



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD
MORELIA

MANEJO TRADICIONAL Y DISTRIBUCIÓN DE ABEJAS SIN
AGUIJÓN (*APIDAE: MELIPONINI*) EN MICHOACÁN, MÉXICO:
BASES PARA SU CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO
SOSTENIBLE

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

PRESENTA:
ALEJANDRO REYES GONZÁLEZ

DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
IIES, UNAM
DRA. LUCIANA PORTER BOLLAND
INECOL A.C.
DRA. MARÍA ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ
CIGA, UNAM
DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES
ENES-MORELIA, UNAM
DR. ANDRÉS CAMOU GUERRERO
ENES-MORELIA, UNAM
DR. RICARDO AYALA BARAJAS
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM
DR. JOSÉ OCTAVIO MACÍAS MACÍAS
CUSUR, UdeG

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, MARZO, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar
Universidad Nacional Autónoma de México
Presente

Me permito informar a usted, que el Comité Académico del Programa de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en su sesión 78 del 15 de marzo del 2022, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **DOCTOR EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD**, del alumno **Reyes González Alejandro** con número de cuenta **408095606**, con la tesis titulada "Manejo tradicional y distribución de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) en Michoacán, México: bases para su conservación y aprovechamiento sostenible", bajo la dirección de la Dra. Ek del Val de Gortari y la Dra. Luciana Porter Bolland.

PRESIDENTA: DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES
VOCAL: DR. ANDRÉS CAMOU GUERRERO
SECRETARIA: DRA. MARÍA ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ
VOCAL: DR. RICARDO AYALA BARAJAS
VOCAL: DR. JOSÉ OCTAVIO MACÍAS MACÍAS

Sin más por el momento me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 2 de marzo de 2023.



Dr. Alonso Aguilar Ibarra
Coordinador
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por todo lo que me ha brindado en mi formación profesional. El ser parte de la UNAM sin duda alguna ha sido la experiencia más genial y satisfactoria. Agradezco al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, especialmente a sus integrantes en Ciudad Universitaria: Dra. Marisa Mazari Hiriart, al Dr. Alonso Aguilar Ibarra, la M.C. María José Solares y en el apoyo administrativo a Angélica Rodríguez Chávez y Ángel Rodríguez Chávez. De igual manera, agradezco el siempre eficiente y atento apoyo administrativo de las asistentes de posgrado, la Mtra. Janette Huante Pineda de la ENES-Morelia y a Lic. Leonarda Terán Cárdenas del IIES, UNAM Campus Morelia.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de posgrado otorgada (489580). También al proyecto “Saberes ambientales para la cogeneración de estrategias de manejo sustentable de socioecosistemas” (UNAM, PAPIIT IN308418) por el apoyo económico recibido. Así mismo, agradezco el financiamiento otorgado por *The Rufford Foundation*, con su subvención: Rufford Small Grants (24084-1).

Agradezco sinceramente a mi comité tutor integrado por la Dra. Ek del Val, Dra. Luciana Porter-Bolland y la Dra. María Isabel Ramírez Ramírez que oportunamente me guiaron en este proceso. De igual forma agradezco a mi comité sinodal por sus valiosas revisiones y sugerencias a este documento. Brindo reconocimiento a todos los profesores de la ENES-Morelia, IIES, IB y CIGA de la UNAM que fueron parte de mis actividades académicas durante el posgrado. Muy en especial agradezco a todos los estudiantes que me acompañaron en el trabajo de campo, especialmente a Jahir Pérez, Saúl Gutiérrez, Kevin Gómez y José Urué, así como a los apicultores y pobladores locales que me compartieron su información y apoyo en sus localidades en el estado de Michoacán.

Finalmente, agradezco a los amigos y familiares que siempre me han apoyado, los de siempre así como los nuevos. Especialmente a mi esposa Ibeth Trujillo por su comprensión y apoyo y mis padres y hermana que siempre han sido un respaldo incondicional. Dedico esta tesis y todo lo que representa a mi hija Valentina Marilú Reyes Trujillo.

CONTENIDO

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
I.- INTRODUCCIÓN	7
Marco conceptual	7
Marco teórico	9
Importancia y declive de polinizadores	9
Polinizadores manejados y abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini)	11
Conocimiento ecológico local y manejo de abejas sin aguijón	13
Riesgos y amenazas de las abejas sin aguijón	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
PREDICCIONES	24
ESTRUCTURA DE TESIS	25
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	26
OBJETIVOS	27
Objetivo general	27
Objetivos particulares	27
II.- ASPECTOS METODOLÓGICOS	28
Área de estudio general	28
Métodos	30
Métodos del artículo de requisito:	30
Métodos del segundo artículo	31
III.- RESULTADOS	33
IV.- DISCUSIÓN	56
V.- CONCLUSIONES	65
VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	88

RESUMEN

Actualmente se postula una crisis global de polinizadores ocasionada por diversos factores antrópicos. En el presente trabajo se analizó el conocimiento ecológico local (LEK por sus siglas en inglés) y el manejo local tradicional, histórico y actual, que las personas poseen y realizan hacia las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) en el estado de Michoacán, México. Así también, se evalúa la diversidad, distribución y los ensamblajes de abejas sin aguijón en el estado de Michoacán y su relación con factores ambientales.

En el primer capítulo, se presenta cómo el manejo local de las abejas en Michoacán implica la extracción destructiva de nidos, lo cual es perjudicial para las abejas sin aguijón. Dado a que esta actividad estuvo arraigada en las formas tradicionales del manejo de estas abejas, el LEK es importante pues representa un legado biocultural, a pesar de la manera de aprovechamiento tradicional de estos insectos. Sin embargo, este conocimiento muestra un deterioro en las última tres décadas. La percepción local indica que actualmente este tipo de manejo tradicional está en proceso de desaparición, al igual que la diversidad de las mismas abejas. En el segundo capítulo se reportan 14 especies de abejas sin aguijón para Michoacán (30% del total de especies de abejas sin aguijón conocidas para México), siendo la mitad de éstas endémicas del centro-occidente de México. Los datos de incidencia de especies muestran “especies raras” y unas pocas “especies abundantes”. Se reconocen tres ensamblajes de especies de abejas sin aguijón, dos de éstos en áreas reducidas y con fuertes procesos de deterioro por cambio de uso de suelo y degradación ambiental.

Los resultados que aquí se presentan brindan información novedosa y útil con base en la cual se puede emprender estrategias de conservación y aprovechamiento sostenible de las abejas sin aguijón en Michoacán y en el centro-occidente del país. Lo anterior facilitará transitar hacia un modelo de sostenibilidad en el manejo de estas abejas nativas, que contemple a estos polinizadores de alta importancia biocultural como agentes funcionales en el mantenimiento de la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

ABSTRACT

Currently, the world is experiencing a global pollinator crisis caused by different anthropic factors. The present dissertation analyzed the local ecological knowledge (LEK) and the historical and current traditional management of stingless bees (Apidae: Meliponini) in Michoacán, Mexico. The diversity, distribution, and assembly of the Meliponini community in the Mexican state of Michoacán, were also recorded.

The first chapter shows that current local bee management implies the destructive extraction of nests, which is harmful for native bees. However, LEK about these insects is important since it represents a bio-cultural legacy, which has been deteriorating for the last three decades. According to local perceptions, stingless bee management is in the process of disappearing, as are the native bees themselves. In the second chapter, 14 native stingless bee species are reported (30% of the total Meliponini known in Mexico), half of which are endemic to this region, the center-west of Mexico. Also, data regarding species incidence shows “very rare species” and a few “abundant species”. Regarding its distribution, Meliponini are grouped in three different

ecological assemblies, two of which are distributed in very narrow areas presenting intense land-use change and environmental degradation. The results presented here provide new and useful information for conservation strategies and sustainable use of stingless bees in the central-western Mexico. This will facilitate moving towards a sustainability model for managing these native bees that considers pollinators of high biocultural importance as functional agents for the maintenance of biodiversity and food security.

I.- INTRODUCCIÓN

Marco conceptual

Las ciencias de la sostenibilidad son un área emergente, que busca comprender con base en diferentes campos de conocimiento científico y otras formas de información y conocimiento, las interacciones entre la sociedad y la naturaleza, y cómo estas complejas relaciones impactan en el bienestar de la humanidad en el presente con efectos en el futuro (Kates *et al.* 2001; Miller, 2013). En las ciencias de la sostenibilidad, la organización social y la acción política (gobernanza) son imprescindibles para pasar del desarrollo de conocimientos a la acción en el campo, considerando la participación de todos los actores involucrados, lo que se ha denominado transdisciplinariedad (Kates *et al.* 2001; Miguélez, 2009; Balint *et al.* 2011; Spangenberg, 2011; Miller, 2013; Klein, 2014). La complejidad de las interacciones sociedad-naturaleza y el sistema socioeconómico actual, basado en un modelo de ocupación, transformación y uso intensivo de las tierras para una hiperproducción, acumulación y consumo globalizado sin precedente, han ocasionado graves problemáticas ambientales (Leff, 2004, Ehrlich *et al.* 2012). Algunos autores han denominado estos conflictos ambientales “problemas perversos” (Rittel y Webber 1973; Balint *et al.* 2011). Estos se caracterizan por tener una alta incertidumbre, no tener soluciones únicas, presentar ambigüedades y posiciones contrapuestas. A su vez, presentan efectos inmediatos y a largo plazo, con causas y consecuencias múltiples a diferentes escalas, desde locales hasta globales (Brundiers *et al.* 2010; Balint *et al.* 2011). Además, la mayoría de estos problemas requieren decisiones y soluciones urgentes (Funtowicz y Ravetz, 1993; Miller, 2013).

En este contexto, el problema regional que en este trabajo se aborda es la pérdida de conocimiento ecológico local sobre un grupo de polinizadores nativos, las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini). Al igual se analiza la diversidad, distribución y posible disminución de las poblaciones de algunas especies de estas abejas. Este es un problema que se ha documentado en otros lugares del planeta y que requiere de atención urgente dada la importancia biocultural de este grupo de insectos.

Por ello, el presente trabajo de investigación se aborda desde un marco conceptual de los Sistemas Socioecológicos (SES), incorporando enfoques y métodos de la Biogeografía, Ecología y la Etnobiología, específicamente del Conocimiento Ecológico Local (LEK, por sus siglas en inglés; Berkes, 1999; Berkes y Folke, 2002; Berkes y Turner, 2006). Diferentes autores en las últimas tres décadas han propuesto el marco conceptual del SES (Gallopín *et al.* 1989), como herramienta de análisis holística e integral para comprender la crisis ambiental que las actividades humanas han ocasionado a los ecosistemas naturales. Así pues, este marco conceptual promueve un cambio en la construcción del conocimiento, tomando campos disciplinares propios de las ciencias sociales y las ciencias biofísicas, además de otras formas de conocimientos empíricos y tradicionales (Gallopín *et al.* 1989; Maass y Cotler 2007; Resilience Alliance, 2010; Binder *et al.* 2013; Uribe *et al.* 2014; Challenger *et al.* 2015).

Por su parte, el Conocimiento Ecológico Local (LEK, por sus siglas en inglés), es aquella información y saberes que poseen las comunidades asentadas en un territorio definido durante cierta temporalidad. Este conocimiento de su territorio y ambiente es fundamental para el uso y manejo

sostenible de los elementos y sistemas de interés, incluyendo su aprovechamiento, conservación o restauración (Berkes *et al.* 2000; Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

Con frecuencia se ha postulado que los grupos humanos indígenas o no indígenas, pero con amplio arraigo territorial implementan prácticas de conservación y buen manejo de sus elementos y recursos naturales (Toledo y Barrera-Bassols, 2008). Sin embargo, hay estudios que demuestran que algunas sociedades humanas no tienen prácticas de conservación de sus elementos o recursos naturales (Johannes, 2002). Una sociedad puede realizar prácticas de conservación para un área, recurso natural o sistema biológico en particular y no realizarlas para otra. Así también, una sociedad que conserva sus recursos en una etapa de su historia, puede no hacerlo en otra (Berkes y Turner, 2006). Esto podría ser el caso de las abejas sin aguijón en algunas regiones de Mesoamérica (Freitas *et al.* 2009).

