 1896)	1
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	7
<i>Trigona corvina</i> Cockerell, 1913	1
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	12
<i>Trigona nigerrima</i> Cresson, 1878	2
<b>Total general</b>	<b>59</b>
<b>Plantas</b>	
<i>Ageratum conyzoides</i> (L.) L.	1
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	1
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	23
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	1
<i>Cleome viscosa</i> L.	1
<i>Croton limnocharis</i> Croizat	1
<i>Euploca fallax</i>	1
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	1
<i>Lonchocarpus</i> sp	1
<i>Malpighia lundellii</i> C.V. Morton	1
<i>Mitracarpus</i> Zucc. sp	1
<i>Musa</i> L. sp	1
<i>Oxalis frutescens</i> L.	4
<i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex Flügge	1
<i>Priva lappulacea</i> (L.) Pers.	1
<i>Ruellia donnell-smithii</i> Leonard	2
<i>Senna skinneri</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	1
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	1
<i>Sida rhombifolia</i> L.	2
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	6
<i>Tridax procumbens</i> (L.) L.	4
<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	3
<b>Total planta</b>	<b>59</b>

Tabla A11

*Número de interacciones registradas para cada especie de abeja y de planta dentro del bosque seco tropical bs-T*

Especie	Frecuencia
<b>Abejas</b>	
<i>Agapostemon (Notagapostemon) nasutus</i> Smith, 1853	1
<i>Centris (Centris) aethyctera</i> Snelling, 1974	2
<i>Centris (Centris) varia</i> (Erichson, 1848)	1
<i>Centris (Heterocentris) analis</i> (Fabricius, 1804)	1
<i>Cephalotrigona zexmeniae</i> (Cockerell, 1912)	1
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp1*	7
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp1*	15
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp2*	3
<i>Ceratina</i> Latreille, 1802 sp8	1
<i>Diadasia (Coquillettapis) australis</i> (Cresson, 1878)	8
<i>Frieseomelitta nigra</i> (Cresson, 1878)	2
<i>Gaesischia (Prodasyhalonia) mexicana</i> LaBerge, 1958	1
<i>Halictus (Selanodia) lutescens</i> Friese, 1921	1
<i>Heriades</i> Spinola, 1808 sp1	5
<i>Lasioglossum (Dialictus) Curtis, 1833 sp2*</i>	15
<i>Lasioglossum (Dialictus) Curtis, 1833 sp1*</i>	1
<i>Megachile (Neochelynia) chichimeca</i> Cresson, 1878	4
<i>Megachile (Pseudocentron) affinis inscita</i> Mitchell, 1930	1
<i>Melissodes (Melissodes) tepaneca</i> Cresson, 1878	1
<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Cresson, 1878)	80
<i>Neocorynura</i> Schrottky, 1910 Sp2*	1
<i>Plebeia frontalis</i> (Friese, 1911)	15
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	4
<i>Pseudopanurgus crenulatus</i> (Cockerell, 1905)	1
<i>Ptilothrix</i> Smith, 1853	2
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	1
<i>Tetrapedia</i> Klug, 1810 sp	1
<i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville, 1845	1
<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900	21
<i>Trigonisca (Trigonisca) maya</i> Ayala, 1999	3
<i>Trigonisca (Trigonisca) pipioli</i> Ayala, 1999	1
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) fimbriata</i> Fabricius, 1804	2
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) mexicanorum</i> Cockerell, 1912	1
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) nautlana</i> Cockerell, 1904	1
<b>Total abejas</b>	<b>206</b>