Marco teórico

Importancia y declive de polinizadores

La polinización biótica es un proceso ecológico y servicio ambiental fundamental, pues el 88% de las plantas silvestres dependen de ello para su reproducción (Ollerton *et al.* 2011). En este sentido, las abejas son consideradas el grupo de mayor importancia como polinizadores (Potts *et al.* 2016a) ya que poliniza gran cantidad de plantas tanto silvestres como cultivadas. Gracias a estos insectos se asegura la producción de alrededor del 75% de los alimentos a nivel global (Klein *et al.* 2007; Gallai *et al.* 2009), ya que visitan más del 90% de los 107 principales cultivos globales (Potts *et al.*

2016a). Esto a su vez representa 35% de la producción mundial de alimentos (Kearns *et al.* 1998; Klein *et al.* 2007; Kremen *et al.* 2007; Gallai *et al.* 2009). Para México se estima que cerca del 85% de los cultivos destinados al consumo humano dependen en distintos grados de polinizadores, lo cual es relevante, pues México es centro de origen y domesticación de diversos cultivos de gran importancia mundial (Ashworth *et al.* 2009).

Además de la producción de alimentos, gracias a la polinización animal existen otros bienes y servicios fundamentales para las sociedades humanas como son algunos insumos médicos, biocombustibles, fibras, materiales para la construcción y objetos artísticos, entre otros (Potts *et al.* 2016a). Por lo tanto, la disminución o pérdida de los procesos y servicios de polinización agudizarían la ya fuerte problemática socioecológica de producción y distribución de alimentos, hambruna, inseguridad alimentaria y nutrición, fomentando un mayor cambio de uso de suelo y pérdida de vegetación natural (Potts *et al.* 2016a).

La Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), estima anualmente que 8% del valor económico de la producción que depende completamente de la polinización animal representa entre \$235 y \$577 mil millones de dólares americanos a nivel mundial (Potts *et al.* 2016b). Sin embargo, se considera que estas cifras van en aumento, pues diversos cultivos son cada vez más dependientes de polinizadores introducidos (Potts *et al.* 2016b; Aizen *et al.* 2009). A pesar de que existe una gran diversidad de especies silvestres de polinizadores y por lo tanto de abejas, se sabe poco sobre el estado de sus poblaciones. De hecho, desde hace algunos años se ha documentado en diferentes regiones del planeta un declive de polinizadores, es decir, la notable disminución de su

diversidad y abundancia (Potts *et al.* 2010). Este fenómeno se presenta con diferentes magnitudes e intensidades en diferentes lugares, dependiendo de la combinación de varios factores. Entre estos factores se encuentra la pérdida de hábitat por cambio de uso de suelo y manejo intensivo de tierras, cambio climático, agricultura intensiva que fomenta el uso de agroquímicos, organismos genéticamente modificados, además de los patógenos, y la introducción de especies exóticas tanto de plantas como de otros polinizadores (Allen-Wardell *et al.* 1998; Kearns, *et al.* 1998; Kevan, 1999; Ricketts, 2001; Ricketts *et al.* 2008; Steffan-Dewenter *et al.* 2002; 2005; Kremen, *et al.* 2002; 2004, 2007; Biesmeijer *et al.* 2006; Winfree *et al.* 2007; Taki *et al.* 2007; Steffan-Dewenter y Westphal, 2008; Freitas *et al.* 2009; González-Varo *et al.* 2013; Potts *et al.* 2010; 2016a; 2016b; Galetto *et al.* 2022). Sin embargo, sólo se han estudiado sistemáticamente algunos polinizadores en pocas regiones del mundo (Biesmeijer, 2006; Potts *et al.* 2010). Para los ambientes tropicales que son el hábitat de las abejas sin aguijón, aún existen vacíos de información sobre la situación de estos polinizadores nativos y su posible declive (Cane *et al.* 2006; Brosi *et al.* 2008; Potts *et al.* 2016a; Lichtenberg *et al.* 2017).

Polinizadores manejados y abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini)

Actualmente son manejadas en el mundo cerca de 50 especies de abejas, no solo por sus servicios de polinización, sino también para producir o aprovechar miel y otros productos (Potts *et al.* 2016b). Para la polinización de cultivos se emplean alrededor de 12 especies, desde *Apis mellifera*, abejorros (Bombini), abejas sin aguijón (Meliponini) y otras abejas solitarias (Potts *et al.* 2016a). Sin embargo, se estima que más de 60 especies tienen potencial de ser empleadas

en la polinización de cultivos y que cada día se dependen en mayor cantidad de polinizadores (Aizen *et al.* 2009; Osterman *et al.* 2021).

Un grupo de importancia social y ecológica en los trópicos son las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini; Nogueira-Neto, 1997; Heard, 1999; Roubik, 2000; Biesmeijer, 2006; Quezada-Eúan *et al.* 2018). Alrededor del mundo hay registro de más de 400 especies correspondientes a 33 géneros (Camargo y Pedro, 2013). Las abejas sin aguijón son insectos eusociales, es decir, son altamente sociales y viven en colonias, además su aguijón está atrofiado, presentan distintos hábitos de nidificación y defensa, entre otras características (Roubik, 2006, Michener, 2007). Se ha documentado que las abejas sin aguijón participan en la polinización de entre 30% y 50% de las especies de plantas en el neotrópico (Heard, 1999). Además, son fundamentales en la producción de frutos y semillas de al menos 60 cultivos tropicales (Heard, 1999; Slaa *et al.* 2006).

La riqueza de especies de abejas sin aguijón registrada para México es de 46 especies, de las cuales 26% son endémicas (Ayala, 1999; Ayala *et al.* 2013). Estos insectos siguen patrón de distribución neotropical típica descrita por Halffter (1976), donde la heterogeneidad geomorfológica del país es un factor que influye en su distribución (Ayala 1999). La mayoría de las especies habita en áreas cálidas de tierras bajas tanto en regiones secas como húmedas, aunque algunas están presentes en áreas montañosas hasta los 3000 metros de altitud en algunas zonas del país (Ayala *et al.* 2013). A nivel nacional, algunas áreas funcionan como nodos de alta riqueza de Meliponini, ya que son áreas de superposición entre especies con distintas historias biogeográficas (Yañez-Ordoñez *et al.* 2008). La Costa del Pacífico, desde

Guerrero hasta Chiapas, así como el sur de Veracruz, son las áreas que contienen la mayor cantidad de especies de abejas sin aguijón reportadas hasta la fecha (Ayala *et al.* 2013). Sin embargo, en el estado de Michoacán, situado en la parte centro-occidente del país, la distribución de estas abejas no ha sido claramente identificada.

Ayala y colaboradores a lo largo de diversos trabajos y revisiones (1999; 2013), han propuesto los patrones en la distribución del grupo Meliponini relacionados con la vegetación: 1) especies de amplia distribución asociadas tanto a bosques tropicales secos como húmedos; 2) especies asociadas a bosques tropicales muy húmedos; y 3) especies endémicas asociadas a varios tipos de vegetación. Recientemente se han publicado registros de especies para áreas poco estudiadas (Reyes-González *et al.* 2014; 2017; Arnold *et al.* 2018). Por lo tanto, es importante profundizar en el análisis de los factores bióticos y abióticos, que determinan los ensambles de estas abejas nativas en áreas poco monitoreadas como el occidente y la vertiente del Pacífico en México.

Conocimiento ecológico local y manejo de abejas sin aguijón

Todas las abejas sociales que acopian grandes cantidades de recursos alimenticios han sido fuente de alimento e insumos medicinales y materiales para los humanos desde épocas en las que las sociedades eran cazadoras y recolectoras. La miel, el polen y las larvas de abeja han sido fuente de alimento energético y proteico de los humanos, así como fuente de materiales por las ceras y propóleos que estos insectos proveen (Crane, 1992). Por ello, las abejas sin aguijón han sido manejadas desde épocas remotas por diversos

pueblos y culturas en todo el mundo con fines productivos, lo que se ha denominado meliponicultura (Crane, 1992; 1999; Quezada-Eúan *et al.* 2001; 2018; Cortopassi-Laurino *et al.* 2006).

En Mesoamérica el manejo para aprovechar los productos de estos insectos (miel, polen, cerumen y propóleos), se ha realizado bajo diferentes expresiones, desde la extracción de nidos silvestres hasta la crianza sistemática de algunas especies de abejas sin aguijón (Reyes-Gonzalez *et al.* 2014). Estos esquemas de manejo se arraigan y transmiten en los conocimientos locales, lo cual para las sociedades humanas representa un importante complemento alimenticio, medicinal y una fuente de material en el caso del cerumen para diversos usos (Crane, 1999; Quezada-Eúan, 2018). Algunas prácticas antiguas de meliponicultura mesoamericana aún se mantienen en ciertas áreas del trópico mexicano (Quezada-Euán *et al.* 2001; Villanueva *et al.* 2005; González-Acereto, 2008; Vásquez-Dávila, 2009; Arnold y Aldasoro-Maya, 2013; Vargas *et al.* 2014; Porter-Bolland *et al.* 2015; Zepeda y Estrada, 2016; Arnold *et al.* 2018; Chan-Mutul *et al.* 2019). Además, desde hace algunos años se han desarrollado esfuerzos por revalorizar dichas prácticas tradicionales con estas abejas, pero también se ha implementado un manejo con técnicas modernas, tanto en regiones donde ya se realizaba la meliponicultura, como en otras en donde esta es una práctica reciente (Reyes-González *et al.* 2016; Arnold *et al.* 2018; Quezada-Eúan, 2018; Aldasoro-Maya *et al.* 2023). En la actualidad se encuentran bajo alguna forma de manejo poco más de 20 especies de abejas sin aguijón en al menos 20 grupos étnicos originarios y comunidades rurales mestizas de México (González y Ayala, 2013; Reyes-González *et al.* 2016; Aldasoro-Maya *et al.* 2023). Es de resaltar

que en algunas áreas donde se pretende iniciar en el manejo y crianza sistemática de abejas sin aguijón es realizado por personas o agrupaciones con poca o nula experiencia, lo que afecta las poblaciones de estas abejas al extraer y depredar nidos silvestres de dichos insectos (Quezada-Eúan, 2018; observación personal).

Para el occidente mexicano, tanto la costa del Pacífico como la cuenca del Rio Balsas son regiones donde se han aprovechado las abejas sin aguijón de manera tradicional (Bennett, 1964; Hendrichs, 1941; Kent, 1984; Dixon, 1987; Reyes-González *et al.* 2014). Para una zona de Jalisco, específicamente en la Sierra de Manantlán se reportó la presencia y el conocimiento tradicional en comunidades rurales mestizas de nueve especies de abejas sin aguijón (Contreras-Escareño, 2019). Arnold y colaboradores (2018) registraron la presencia de 35 especies de abejas sin aguijón para Oaxaca las cuales han sido asociadas con 150 nombres locales.

Para el estado de Michoacán, previamente se tenía registro de nueve especies de abejas sin aguijón, y la percepción local de una disminución considerable de la diversidad y abundancia de estas abejas nativas por los habitantes de dos municipios de dicho estado. También se tiene registro de la pérdida de los conocimientos ecológicos locales (LEK) asociados a dichas abejas (Reyes-González *et al.* 2014; 2016). Estos mismos autores reportan un amplio conjunto de conocimientos ecológicos locales, donde la manera de aprovechar estas abejas nativas es la extracción total o parcial de sus productos, siendo por lo general una práctica destructiva y nociva para las poblaciones de abejas. Así también para el estado de Michoacán se han reportado nuevos registros de estas abejas (Reyes-González *et al.* 2014;

2017). Sin embargo, es necesario tener más información sobre la riqueza específica y la distribución de estos insectos para esta porción del centro-occidente mexicano.

Riesgos y amenazas de las abejas sin aguijón

Dada la importancia ecológica y cultural de las abejas sin aguijón, resulta fundamental conocer, además de su diversidad y distribución, los riesgos y amenazas que presentan, no solo por la vulnerabilidad de los servicios de polinización que brindan a la vegetación silvestre y los sistemas agrícolas, sino también por el valor biocultural (Aldasoro-Maya *et al.* 2023). Recientemente, Galetto y colaboradores (2022) abordan los riesgos y oportunidades que tienen los polinizadores en Latinoamérica, mencionando que es la región con mayor diversidad de abejas en el mundo y postulan que en esta región, los insectos polinizadores enfrentan diversas amenazas, haciendo énfasis en la pérdida de hábitat y el uso de pesticidas, lo que impacta en las poblaciones de estos insectos, afectando la reproducción de plantas nativas y los rendimientos de diversos cultivos de interés humano. Por esto en este apartado, se hace una breve revisión de las amenazas ya abordadas para las abejas sin aguijón.

Cambio climático

Se ha reportado que el cambio climático puede modificar los ciclos biológicos, el comportamiento de las abejas y su productividad, pero también puede alterar la fenología floral de las plantas de las cuales se alimentan (Macías-Macías *et al.* 2011; Giannini *et al.* 2020; Dos Santos *et al.* 2015). Aunque son pocos los trabajos que abordan los efectos del cambio climático en la diversidad genética de abejas sin aguijón, hay algunos trabajos que demuestran su efecto (Jaffé *et al.* 2019). También, en investigaciones del género *Melipona* se ha

documentado que el aumento de temperatura puede causar mortalidad (Becker *et al.* 2018). Sin duda, el cambio climático reflejado con el aumento o disminución de la temperatura, así como las alteraciones en las precipitaciones y humedad son cuestiones clave, no solo en el comportamiento de las abejas, sino también en sus rangos de distribución espacial. Por lo tanto, es fundamental conocer la capacidad de adaptación y supervivencia de estos importantes polinizadores.

Pesticidas

Otro factor que afecta a los polinizadores en general y que ha sido más estudiado al menos en abejas sin aguijón son algunos pesticidas, como el documento Lima y colaboradores (2016). Dicho estudio, muestra que los pesticidas afectan la aptitud individual, por varios efectos en la fisiología, lo que repercute en la colonia entera. Un meta-análisis realizado por Arena y Sgolastra (2014), muestra que las abejas sin aguijón son más sensibles a los pesticidas que otras abejas sociales, como los abejorros y las abejas melíferas (*Apis mellifera*). De hecho, en otros trabajos se ha encontrado que algunas especies de abejas sin aguijón pueden ser bioindicadores de contaminación ambiental por pesticidas (Reyes-Novelo *et al.* 2009; Rosa *et al.* 2015). Así pues, el estudio de los agroquímicos en sus diferentes modalidades como son herbicidas, insecticidas, fungicidas, o incluso fertilizantes, entre otros, son tema realmente importante en la expansión de la agricultura industrial y la salud de los polinizadores en los agroecosistemas.

Introducción de especies

Sin duda, la variante africanizada de *A. mellifera* que se dispersó en todos los ambientes tropicales de América, causó impacto en las interacciones de

competencia por recursos, tanto alimenticios como de sitios de anidación (Roubik, 2009). Algunos estudios pioneros de Roubik, desde los años 1978, demuestran la disminución de visitas a plantas por parte de abejas del género *Melipona*, después de la presencia de las *Apis* africanizadas. Las abejas sin aguijón, al ser más pequeñas de tamaño y con poblaciones menores a nivel de colonia, tienen desventajas significativas para la competencia con dicha abeja introducida (Roubik y Wolda, 2001). También se han documentado comportamientos agresivos por parte de la abeja melífera hacia abejas sin aguijón, aunado a que *Apis* por lo general es dominante en los ambientes con mayor perturbación (Cairns *et al.* 2005). Sin embargo, aún falta mucho por conocer sobre las interacciones e impactos de estas abejas introducidas incluyendo especies de abejorros (*Bombus*) (Torres-Ruiz *et al.* 2013). Actualmente hay una fuerte problemática por el movimiento de colonias de abejas sin aguijón a regiones fuera de su hábitat original en México, Brasil y otros países (Quezada-Eúan, 2018; observación personal). Esto implica riesgos por lo que conlleva la introducción de especies como transmisión de patógenos, competencia por recursos alimenticios y de anidación ente otros. Por lo tanto, se debe comenzar a estudiar y analizar las implicaciones de los movimientos de las colonias de abejas sin aguijón en toda Latinoamérica.

Plagas y enfermedades

Relacionado con la introducción de especies exóticas está la problemática de plagas y enfermedades, como otro factor que afecta a las abejas sin aguijón. Lo anterior se ha documentado en diversos estudios como los de Morfin *et al.* (2021), reportando en *Melipona colimana* Ayala, endémica del occidente mexicano, un par de enfermedades virales que típicamente se encuentran en

A. mellifera, el virus de las alas deformes (DWV) y virus de las celdas reales negras (BQCV). Ya previamente, Macías-Macías y Otero-Colina (2004) documentaron por primera vez la presencia de ácaros parásitos *Pyemotes tritici* LaGreze-Fossat & Montagné en una colonia de *M. colimana*, tal vez transmitidos por escarabajos u hormigas.

Un artículo reciente aborda las implicaciones y posibles zonas de dispersión del avispon gigante asiático (*Vespa mandarinia* Smith), indicando que sería nocivo para las poblaciones nativas de abejorros, abejas sin aguijón y *A. mellifera* en México y otras partes del continente Americano (Nuñez-Penichet *et al.* 2021). Sin embargo, la principal plaga de las abejas sin aguijón es la mosca parásita *Pseudohypocera kerteszi* Enderlein, ya que los adultos de esta especie infestan las colonias de abejas sin aguijón, reproduciéndose dentro y causando estragos en la cría y las estructuras de almacenamiento de miel y polen.

Transformaciones del paisaje y pérdida de hábitat

Entre los principales factores del declive global de la biodiversidad de polinizadores está la eliminación de las cubiertas naturales, así como el cambio de uso de suelo, lo que causa la pérdida de hábitat y la fragmentación, fenómenos antrópicos que alteran tanto la riqueza como la abundancia de polinizadores (Brosi *et al.* 2008; 2009; Ricketts *et al.* 2008; Winfree *et al.* 2009; Ferreira *et al.* 2013). En Latinoamérica, el cambio de uso del suelo para la agricultura comercial es la principal actividad responsable de la pérdida de la vegetación natural (FAO, 2015). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reporta en 2015 que en el periodo entre

2000-2010, México fue uno de los países que presentó más pérdida forestal en América, con entre 583,000 ha/año y 440,600 ha/año.

Específicamente para las abejas sin aguijón se ha documentado que el cambio de uso de suelo y la transformación de las cubiertas forestales deriva en fragmentación y pérdida de hábitat afectando de manera importante a estas abejas. Lo anterior se ha publicado en investigaciones como las de Brown y Albrecht, (2001), exponiendo que la riqueza de abejas sin aguijón se relaciona con la cercanía a fragmentos de bosque, siendo mayor esta riqueza en porciones con mayor tamaño. Samejima (2004) señala que las perturbaciones de los bosques lluviosos en una región de Malasia, afectan de manera diferencial a la comunidad de abejas sin aguijón, pues en los hábitats conservados hay especies que no están presentes en los ambientes alterados. En otros estudio realizados en Costa Rica (Brosi *et al.* 2007; 2008; 2009), demostraron que la deforestación y antropización del paisaje afectaba la abundancia de abejas, disminuyendo a mayor distancia del fragmento de bosque más cercano. Además encontraron correlación positiva de riqueza de especies a mayor cantidad de cubierta forestal. En una revisión bibliográfica por Taylor Ricketts y colaboradores (2008) sobre los efectos de los cambios en el paisaje sobre los servicios de polinización, encontraron que la tasa de visitas por la comunidad de abejas disminuye a la mitad en una distancia de 0.6 km de los hábitats naturales y por su parte, la riqueza disminuye hasta 50% a 1.5 km de distancia. Lo anterior fue más notorio en regiones tropicales y para abejas sociales. Por su parte Calvillo et al. (2010) analizaron el efecto del tamaño de los fragmentos de bosque en la comunidad de abejas nativas, demostrando que los fragmentos más grandes de bosque albergan mayor diversidad de

estos insectos, incluyendo abejas sin aguijón. Lichtenberg y colaboradores (2017), en un estudio en Costa Rica, comentan que los hábitos de alimentación modulan las interacciones competitivas, que afectan el ensamble de la comunidad de abejas sin aguijón y también muestran que a pesar de que estas abejas sociales son generalistas, se les encuentra menos en zonas donde no hay bosque, lo que también se relaciona con la falta de sustratos para anidar, como lo son troncos y ramas de árboles y suelo.

Con esta revisión sobre los riesgos y amenazas, queda claro que la pérdida de bosques y la intensificación de la agricultura con el uso de pesticidas, así como la homogeneización del paisaje (monocultivos), son factores devastadores para las abejas sin aguijón, pues la mayoría de estas anida en troncos de árboles y en el suelo (Roubik, 2006). Además, se debe considerar el tipo de manejo y aprovechamiento (extracción de nidos) que las comunidades humanas realizan hacia estas abejas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con datos previos publicados, así como observaciones en campo y el trabajo con las personas de comunidades rurales, se tiene incertidumbre sobre sí las poblaciones de las abejas sin aguijón, el conocimiento ecológico local y las prácticas de manejo asociadas a estos insectos, están en deterioro o erosión por cambios culturales y diversas actividades humanas en el centro-occidente mexicano, específicamente en el estado de Michoacán (Bennett, 1964; Hendrichs, 1941; Kent, 1984; Dixon, 1987; Reyes-González *et al.* 2014; 2016). Entre los factores a considerar están la pérdida de hábitat por cambio de uso de suelo y las transformaciones del paisaje, así como el manejo tradicional de estas abejas por las comunidades humanas que por lo general consiste en la extracción destructiva de nidos silvestres de abejas sin aguijón, lo que vulnera y poner en riesgo a las poblaciones de estas abejas nativas. Lo anterior se documenta para otras regiones de Latinoamérica y en una zona del estado de Michoacán (Crane, 1999; Brosi, 2009; Reyes-González *et al.* 2014; Rosso-Londoño e Imperatriz-Fonseca, 2017). Esta vulnerabilidad se enmarca en la problemática global de pérdida de biodiversidad y especialmente del declive de los polinizadores, lo cual tiene fuertes repercusiones en el mantenimiento de la biodiversidad en general, en la producción de alimentos, algunas materias primas fundamentales y por lo tanto en el bienestar de los ecosistemas.

El presente estudio documenta el conocimiento ecológico local (LEK) asociado a las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán, México, incluyendo datos sobre su manejo en el pasado y la actualidad, analizando las implicaciones del aprovechamiento tradicional. Además, se considera

fundamental conocer la percepción histórica de las personas que aprovechan a estas abejas nativas, tanto de su diversidad y abundancia, como de los procesos del aprovechamiento tradicional. Lo anterior como un registro de la tendencia temporal en la presencia de abejas sin aguijón en la zona de estudio. A la par, se estudia la riqueza, composición y distribución espacial de estas abejas nativas en correlación con algunas variables ambientales en la porción del estado de Michoacán donde habitan estos polinizadores.