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Espece	Frecuencia
<b>Plantas</b>	
<i>Aeschynomene americana</i> L.	1
<i>Aloe</i> sp.	1
<i>Boerhavia erecta</i> L.	5
<i>Casearia nitida</i> Jacq.	36
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	1
<i>Cordia alba</i> (Jacq.) Roem. & Schult.	23
<i>Cuphea mimuloides</i> Cham. & Schtdl.	1
<i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf.	13
<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	1
<i>Eucalyptus</i> L'Hér.	1
<i>Guaiacum coulteri</i> A.Gray	1
<i>Haematoxylum brasiletto</i> H.Karst.	9
<i>Hymenostephium gracillimum</i> (Brandege) E.E.Schill. & Panero	1
<i>Ipomoea anisomeres</i> B.L. Rob. & Bartlett	4
<i>Ipomoea</i> L. sp	1
<i>Ipomoea tiliacea</i> (Willd.) Choisy	4
<i>Kallstroemia brachystylis</i> Vail	2
<i>Kallstroemia brachystylis</i> Vail	1
<i>Kallstroemia caribaea</i> Rydb.	1
<i>Kallstroemia brachystylis</i> Vail	1
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	18
<i>Leucaena</i> sp	21
<i>Mammillaria</i> Haw. sp	3
<i>Nopalea guatemalensis</i> Roze	1
<i>Oxalis frutescens</i> L.	7
<i>Paullinia clavigera</i> Schtdl.	5
<i>Pedilanthus macradenius</i> Donn.Sm.	1
<i>Priva lappulacea</i> (L.) Pers.	1
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	1
<i>Salvia splendens</i> Sellow ex Schult.	7
<i>Senna skinneri</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	4
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	1
<i>Sida rhombifolia</i> L.	5
<i>Solanum nigrescens</i> M.Martens & Galeotti	1
<i>Solanum torvum</i> Sw.	2
<i>Trichilia</i> P. Browne sp	1
<b>Total plantas</b>	<b>206</b>

## 13.3 Apéndice 3.

Máster divulgativo sobre interacción planta-abeja en zonas agrícolas de Guatemala.

### Plantas visitadas por abejas en áreas agrícolas de Guatemala

Clasificación: **Ornamentales** **Malezas** **Alimenticias**

**< Bixa orellana L.**  
De esta planta se elabora el achiote, un importante condimento mesoamericano. Es visitada por varias abejas sin aguijón, entre ellas: *Melipona beecheii* Bannett, 1837, *M. salina* Cockerell, 1912, *Portanotona bilineata* [Say, 1837], *Trigona corvina* Cockerell, 1912 y *Scaptotrigona argyrea* (Cockerell, 1912).

**> Phaseolus vulgaris L.**  
Frijol común. Frecuentemente es visitado por los abejorros *Bombus ephippiatus* Say, 1837 y *Bombus wilsoniae* Cockerell, 1912.

**< Dahlia imperialis Roehl ex Ortigas**  
Las hojas de esta planta acompañan recados y sopas. Es visitada por abejas grandes, como los abejorros *Bombus ephippiatus* Say, 1837, *B. wilsoniae* Cockerell, 1912 y *B. variabilis* (Cresson, 1872).

**> Crotalaria longirostrata Hook. & Arn.**  
La hojas de esta planta son el ingrediente principal de los tamales de chipilín. Se han observado visitas de *Trigona fulviventris* Guérin-Méneville, 1845; *Tetragonia angustula* (Latreille, 1811) y *Trigona nigerrima* Cresson, 1878.

**< Cucurbita moschata Duchesne**  
La planta de ayote es visitada frecuentemente por abejas del género *Pezomachus*, por el abejorro *Bombus ephippiatus* Say, 1837, además de la abeja sin aguijón *Portanotona bilineata* (Say, 1837).

**< Petrea volubilis L.**  
Enredadera conocida como "Nazaroso". Es visitada por la abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana* (Guérin-Méneville, 1845).

**> Fleischmannia pycnocephala [Less.] R.M.King & H.Rob.**  
Hierba denominada comúnmente como "bretillo". Es visitada por el abejorro *Bombus wilsoniae* Cockerell, 1912.

**< Cucurbita argyrosperma K. Koch**  
Esta planta produce la pepinera y los calabacitos pipineros, muy apreciados en Mesoamérica. Se sabe que es visitada por *Bombus ephippiatus* Say, 1837, además de la abeja sin aguijón *Portanotona bilineata* (Say, 1837).

**< Cirium subcoriaceum [Less.] Sch. Bip.**  
Hierba conocida comúnmente como "cardonante". Es visitada por los abejorros *Bombus ephippiatus* Say, 1837 y *B. wilsoniae* Cockerell, 1912, además de la abeja sin aguijón *Portanotona bilineata* (Say, 1837).

**> Melampodium perfoliatum [Cav.] Kunth**  
Hierba llamada comúnmente "ajo de parico" o "cayá". Es visitada por los abejorros *Bombus ephippiatus* Say, 1837 y *B. wilsoniae* Cockerell, 1912, además de la abeja sin aguijón *Portanotona bilineata* [Say, 1837].

**< Ipomoea batatas (L.) Lam.**  
Es la planta de camote, visitada por *Bombus wilsoniae* Cockerell, 1912; además de la abeja sin aguijón *Portanotona bilineata* (Say, 1837).