Por lo tanto, con los resultados se aporta desde las Ciencias de la Sostenibilidad, información pertinente para sensibilizar sobre la importancia de estas abejas y conocimiento de su diversidad y distribución, lo cual es necesario para el desarrollo de estrategias y alternativas de conservación y gestión sostenible de estos insectos. Lo anterior es fundamental para proponer esquemas que permitan confrontar la pérdida del conocimiento local sobre estas abejas y su declive, y así transitar a la sostenibilidad de estos polinizadores de importancia biocultural.

PREDICCIONES

Debido a los cambios culturales y económicos que desde hace algunas décadas han transformado la vida rural de México, especialmente del occidente mexicano, es posible que los conocimientos ecológicos locales y las prácticas de manejo asociados a las abejas sin aguijón del estado de Michoacán estén en un proceso de deterioro u olvido. Así también, es posible que la percepción actual de la diversidad y abundancia de abejas sin aguijón indique una disminución y pérdida para muchos sitios en todo el estado de Michoacán.

Debido a que el estado de Michoacán presenta diversos tipos de vegetación y climas, se espera que el ensamble de la comunidad de abejas sin aguijón sea diferente en cada tipo de vegetación y clima. Además, se considera que alguna de las especies son endémicas, pues los bosques templados del sistema volcánico transmexicano y la sierra madre del sur así como los bosques tropicales secos en sus diferentes variantes de la depresión del Balsas y la zona costera son regiones con endemismos biológicos.

Asimismo, las dinámicas de intensificación del uso de la tierra en el occidente mexicano (agricultura intensiva y expansión de ganadería), ha propiciado la pérdida de hábitat, el uso de agroquímicos y otras acciones que han afectado la biodiversidad nativa, especialmente a las abejas, por lo que se espera que las poblaciones de algunas especies de abejas sin aguijón estén diezmadas, especialmente en áreas altamente transformadas.

ESTRUCTURA DE TESIS

Esta tesis se presenta bajo la modalidad de artículos científicos, por lo que en la primera sección se exhibe una introducción general donde se plasma el marco teórico y conceptual, además del planteamiento general del problema que se aborda, las predicciones del estudio, preguntas para este proyecto de investigación y los objetivos del mismo.

Para el segundo apartado, se describe parcialmente los aspectos metodológicos que incluyen la descripción general de la zona de estudio y de manera resumida los métodos empleados para cada capítulo-artículo de esta tesis. Los métodos y técnicas de trabajo de campo se describen a detalle en cada artículo publicado. Para la tercera sección se muestran los resultados, incorporándose los dos artículos ya publicados en las revistas arbitradas *Human Ecology* y *Biotropica*.

Tanto las preguntas formuladas en este trabajo como los objetivos, se indican con número superíndice al inicio a manera de referencia a qué artículo publicado de esta tesis corresponde. Es decir, las preguntas y objetivos con superíndice 1, corresponden al primer artículo científico y aquellos con superíndice 2, al segundo artículo publicado.

En la parte final se presenta la discusión, conclusiones y referencias bibliográficas.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¹ ¿Cuál es el conocimiento ecológico local (LEK) asociado a las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán?
2. ¹ ¿Cuál es la percepción local histórica y actual de la riqueza y abundancia de abejas sin aguijón en el estado de Michoacán?
3. ¹ ¿Cuáles son las prácticas de uso histórico y actual con las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán?
4. ¹ ¿Qué implicaciones tiene el manejo tradicional de las abejas sin aguijón en sus poblaciones silvestres?
5. ² ¿Cuál es la diversidad de abejas sin aguijón en el estado de Michoacán?
6. ² ¿Cómo es la composición de la comunidad de las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán?
7. ² ¿Cómo es la distribución espacial (nicho fundamental) de la comunidad de las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán?

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar las implicaciones socioecológicas del manejo local tradicional con las abejas sin aguijón, su diversidad y distribución, para generar información pertinente que coadyuve a desarrollar estrategias de conservación y aprovechamiento sostenible de estos insectos en el estado de Michoacán.

Objetivos particulares

1. ¹ Documentar el conocimiento ecológico local (LEK) asociado a las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán.
2. ¹ Registrar la percepción local de riqueza y abundancia de abejas sin aguijón histórica y actual en el estado de Michoacán.
3. ¹ Describir las prácticas de uso y aprovechamiento local tradicional históricas y actuales con las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán.
4. ¹ Analizar las implicaciones del manejo tradicional de las abejas sin aguijón en las poblaciones silvestres de estas abejas nativas en el estado de Michoacán.
5. ² Registrar la diversidad de abejas sin aguijón en el estado de Michoacán.
6. ² Analizar la composición de la comunidad de abejas sin aguijón en el estado de Michoacán.
7. Conocer la distribución espacial (nicho fundamental) de las abejas sin aguijón en el estado de Michoacán.

II.- ASPECTOS METODOLÓGICOS

Área de estudio general

Este estudio fue realizado en el estado de Michoacán de Ocampo, que está ubicado en el centro-occidente de México, con una superficie de 58,836 km², y se sitúa entre los 20°23'44" y 18°09'49" de latitud norte y los 100°04'48" y 103°44'20" de longitud oeste. Este territorio se ubica en las provincias geológicas denominadas Sierra Madre del Sur y Sistema Volcánico Transmexicano; siendo el magmatismo y el tectonismo los procesos que han dado forma al paisaje en la Sierra Madre del Sur, en la porción sur del estado hasta la costa (Bocco *et al.* 1999). Por lo tanto, el estado de Michoacán presenta una topografía muy accidentada con grandes elevaciones y amplias depresiones. En Michoacán se distinguen cinco grandes unidades naturales: Planicie Costera, Sierra Madre del Sur, Depresión del Balsas, Sistema Volcánico Transmexicano y Altiplanicie Mexicana (Bocco *et al.* 2001).

Los climas predominantes en Michoacán son templado con lluvias en verano en el Sistema Volcánico Transmexicano y las porciones elevadas de la Sierra Madre del Sur, y cálido seco con lluvias en verano en la Depresión del Balsas y la Sierra-Costa (Correa, 1974). En cuanto a vegetación, las zonas de mayor altitud presentan bosques de Oyamel (*Abies religiosa*), seguidas por bosques templados de pinos (*Pinus* sp.) y encinos (*Quercus* spp.), o mixtos de pino-encino. En zonas de altitud media entre los 1300 a 2000 metros de altitud, se pueden encontrar matorral subtropical y bosques subcaducifolios, para dar paso en las zonas más bajas correspondientes a la Depresión del Balsas y

zona costera a bosques tropicales secos, bosques espinosos, y matorral xerófilo (Rzedowski, 1986).

Las actividades económicas son diversas, siendo las actividades terciarias las principales (comercio, industrias manufactureras, servicios inmobiliarios). El sector primario de producción agropecuario y forestal es muy importante (INEGI 2016). Al igual que gran parte del país, varios de los ecosistemas del estado de Michoacán se encuentran fuertemente transformados, principalmente por actividades agrícolas y ganaderas (Mas *et al.* 2017).

El trabajo de campo de este estudio incluye varias localidades en la Cuenca del Balsas y la Sierra-Costa, que son las regiones donde están presentes las abejas sin aguijón (Figura 1). Los detalles de ubicación y área de estudio se presentan con más detalle en los capítulos respectivos.

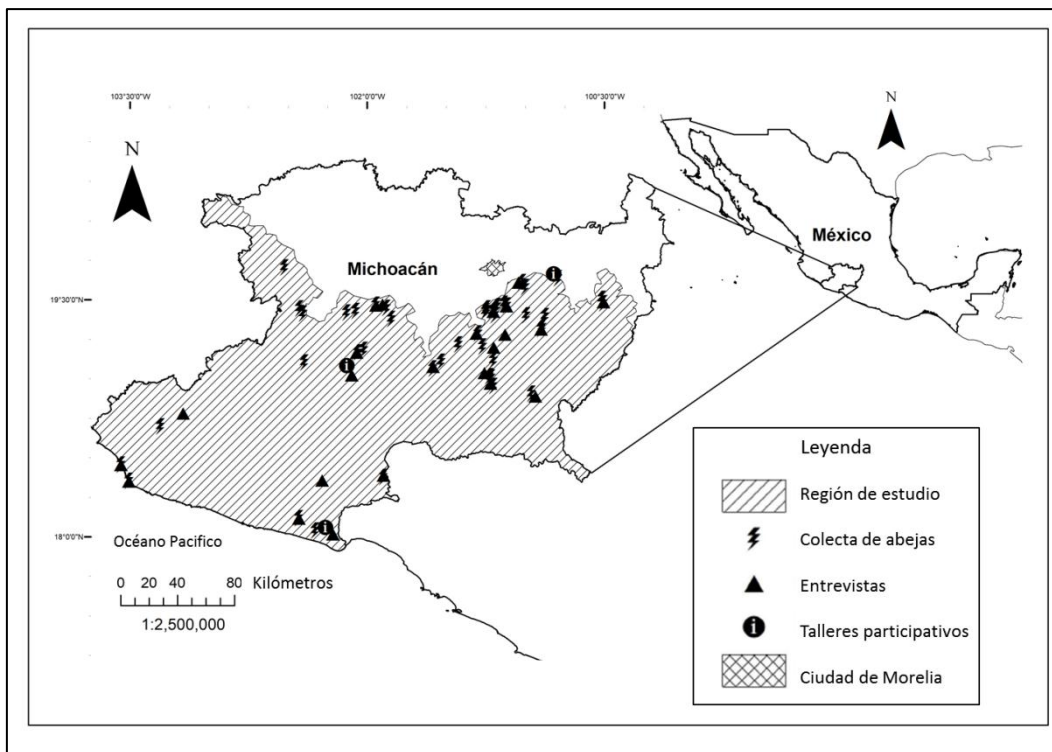


Figura 1.- Sitios donde se realizaron las colectas de abejas, entrevistas y talleres participativos en el estado de Michoacán.

Métodos

A continuación se presenta de manera abreviada los métodos empleados en los artículos que son resultados de esta tesis. En cada artículo se describe a detalle estos métodos.

Métodos del artículo de requisito: *Biocultural Diversity Loss: the Decline of Native Stingless Bees (Apidae: Meliponini) and Local Ecological Knowledge in Michoacán, Western México*

Este estudio se llevó a cabo en 43 localidades del estado de Michoacán. Para ello, se realizó una zonificación por criterios de similitud ambiental (aspectos biofísicos y socioeconómicos): 1) Balsas medio-alto; 2) Alto Balsas, 3) Tierra caliente, 4) Sierra-Costa, y 5) Oriente. La selección de sitios se consideró con base en dos criterios: la existencia de un experto local o “colmenero” con experiencia en abejas nativas y la autorización y acompañamiento de algún poblador o contacto local para acceder con seguridad a realizar el trabajo de campo.

Se usó métodos cualitativas para la recolección de datos, siendo estos la observación participante activa en los 43 sitios de visita, talleres participativos con “colmeneros” (personas expertas en extraer nidos de abejas sin aguijón) y la aplicación de 25 entrevistas semi-estructuradas a expertos locales. Las entrevistas se realizaron a personas mayores de 40 años y que en el pasado o actualmente recolectan nidos de abejas nativas.

También se realizó un muestreo intensivo de abejas sin aguijón en las áreas recomendadas por los informantes, utilizando la técnica de búsqueda directa (Sutherland 1996). Esto para compilar un inventario de abejas sin

aguijón y comprobar que fueran reconocidas y descritas por los expertos locales, para su posterior determinación taxonómica y la corroboración por un especialista, siguiendo la clasificación taxonómica de Camargo y Pedro (2013).

Métodos del segundo artículo: *Stingless bees (Apidae: Meliponini) at risk in western Mexico*

Se realizaron 43 sitios de colecta de abejas sin aguijón separados entre sí por al menos 5 km. (Figura 1). Los sitios se eligieron considerando las localidades donde había personas que nos acompañaron y permitieron hacer los recorridos de búsqueda de abejas. Estos sitios abarcaron un gradiente altitudinal desde los 2200 metros de elevación hasta la costa, en varios tipos de vegetación, climas y unidades geomorfológicas. Las abejas sin aguijón fueron colectadas por búsqueda directa, siguiendo la propuesta de Sutherland (1996), y empleando la técnica de captura con redes aéreas y aspiradores entomológicos. En cada sitio, dos personas buscaron abejas por un mínimo de cuatro y un máximo de seis horas consecutivas, en recorridos dentro de 2 km² aproximadamente. Las diferencias en el tiempo de búsqueda dependieron del número de especímenes de abejas observadas, si después de 4 horas no aparecían más ejemplares de abejas, deteníamos el muestreo en ese sitio. Los días de muestreo comenzaban entre 8:00 y 9:00 hrs dependiendo de las condiciones climáticas. En cada sitio, se muestreo donde la floración era evidente. También consideramos la información proporcionada por la población local sobre sitios con agregaciones de abejas, nidos de abejas y abrevaderos de agua y parches florales. Se realizó un solo periodo de muestreo para cada sitio entre febrero del 2018 y junio del 2019. Debido a que las abejas sin aguijón están activas durante todo el año, los muestreos se realizaron cuando

la flora se encontraba en floración según el tipo de vegetación y en días sin lluvia o vientos fuertes.

Los ejemplares de abejas se identificaron a nivel de especie utilizando claves taxonómicas (Ayala, 1999), y la clasificación propuesta por Camargo y Pedro (2013). La determinación de los especímenes fue corroborada en 2019, por el experto de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Dr. Ricardo Ayala Barajas.

Para este artículo se evaluó el efecto del clima y la vegetación en la composición de la comunidad de abejas sin aguijón utilizando un análisis de ordenación canónica (CCA) (Zuur *et al.* 2007). Se definieron cinco categorías climáticas siguiendo la clasificación de Köppen modificada por García a escala 1:1.000.000 (CONABIO, 1998) y tres categorías de vegetación (Palacio-Prieto *et al.* 2000; Bär *et al.* 2006). Para cada sitio de muestreo, se asignó una categoría climática y un tipo de vegetación. Los ensambles de abejas se caracterizaron usando datos de presencia/ausencia de especies. Con estos datos de presencia o ausencia y los análisis de correspondencia canónica, se obtuvo un mapa de distribución de las abejas sin aguijón encontradas en el estado de Michoacán. También se estimó la diversidad de especies de orden 0 (riqueza de especies) para cada categoría climática y tipo de vegetación, utilizando el estimador asintótico de especies "Chao", que da cuenta de las especies no observadas en función de los datos de incidencia (Chao *et al.* 2014). La estimación se realizó utilizando la función "iNEXT" en el paquete 'iNEXT' para R (Hsieh *et al.* 2020).

III.- RESULTADOS



Biocultural Diversity Loss: the Decline of Native Stingless Bees (Apidae: Meliponini) and Local Ecological Knowledge in Michoacán, Western México

Alejandro Reyes-González¹ · Andrés Camou-Guerrero² · Ek del-Val³ · M. Isabel Ramírez⁴ · Luciana Porter-Bolland⁵

Published online: 3 August 2020

© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2020

Abstract

Local ecological knowledge (LEK) is of utmost importance for biodiversity conservation; however, a number of studies document the loss of LEK regarding native bees. Stingless bees (Apidae: Meliponini) are important pollinators that have been managed by humans in all tropical areas of the world. Our work documents the decline of Meliponini and associated LEK in the state of Michoacán, western Mexico, as well as local historical management and perceptions of the diversity and abundance of bees. Through ecological sampling, semi-structured interviews, and participant observation, we established the presence of 13 species of Meliponini and recognition of 23 local names. Although stingless bees' pot-honey is harvested directly through extraction of wild nests, local knowledge about bee diversity, behavior, and use can contribute to their conservation. Because of recent access to manufactured products and the scarcity of wild nests, LEK and pot-honey harvest are being abandoned and forgotten in some areas. Maintaining LEK is important in designing sustainable use strategies to prevent the extinction of wild nests and allow conservation of bees as well as the cultural legacy associated with them, essential in the context of a global decline of pollinators.

Keywords Stingless bee (Meliponini) decline · Pot-honey hunters · Erosion of local ecological knowledge · Qualitative data collection · Michoacán · Mexico

Introduction

Local ecological knowledge (LEK) refers to the accumulation of information, beliefs, and practices that a group of people or

communities have about the components, interactions, and processes regarding their environment during a specific period (Berkes 1999). This knowledge is transmitted through generations, both orally and through observation. It is fundamental for decision-making regarding the natural environment and the possible implementation of effective sustainable management strategies (Berkes *et al.* 2000; Berkes and Turner 2006). However, LEK that has persisted over many generations is declining in many communities as rapid social and economic changes occur globally (Leff 2004; Ehrlich *et al.* 2012; Aswani *et al.* 2018).

Throughout history, human societies have employed management and extractive practices that in some cases led to environmental conservation but in others to environmental damage or even destruction (Johannes 2002). It has been noted that communities may selectively conserve particular areas or resources, and that they may change or even abandon their conservation strategies over time (Berkes and Turner 2006). Thus, LEK is not static or immutable, but continuously changes or can be completely lost as new patterns of knowledge and technologies are adopted (Gómez-Baggethun *et al.* 2013).

✉ Luciana Porter-Bolland
luciana.porter@inecol.mx

¹ Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, 58190 Morelia, Michoacán, Mexico

² Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, 58190 Morelia, Michoacán, Mexico

³ Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. San José de la Huerta, 58190 Morelia, Michoacán, Mexico

⁴ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, 58190 Morelia, Michoacán, Mexico

⁵ Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A.C., Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya C.P. 91073, Xalapa, Veracruz, Mexico

One of the many changes associated with the current anthropogenic crisis associated with the loss of biodiversity worldwide is a dramatic decline in populations of animals that function as pollinators, especially insects and notably bees (Potts *et al.* 2016). Bees have been extensively studied and systematically documented around the world and are generally recognized to be seriously threatened. However, in some areas, such as the tropics of the Americas, more research is still needed on the conservation status of bees (Biesmeijer 2006; Potts *et al.* 2010, 2016).

Stingless social bees (Apidae: Meliponini) are considered critical pollinators of wild and cultivated vegetation in tropical and subtropical areas of the world (Heard 1999; Slaa *et al.* 2006). Globally, there are more than 400 species of Meliponini, with the largest number of species in the American continent (Michener 2007; Camargo and Pedro 2013). Besides the ecological benefits provided by pollination, bees have been part of the culture and livelihoods of many people who cultivate them under different management schemes, generally called meliponiculture (Crane 1992; Cortopassi-Laurino *et al.* 2006). Traditional management of stingless bees has a strong foundation in LEK (Quezada-Euán *et al.* 2018). There is evidence for meliponiculture in Mesoamerica even before the arrival of Europeans. Many cultures used the products of stingless bees (pot-honey, pollen, wax) for religious purposes, to enrich and complement their medicinal and food resources, and for diverse material uses (Crane 1992; Quezada-Euán *et al.* 2001; 2018; Cortopassi-Laurino *et al.* 2006). Although pot-honey is used as food and sweetener, it is valued mainly for its medicinal properties to treat eye infections, fractures, sprains, muscular pains, skin wounds, and respiratory and gastrointestinal diseases, among other disorders (Vit *et al.* 2004). Stingless beeswax has been used as a material for the preparation of molds used in the manufacture of ornaments and gold figurines since before the arrival of the Spaniards in Mexico (Schwarz 1945), and also for candlemaking, fashioning ornamental figurines for different community festivities, and as glue and a natural sealant (Schwarz 1945; Bennett 1964; Reyes-González *et al.* 2014; Vargas *et al.* 2014).

In Mexico there are 46 species of stingless bees (26% endemic; Ayala 1999), and up to 20 species are used in the practice of meliponiculture throughout the country (Reyes-González *et al.* 2016), historically among some indigenous and mestizo groups, mainly in the regions of the Gulf of Mexico, and southeastern Mexico, including the Yucatan Peninsula (Porter-Bolland *et al.* 2015; Arnold *et al.* 2018; Quezada-Euán *et al.* 2018). Recently efforts have been made to support these traditional practices as well as to implement contemporary management strategies to mitigate harm to bee populations.

In the low and warm lands of western and northern Mexico, historical records and recent studies document management of

stingless bees under different schemes, ranging from the extraction of pot-honey and wax from wild nests to areas where controlled breeding and reproduction is common (Hendrichs 1941; Kent 1984; Dixon 1987; Reyes-González *et al.* 2014). However, there have been few studies of meliponiculture in these areas. Penninton (1963), Bennett (1964), and Kent (1984) reported the management of stingless bees is a frequent practice in northern states of Sonora, Sinaloa, and Chihuahua. Penninton (1963) reported on pot-honey extraction from stingless bees' wild nests by indigenous Tarahumara groups in Chihuahua, the northernmost location of stingless bee management in the Americas. Other studies report the use and breeding of stingless bees in the western-central state of Nayarit, where hollowed trunks and cylindrical containers with special ornaments were used to house stingless bee nests (Nordenskiöld 1929; Crane 1999). A more recent study also in western-central Mexico, on the coast of Jalisco, documented LEK related to stingless bee management involving nest extraction (Contreras-Escareño *et al.* 2019).

In Guerrero state in southwest of Mexico some communities located along the Balsas River contributed pot-honey and wax to the Aztec empire (Borah and Cook 1960; Dixon 1987). During the twentieth century, the indigenous Nahua inhabitants of the Balsas River basin still practiced stingless bees management, moving trunks of trees with nests into their homes (Hendrichs 1941; Dixon 1987). These Nahua communities, experts in the management of stingless bees, were locally called *mieleros* (pot-honey hunters). However, Dixon (1987) reported that stingless bee management was disappearing and only persisted in some sites as a hobby, being replaced by honey beekeeping (*Apis mellifera*).

Kent (1984) listed several sites in the western state of Michoacán where stingless beekeeping was practiced, including an indigenous Purepecha locality where, in 1948, he found native bees nesting in tree trunks. More recently, Ayala *et al.* (2013) reported ten stingless bee species for Michoacán state. Reyes-González *et al.* (2016) documented the presence of nine species in only two municipalities of central Michoacán, and reported that local informants recognized eleven species.

Management of native bees in indigenous and mestizo communities is based on LEK, which may be vulnerable to erosion and loss, making research and documentation of the socio-ecological system where humans and native bees interact vital, especially in regions like western Mexico, where there is little available data. Preserving the diversity of native bees and the environmental services they provide is important for local ecosystem integrity and inhabitants' wellbeing, but, in light of the current pollinator crisis, is also critical globally. LEK is a fundamental aspect of biocultural processes contributing to the implementation of conservation strategies for this vulnerable group of insects.

We document the current presence of stingless bee species in Michoacán, a region with a significant presence of

Meliponini, as well as the LEK associated with their use, local names, behavior, forms of recognition, traditional management practices, and the implications of this management. In addition, we recorded local perceptions of historical diversity and abundance of native bees, as well as the changes in traditional uses of these bees.