**> Sphagneticola trilobata (L.) Pruski**  
Hierba llamada comúnmente "pata de congo". Es visitada por abejas del sudor del género *Augochlora*, y la pequeña abeja carpintera del género *Ceratina*.

**< Passiflora vitifolia Kunth**  
Enredadera llamada comúnmente "granadilla". Es visitada por las abejas sin aguijón a) *Plebeia parkeri* Ayala, 1999, b) *Trigona fulviventris* (Guérin-Méneville, 1845) y c) *Tetragonia angustula* (Latreille, 1811).

**> Tithonia tubaeformis [Jacq.] Cass.**  
Hierba denominada comúnmente como "tatino". Es visitada por los abejorros *Bombus ephippiatus* Say, 1937 y *B. wilsoniae* Cockerell, 1912.

**< Montanoa pteropoda S. F. Blake**  
Arbusto denominado comúnmente como "chinchin redondo". Las flores de esta planta son visitadas por los abejorros *Bombus ephippiatus* Say, 1837 y *B. wilsoniae* Cockerell, 1912.

Plantas visitadas por abejas en áreas agrícolas de Guatemala: este cartel es producto del proyecto de investigación "Influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala", aprobado y avalado por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, No. B11-2021. Equipo de investigación: Natalia Escobedo, Beatriz Jo, Alfredo Mejía, Navi Ventura, Denisse Escobar, Quebin Casá, Edson Carón y Eunice Enriquez. Unidad para el Conocimiento, Uso y Valoración de la Biodiversidad, Centro de Estudios Conservacionistas, USAC, Avenida La Reforma 9-63 zona 10, Ciudad de Guatemala. biodiversidad.digui@univ.edu.gt  
Ilustraciones creadas por el Colectivo de Ilustración Científica de Guatemala - Arte Ciencia. Ilustradores: Vilma Porres, Sandy Mendoza, Keyla Patzán, Ana Luisa Ambrojo, Quebin Casá, Diana Cruz y Sara L. Ríos. Colorización: Vilma Porres. Revisión y asesoría: Mayra Maldonado. Diseño gráfico y dirección de arte: María Andréa Paiz.



## **14. Aspectos éticos y legales**

No aplica.

## **15. Vinculación**

Durante la ejecución de esta investigación se vinculó a otras unidades académicas de la USAC, por medio de la inclusión de estudiantes dentro del programa de Ejercicio Docente Supervisado. La información generada en esta investigación será trasladada al Sistema Nacional de Biodiversidad del Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Además, la información generada en este proyecto servirá para contribuir a los esfuerzos de conservación de entidades nacionales y privadas relacionadas con la conservación biológica. Finalmente, por medio de la elaboración de manuscritos científicos, se invitará a colegas de otras universidades, nacionales e internacionales (como la Universidad Nacional Autónoma de México y la universidad Martin Luther de Alemania, entre otras) que trabajan temas relacionados a ecología y redes de interacciones, fortaleciendo las colaboraciones académicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## **16. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual**

Se elaboró un manuscrito de artículo científico para ser sometido a la revista Ciencia, Tecnología y Salud. Adicionalmente, otro manuscrito será sometido a una revista externa, indizada y de alto impacto. Se realizó un material divulgativo sobre interacción de planta-abeja en áreas agrícolas de Guatemala (Apéndice 3).

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

## 17. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS

Objetivo 15: proteger, restablecer y promover el uso de los ecosistemas terrestres, gestionar los bloques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de biodiversidad biológica.

## 18. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Natalia Escobedo Kenefic	Coordinadora	20070196	No	
Osbel Alfredo Mejía Coroy	Investigador	20191263	Sí	

## 19. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

<b>Lic. Natalia Escobedo Kenefic</b>	<b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	

# Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

## 20. Aval de la directora del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto “Influencia del contexto ambiental en la estructura de las interacciones planta-abeja en tres ecosistemas de Guatemala”, en mi calidad de directora del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<b>Vo.Bo. Dra. María Eunice Enríquez Cotton</b> <b>Directora del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia</b>	<b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	

## 21. Visado de la Dirección General de Investigación

<b>Vo.Bo. Ing. Agr. Saúl Guerra Gutiérrez Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente</b>	<b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	

<b>Vo.Bo. Ing. Agr. Julio Rufino Salazar</b> <b>Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</b>	<b>Firma</b>
Fecha: 28/02/2022	