Methods

Study Area

This study was carried out in the tropical environments of Michoacán state in western Mexico (Fig. 1), including the low-altitude regions of the Pacific coast to the base of the mountains of the Trans-Mexican Volcanic System. In the low altitudes (0 to 1300 m), there are two climate types: warm sub-humid to warm arid with an annual average temperature of 22 °C, and semi-warm sub-humid with an annual temperature higher than 18 °C. In the higher elevations (1300 to 2000 m), the climate is temperate sub-humid, with annual average temperatures between 12 and 18 °C. In all areas, the rainy season occurs during the summer (CONABIO 2001). Vegetation of warmer areas are tropical dry forests, xerophytic scrublands, and mangrove along the coast. The higher elevations have mixed oak-pine forests and other temperate conifers forests (INEGI 2015).

We conducted our research in five established zones: 1) *Medium-high Balsas*, which is covered by mixed forest pine-oak vegetation and tropical dry forest inhabited by a mestizo population whose livelihoods are based on forest management, rainfed agriculture, and extensive cattle raising. 2) *High Balsas*, which is covered by highly fragmented mixed

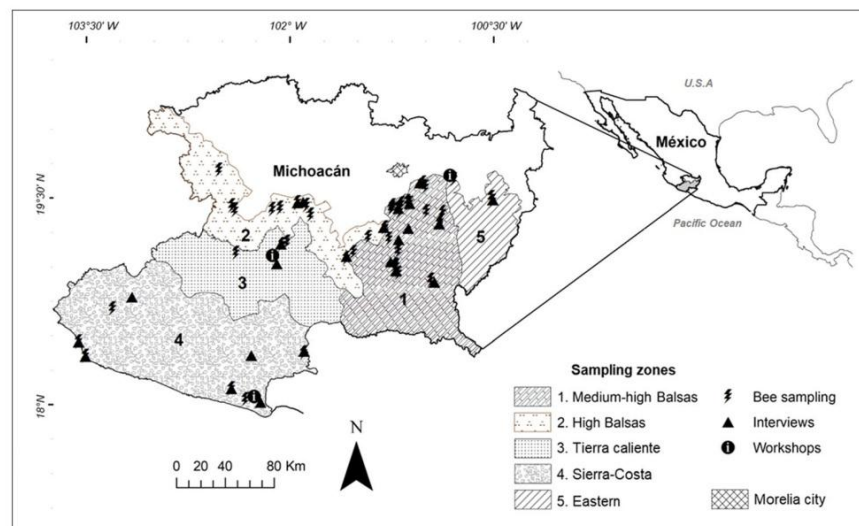
pine-oak forest, avocado plantations, and rainfed crops. The majority of the population is mestizo, but there are some indigenous Purepecha communities. The main economic activity is intensive avocado production. 3) *Tierra caliente*, where the dominant vegetation is tropical dry forest and xerophytic scrublands, which are now under extensive agriculture. The mestizo population's economy is based on intensive irrigation agriculture (lemon, cucumber, and melon, among others), and intensive livestock rearing. 4) *Sierra-Costa*, where the predominant vegetation is tropical dry forest, mixed pine-oak forest at the top of the mountains, and mangrove in the southern part of the coast. The population is mostly mestizo, but there are some localities on the coastline inhabited by indigenous Nahuatl. The main economic activities are extensive cattle ranching, which has transformed vast areas from tropical dry forest to grasslands, and tourism and rainfed agriculture in the coastal zone. 5) *Eastern*, where the mountains are covered by mixed pine-oak forests and tropical dry forests. The population is mestizo with economic activities related to forest management, rainfed agriculture, and extensive cattle ranching.

We conducted research in 43 localities chosen on the basis of two criteria: 1) the existence of a local expert or beekeeper with extensive experience of native bees; and (2) access and security clearances for conducting research necessary in this part of the country.

Qualitative Research and Stingless Bee Ecological Sampling

We adopted a qualitative approach for data collection, using participant observation, workshops, and semi-structured interviews. We conducted three workshops with stingless bee hunters, beekeepers who managed *Apis mellifera*, and others

Fig. 1 Study area: geographic zones for stingless bees sampling, and documenting LEK



interested in stingless bees. These workshops served to document LEK, local perceptions regarding bee diversity and abundance, and the history of management of stingless bees. We also conducted participant observation visits with local informants who collect wild stingless bees.

The majority of qualitative data were obtained from 25 semi-structured interviews we conducted with local experts who in the past or currently collect native bee nests, aged between 40 and 85, and (an average of 65 years). The interview consisted of 28 questions organized in three sections: 1) local knowledge about stingless bees (names of recognized species, anecdotal stories or beliefs related to bees, how to recognize bees and their morphological characteristics, habits of bees and characteristics of nests, spatial and temporal distribution of Meliponini); 2) harvesting and use of stingless bees (including stingless bee management techniques, preferred species, abundance, and preparation and use of bee products); and, 3) perceptions of historical management, diversity, and abundance of bees, causes and factors of abundance or current decline, future of the traditional practices, and extent of interest in modern techniques for harvesting. The interviews were not time limited, ranging from 20 min to three hours, with an average of one hour and 20 min. We analyzed the interviews to identify key words and phrases in each of the three sections (Taylor and Bogdan 1987). We used the mention index (MI) technique to ascertain the relevance of each category of responses to calculate the proportion of mentions of a specified category divided by the total number of interviews (Camou-Guerrero *et al.* 2008).

We undertook extensive sampling in areas recommended by informants in the different geographical zones using the direct search technique to compile an inventory and taxonomic determination of stingless bees (Sutherland 1996) (Fig. 1). We also collected bee specimens with aerial net and entomological aspirator for identification by informants and subsequent taxonomic determination by a specialist made according to Camargo and Pedro (2013). Part of the specimen collection was deposited in the Biological Collection of Invertebrates of the Estación de Biología Chamela, UNAM.

Results

Local Names and Stingless Bee Recognition

Responses from our informants indicated that LEK was specific to the different geographical zones of the state. We recorded 23 local names for stingless bees, including stick hives, stick honey bees, bush hives, or bees that do not sting (*colmenas de palo*, *abejas de miel de palo*, *colmenas de monte* or *abejas que no pican*). Some species have different names in different zones (Table 1). We were able to corroborate the taxonomic identity of 13 species in the genus *Plebeia*, of

which six have nesting characteristics and foraging habits that render them especially suitable for meliponiculture (*Frieseomelitta nigra* Cresson, *Melipona fasciata* Latreille, *Melipona lupitae* Ayala, *Nannotrigona perilampoides* Cresson, *Plebeia fulvopilosa* Ayala, and *Scaptotrigona hellwegeri* Friese).

In some large areas, such as zones 2 (*High Balsas*) and 3 (*Tierra caliente*) that have extensively modified their landscapes due to agricultural activities and urban expansion, local experts reported an average of three bee species that are no longer used, whereas in areas with lower density populations and less intensive land use of shifting cultivation and ranged cattle (zones 1, 4, and 5), local experts reported an average of six species no longer used. In these latter zones, local knowledge and traditional management practices are deeply rooted and widely used, and informants' responses indicated that local communities still know a range of uses for pot-honey and wax for medicinal purposes even although they currently use native bees only occasionally. Interviewees described bees' morphological characteristics, bees' behavior, and nesting patterns, which allow them to differentiate Meliponini (Table 2).

The most widely reported bee was *S. hellwegeri*, locally referred along the Balsas basin as *abeja bermeja* (76% of local experts), and *abeja alazana* (24% of informants) in the *Sierra-Costa* (zone 4). This bee is easily recognized by its reddish color and defensive behavior. The second most cited bee was *F. nigra*, known as the *abeja zopilota* by 92% of local experts and is recognized by its white tip wings, and in third place was *G. acapulconis*, with 64% of citations. The least cited bee species (4%) were more difficult to collect and the taxonomic identity of only two species was corroborated (*T. fulviventris* and *T. pipioli*). We have not yet determined the taxonomic identity of the remaining four locally named bees (Table 2).

With regard to informants' perceptions of bee abundance, the most mentioned were *S. hellwegeri* (56%) followed by *N. perilampoides* (24%). Local experts' perceptions indicated the rarest and least populous species of bees were *M. fasciata* (44%) followed by *M. lupitae* (20%) (Fig. 2).

Sixty percent of local experts reported that stingless bees are more frequently sighted in the autumn flowering seasons, as they are "looking for food in the flowers," while 32% reported they are easier to see when they look for water and there is less vegetation in the dry season (*secas*) from March to May. Other interviewees indicated that in the past stingless bees were frequently sighted all year round. Their current scarcity makes it more difficult to observe them. Regarding their preferred food sources, all the local experts mentioned that stingless bees visit any plant and tree with flowers, although each has a different perception of the most abundant plant species depending on the specific zone vegetation type and the season.

Table 1 Local names mentioned for stingless bees related to geographic zone and vegetation type

Number	Scientific name	Local name	Zones*	Vegetation type**
1	<i>Scaptotrigona hellwegeri</i> Friese	Abeja bermeja	1,2,5	a,c
2		Abeja alazana	3,4	c
3	<i>Melipona fasciata</i> Latreille	Colmena real	1,2,3,5	b
4	<i>Frieseomelitta nigra</i> Cresson	Abeja zopilota	1,2,3,4,5	a
5	<i>Geotrigona acapulconis</i> Strand	Colmena de tierra	1,2,5	a,b,c
6		Abeja prieta de tierra	3,4	a,b,c
7	<i>Lestrimelitta chamelensis</i> Ayala	Abeja limoncilla	1,2,3,4,5	a,b,c
8	<i>Partamona bilineata</i> Say	Abeja esculcona	1,3,4	b
9		Abeja mordelona	5	b
10		Katzambe	2	b
11	<i>Trigonisca pipioli</i> Ayala; <i>Plebeia</i>	Abeja cepimilla	1	a
12	<i>moueana</i> Ayala; <i>Plebeia frontalis</i> Friese	Abeja ojuela	4	c
13	<i>Nannotrigona perilampoides</i> Ayala	Abeja trompetera	1,2,	b,c
14		Abeja trompilla	3,4	c
15		Abeja humilde	5	b
16	<i>Melipona lupitae</i> Ayala	Abeja pintilla	1,3,4	a,c
17	<i>Plebeia fulvopilosa</i> Ayala	Abeja sapita	1,2	b
18	S/D	Abeja prieta esculcona	1	a
19	<i>Trigona fulviventris</i> Guérin	Abeja chamacuera	4	c
20	S/D	Abeja frijola	4	c
21	S/D	Abeja negra culo de caballo	4	c
22	S/D	Abeja chaninda	3	a
23	S/D	Abeja tindacha	3	a

*Zones: 1. Medium-high Balsas zone; 2. High Balsas zone; 3. Tierra caliente zone; 4. Sierra-Costa zone; 5. Eastern zone

**Vegetation type: a. Tropical dry forest; b. Mixed pine-oak forest; c. Tropical dry forest and mangroves

In general, interviewees reported stingless bees are found in forests with mature trees, while a few interviewees mentioned that the *colmena real* (*M. fasciata*) is found almost exclusively in *encinos* and *tocuz* trees, both species of the genus *Quercus* (oak). In warmer areas, some interviewees commented that *colmena pintilla* (*M. lupitae*) prefers to nest in *chucumpuz* (*Cyrtocarpa* sp.) trees. Informants did not mention any special nesting preferences regarding tree species for any of the other nest building species. Although they noted that any hollow tree logs are suitable for stingless bees to establish their nest, the most mentioned preferred tree species are *encino* and *tocuz* (*Quercus* sp.), *parota* (*Enterolobium* sp.), *pinzan* (*Pithecellobium* sp.), *ceiba* (*Ficus* sp.), *chucumpuz* (*Cyrtocarpa* sp.), *cansangues* (possibly *Apoplanesia* sp.), *tepehuaje* (*Lysiloma* sp.), and *cuerámo* (*Cordia* sp.).

Regarding LEK of predators or other animals that affect Meliponini populations (Fig. 3), overall badgers (*Nasua narica*) were the most mentioned (68% of the interviewees). In the Sierra-Costa zone, the anteater (*Tamandua mexicana*) was cited as a natural predator that consumes both bees and

pot-honey. Among insects, ants (*Formicidae*) were the most mentioned (36%) as bee predators. Only one interviewee mentioned that the stingless bee *abeja limoncilla* (*L. chamelensis*) invades and robs other bees' nests.

Management and Use of Stingless Bees

Most interviewees (84%) reported that their parents and grandparents taught them all they know related to native bees, including how to manage them. The remaining 16% reported learning from other relatives, such uncles, or other knowledgeable individuals in their communities. The majority of informants argued that currently, the young people of their communities are unfamiliar with these insects, indicating that the generational transmission of local knowledge is being lost. All the local experts considered that bees are beneficial both for the products they provide and because they do not sting.

In the state of Michoacán beekeepers, generally men, either totally or partially extract pot-honey, pollen, or wax from nests in the wild (Fig. 4) and are known locally as *colmeneros* (pot-

Table 2 Local knowledge of stingless bees in Michoacán related to behavior, morphology, nesting and uses

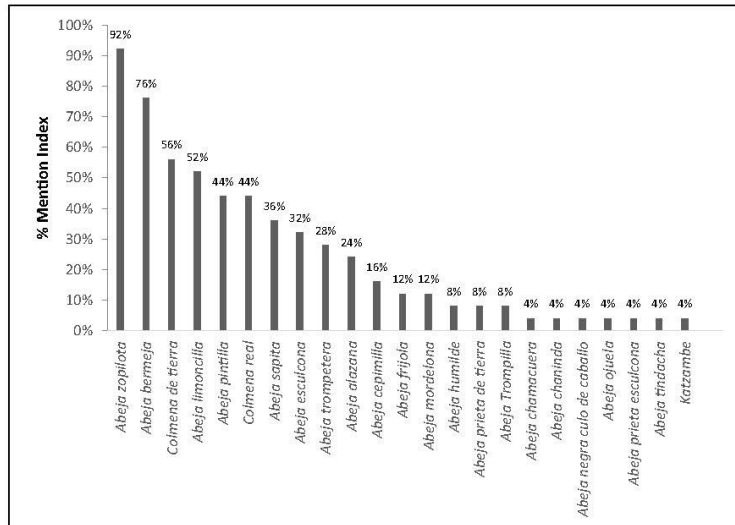
Num	Local name	Scientific name	Behaviour	Morphology	Nesting	Uses*
1	Abeja bermeja	<i>Scaptotrigona hellwegeri</i>	Defensive (gets tangled in hair and bites)	Medium, intense reddish bee	Hollow tree trunks	H, W, P
2	Abeja alazana	Friese				
3	Colmena real	<i>Melipona fasciata</i> Latreille	Defensive (gets tangled in hair and bites)	Large, Apis-like, hairy bee	Hollow tree trunks	H, W, P
4	Abeja zopilota	<i>Frieseomelitta nigra</i> Cresson	Docile	Medium, dark shiny bee with white wingtips	Hollow tree trunks, rocks, ground, wooden posts, house walls	H, W, P
5	Colmena de tierra	<i>Geotrigona acapulconis</i> Strand	Very docile	Medium, completely dark bee	Ground	H, W,
6	Abeja prieta de tierra					
7	Abeja limoncilla	<i>Lestrimelitta chamelensis</i> Ayala	Docile, attacks other bees	Small bee, with a lemon scent	Hollow tree trunks	H, W,
8	Abeja esculcona	<i>Partamona bilineata</i> Say	Defensive (gets tangled in hair and bites)	Medium, completely dark bee	Exposed nests (in abandoned termite and parrot nests), occasionally hollow tree trunks	H, W,
9	Abeja mordelona					
10	Katzambe					
11	Abeja cepimilla	<i>Trigonisca pipioli</i> Ayala;	Docile, likes people's sweat	Very small bee	Hollow tree trunks, very small nest	H
12	Abeja ojuela	<i>Plebeia frontalis</i> Friese; <i>Plebeia moureana</i> , Ayala				
13	Abeja trompetera/	<i>Nannotrigona</i>	Very docile	Small bee	Hollow tree trunks, entrance to the nest is a wax trumpet	H, W, P
14	Abeja trompilla	<i>perilampoides</i> Cresson				
15	Abeja humilde					
16	Abeja pintilla	<i>Melipona lupitae</i> Ayala	Docile	Large, Apis-like, abdomen with stripes	Hollow tree trunks, cavities between trunks and the ground	H, W, P
17	Abeja sapita	<i>Plebeia fulvopilosa</i> Ayala	Very docile	Small, completely dark bee	Hollow tree trunks	H, W, P
18	Abeja prieta esculcona	(Not collected)	Defensive (gets tangled in hair and bites)	Medium, completely dark bee	Ground	H, W,
19	Abeja chamacuera	<i>Trigona fulviventris</i> Guérin	Occasionally Defensive	Medium bee, orange-colored abdomen	Ground (visible, wide, and shiny trumpet-shaped entrance to nest)	W
20	Abeja fijola	(Not collected)	Docile	Medium bee, grey with white stripes in the abdomen	Stones, sometimes hollow trees trunks	H, W, P
21	Abeja negra culo de caballo	(Not collected)	Defensive (gets tangled in hair and bites)	Large, completely dark bee	Ground (wide trumpet-shaped entrance to nest)	H
22	Abeja chaninda	(Not collected)	Docile	Medium bee, with white wingtips	Hollow tree trunks, stones, ground, wooden posts, house walls	H
23	Abeja tindacha	(Not collected)	Defensive (gets tangled in hair and bites)	Medium, completely dark bee	Ground	H

*Uses: H: Pot-honey; W: Wax; P: Pollen

honey hunters). *Colmeneros* we interviewed mentioned that according to the bee species, they obtain one, two, or all three products (Table 2).

Only two interviewees reported having tried in the past to maintain trunk-nests in their homes to harvest these products regularly. An elderly interviewee from the *Sierra-Costa* zone

Fig. 2 Mention Index of local names of known stingless bees in Michoacán state



noted that more than 50 years ago, some people hollowed out *bules* (*Lagenaria siceraria*) to maintain *S. hellwegeri* nests. They both observed that after a while the bees would abandon these nests.

The extraction of stingless bee products from the wild occurs either fortuitously, when nests are located while *colmeneros* are engaged in other activities but are able to extract them; or when they organize trips with the sole purpose of searching for nests, which is called *colmenear* (pot-honey hunting). The practice of deliberately searching for bee nests was more frequent in some localities 40 to 50 years ago. Simple hand tools such as axes and machetes were used to open the bark of trees to extract the bee products. More recently, chainsaws are also used. Nests in the ground are dug up with tools such as shovels, picks, and a mini-spade for digging *chuzos* (Fig. 4).

Eighty percent of informants reported that extraction of bee products usually takes place after autumn flowering, from

October to December, when the beehives have more pot-honey. Other local experts (12%) declared that the best time to obtain pot-honey is in the dry season, from March to April, when it is ripe. Another group of interviewees stated that they did not have a preferred season to extract pot-honey or wax.

The work of harvesting bees' nests is usually undertaken by two people without protective equipment as the bees do not sting. Some interviewees reported that it is common to fell an entire tree to obtain both the bee products and wood. Four interviewees noted that in the past when they harvested products they recovered nest with woody remains so that the bees could continue using it. Nevertheless, they observed that after products were harvested from nests, the bees abandoned the nest or became easy prey to other animals, such as badgers, opossums, and ants.

Interviewees reported that they get an average of 2 l of pot-honey and up to 3 kg of wax from an *S. hellwegeri* nest and 2–3 l of pot-honey and up to 4 kg of wax from *M. fasciata* nests.

Fig. 3 LEK about animals that predate or harm stingless bees in Michoacán state

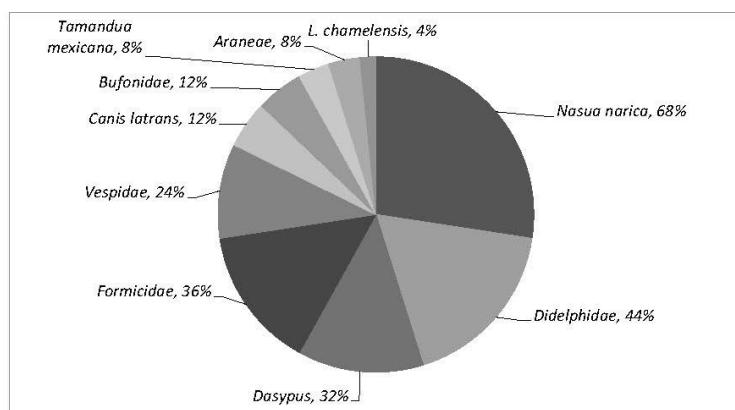


Fig. 4 Traditional management of stingless bees in Michoacán, Mexico. a) Extraction of a wild nest of *Melipona fasciata*; b) Extraction of a wild nest of *Melipona lupitae* Ayala, in a *Cyrtocarpa sp.* tree; c) Extraction of *Scaptotrigona hellwegeri* Friese, in the base of a dead tree; d) Extraction of *Nannotrigona perilampoides* Cresson, nest located in a cavity between a rock and the ground



F. nigra and *N. perilampoides* produce approximately 1 l of pot-honey and up to 1.5 kg of wax per nest. Generally only wax is extracted from ground nesting species, with 12% of interviewees noting that eating pot-honey from ground-nesting hives causes vomiting.

There are diverse local names for nests. Brood nests are *mazorca de huevera*, *hijos*, *agrios* o *enjambre*; pot-honey storage pots are *mazorca de miel*, *tarritos* o *guajitos*; stingless beeswax is known as *cera* or *cera de Campeche*; pot-honey is *miel virgen* (virgin honey) or simply *miel* (honey); and, pollen is *pasacuareta* or *tamalillo*. For the Nahuas of the *Sierra-Costa* zone the word *pasacuareta* means “something scrambled or mixed.”

Stingless bee products are harvested mainly for self-consumption, and occasionally to sell the beeswax. As noted earlier, pot-honey is used for food and medicinal purposes. Only 12% of interviewees described ways of mixing pot-honey with other ingredients for medicinal uses, all from zones 1 and 4.

Four informants reported that pollen is only consumed when it tastes sweet; when it is sour or consumed in excess it causes vomiting. Wax is used to make traditional candles and to seal or glue other local home utensils, such as pots (*guajes* and *bules* made of *Lagenaria siceraria* gourds) to store water.

About 40 to 50 years ago when synthetic commercial materials were not available, wax was traded for grafting fruit trees and for candle production. Most local experts explained that the production of candles was the domain of women.

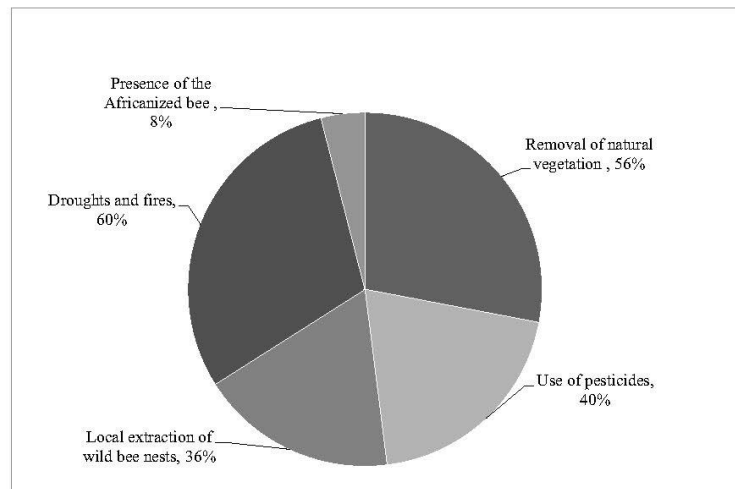
Pot-honey of *S. hellwegerii* was the most mentioned for medicinal uses (68% of interviewees), perhaps because it is the best-known bee, including for eye diseases, such as cataracts and pterygium (surfer’s eye) (60%), for which *F. nigra* and *N. perilampoides* are also very effective, although pot-honey from any species can be used for these treatments. Pot-honey is also used to treat disorders related to the respiratory tract, such as cough, asthma, and sore throat (44%), usually through direct consumption or combined with citrus, mainly lemon. Six people mentioned that pot-honey combined with alcohol or mezcal is an excellent remedy for cough and chest pain, and 32% noted that direct application can also treat abdominal cramps, sprains, fractures, body bumps, burns, and skin wounds. Two interviewees remarked that, for burns, sprains, and fractures, Meliponini wax could be mixed with pot-honey and placed over the affected area.

Perceptions of Diversity and Abundance of Stingless Bees

Only two interviewees mentioned that, as far as they remembered, stingless bees’ abundance has remained the same as in the past. The remaining interviewees reported perceiving a notable decrease in the quantity and diversity of Meliponini citing several causes driving the decline (Fig. 5).

In zone 1 (*Medium-high Balsas*), informants reported a notable decrease of bees after the 1990s and that some species, such as *M. lupitae*, *L. chameleensis*, are no longer seen. In zone 4 (*Sierra-Costa*), informants reported that the decrease of

Fig. 5 Causes of stingless bees decline mentioned by local experts



native bees has occurred since 1980–1990 and that *abeja frijola* (species not collected), known only in this zone, is “almost extinct.” We were unable to corroborate the taxonomic identity of this bee because we did not find a single specimen. For zone 2 (*High Balsas*), informants attributed the decreased abundance and presence of stingless bee species, but especially of the *colmena real* (*M. fasciata*), to the expansion of avocado cultivation. According to interviewees, they began to observe fewer stingless bee species up to 40 years ago. All interviewees reported that stingless bee species are more abundant in the highest parts of the mountains and hills, locally called *cerros*, as well as in ravines (*barrancos*), where less anthropogenic disturbance has occurred.

Most of the local experts interviewed (72%) expressed the opinion that these bees will disappear because they are becoming scarcer every day. They also stated that it is “sad and serious,” because they will no longer be able to harvest their products, nor will the younger generations recognize these bees or be familiar with their products. Some mentioned the importance of stingless bees for pollination.

The remaining 28% were more optimistic, and they said that they considered an increase in stingless bees’ abundance is likely. They stated that many deforested areas are recovering, and local inhabitants are no longer extracting wild nests because young people do not recognize these bees and are not interested in bee management. They did not know or have an opinion about what the consequences of their disappearance might be.

Discussion

The 13 species of Meliponini we identified through this research represent 35% of the total number of stingless bee species reported for Mexico, highlighting the importance of

Michoacán state in maintaining Meliponini diversity. This number is higher than the nine and ten stingless bee species previously reported for Michoacán by Reyes-González *et al.* (2016) and Ayala *et al.* (2013), respectively. However, Meliponini diversity of this region may be greater, requiring a more extended and intensive sampling effort. For example, besides the use of entomological aspirator and aerial nets we used, there are other techniques such as pan-traps or Malaise traps that could provide complementary data to improve understanding of the richness and diversity of these insects.

Of the 23 species of stingless bees locally named, we were unable to scientifically identify five since not a single nest or specimen was found. The remaining 18 common local names, some of them synonyms, correspond to 13 identified species. This number is much higher than the 11 local names reported for only two municipalities of the *Medium-high Balsas* zone (Reyes-González *et al.* 2014, 2016), and the nine local names registered for two mestizo localities on the Jalisco coast in western México (Contreras-Escareño *et al.* 2019). However, it is lower than the approximately 150 local names in nine indigenous languages and 35 species of Meliponini recently found in the state of Oaxaca (Arnol *et al.* 2018).

Two of the Meliponini species in Michoacán, *P. bilineata* and *N. perilampoides*, are notable because each has three different local names. In the *Sierra-Costa* zone, most stingless bees have local names that differ from those in other Michoacán geographic zones. In the *High Balsas* zone, three local names for stingless bees in the Purepecha language are registered for the first time: *katzambe*, *chaninda*, and *tindacha*. *Katzambe*, identified as *P. bilineata*, means “the one that bites,” reflecting its defensive biting behavior allowed by its strong mandibles.

The most frequently mentioned and best-known bees are *S. hellwegeri* and *F. nigra* and they inhabit only the dry tropical forest (Reyes-González, in preparation), which is the most

extensive vegetation type in the state of Michoacán. The next most mentioned bee species are *G. acapulconis*, *L. chamelensis*, and *N. perilanpoides*, which are widely distributed in all geographic zones.

The two bee species local informants perceived as rare are of the *Melipona* genus. This genus is particularly important as it includes the largest number of bees with potential for meliponiculture management (Quezada-Euán 2018).

LEK on stingless bees is, unfortunately, at high risk of being lost because it is held primarily by the older generation. The local experts (*colmeneros*) who assisted us in this research were always the most older individuals. When questioning younger informants about stingless bee populations and management, their responses frequently indicated disinterest if not almost total ignorance, particularly in the areas of major landscape transformations. This crisis in generational transmission of knowledge related to native bees in rural communities of Michoacán is recognized by the villagers but not considered to be of major concern. Further research using other techniques for obtaining qualitative information, such as focus groups, group interviews, and life stories, could complement and deepen our understanding of LEK about stingless bees' management.

LEK loss related to native bees is also occurring in other regions of tropical America (Stearman *et al.* 2008; Quezada-Euán *et al.* 2018) as a consequence of cultural and economic changes driven by globalization (Gómez-Baggethun *et al.* 2013; Lyver *et al.* 2014; Aswani *et al.* 2018), which our results indicate also contribute to loss of local knowledge of bees in the rural communities of Michoacán. This is notably the case in some municipalities in the *High Balsas* and *Tierra Caliente* zones, which have suffered extensive transformations of their natural landscapes (Mas *et al.* 2017). In these zones, stingless bee products are no longer managed and extracted, and our data from this research indicate that LEK is on the verge of disappearing, as are bee populations of some species (Reyes-González in preparation). This loss of LEK and bee populations has already occurred in the Yucatan peninsula (Quezada-Euán *et al.* 2001; Villanueva-Gutiérrez *et al.* 2005; Villanueva-Gutiérrez *et al.* 2013) and in some other regions of the Americas (Quezada-Euán *et al.* 2018).

However, our study establishes that, in some areas of the state of Michoacán, traditional uses of stingless bee products continue, albeit infrequently. However, the lack of interest and knowledge of the younger generation, low demand for Meliponini products, and greatly reduced bee populations were cited by most of our informants as causes leading to abandonment of meliponiculture. Only two interviewees reported have tried in the past to raise native bees in hollow tree trunks. However, this practice has been reported for some Nahua communities of the Balsas basin in the neighboring state of Guerrero (Hendrichs 1941; Dixon 1987). Currently, in all geographic zones, some keepers of honey bees (*Apis*

mellifera) also keep some species of stingless bees with modern meliponiculture techniques (Reyes-González *et al.* 2016).

Despite the uncertain future of LEK related to bees in Michoacán, the extensive understanding and expertise that older generations retain regarding the morphological characteristics, habits, behavior, and nesting patterns of the bees' species present in their territory remain of great relevance. This is very important although traditional management techniques do not necessarily lead to the maintenance or growth of stingless bee populations, and the extraction of nests could adversely affect Meliponini populations severely (Kerr *et al.* 1999; Brosi 2009; Reyes-González *et al.* 2016). It is necessary to undertake awareness-raising actions about traditional management and disruptive practices that are harmful to stingless bees. Therefore, while efforts to retain LEK should be pursued, the adoption of modern techniques for extraction that do not imply the destruction of wild nests should be encouraged.

There is a widespread perception among our informants of a decrease in stingless bee populations in the state of Michoacán starting up to 40 years ago, caused mainly by climate-related changes and human activities. We argue that further research into the processes of local and regional loss of species and the associated LEK should be undertaken systematically, particularly in the tropical areas of the Americas (Brosi *et al.* 2008; Potts *et al.* 2016), as critical decline of bee populations is a phenomenon of global concern.

Conclusions

Our study contributes to knowledge about stingless bees' diversity in the tropical areas of western Mexico, and the associated LEK of rural mestizo and indigenous inhabitants of this region. This information is relevant in the context of the current global pollinator crisis. Knowledge is a key element to prevent further decline of both native bee populations and their biocultural legacy in the form of LEK and associated practices.

LEK will only persist if rural communities, particularly the younger generation, recognize the importance of these insects, particularly the ecosystem services they provide as pollinators to the economic, nutritional, and health outcomes of their communities.

Acknowledgements This paper is part of the PhD thesis of the first author. The first author gratefully acknowledges the Program in Sustainability Sciences, UNAM (Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México). Thanks to all informants and students who participated in the study for sharing their knowledge, hospitality, and assistance in fieldwork. Thanks also to two anonymous reviewers and to Ludomir R. Lozny for extensive editing.

Author Contributions All authors contributed to the study conception and design. Bees sampling, material preparation, data collection, and

analysis were performed by Alejandro Reyes-González. The first draft of the manuscript was written by Alejandro Reyes-González, and all authors commented on and edited different versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding Information This study was funded by Rufford Small Grants (24084–1) of The Rufford Foundation and by project “Saberes ambientales para la cogeneración de estrategias de manejo sustentable de socioecosistemas” (PAPIIT IN308418). Also, the first author received a graduate studies scholarship from Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) (489580).

Compliance with Ethical Standards

Conflict of Interest The authors declare that they have no conflict of interest.

Informed Consent Following the respective institutional ethics protocols, full informed consent was obtained from all participants in the study.

References

- Arnold, N., Zepeda, R., Vásquez-Dávila, M. and Aldasoro-Maya, M. (2018). Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México: con catálogo de especies. El Colegio de la Frontera Sur, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Rémy Benoit Marie Vandame, San Cristóbal de Las Casas.
- Aswani, S., Lemahieu, A., and Sauer, W. H. (2018). Global trends of local ecological knowledge and future implications. *PLoS ONE* 13(4): e0195440. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195440>
- Ayala, R. (1999). Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomológica Mexicana* 106: 1–123.
- Ayala R., González V., and Engel, M. (2013). Mexican stingless bees (Hymenoptera: Apidae): diversity, distribution, and indigenous knowledge. Vit P, Pedro-Silvia RM, Roubik D. (ed). *Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bees*. Springer, New York, pp. 135–152.
- Bennett, C. F. (1964). Stingless beekeeping in western Mexico. *The Geographical Review* 54: 85–92.
- Berkes, F. (1999). *Sacred Ecology. Traditional Ecological Knowledge and Resource Management*. Taylor & Francis, Philadelphia and London.
- Berkes, F., Colding, J., and Folke, C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10: 1251–1262.
- Berkes, F., and Turner, N. J. (2006). Knowledge, learning and the evolution of conservation practice for social-ecological system resilience. *Human Ecology* 34(4): 474–494.
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., and Kunin, W.E. (2006). Parallel declines in pollinators and insect pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313(5785): 351–354.
- Borah, W., and Cook, S. F. (1960). *The population of central Mexico in 1548. An analysis of the Suma de Visitas de Pueblos*. University of California Press, Los Angeles.
- Camargo, J. M. F., and Pedro, S. R. M. (2013). Meliponini Lepelletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D. and Melo, G. A. R. *Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region* - online version. Available at <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Accessed Feb/20/2019
- CONABIO. (2001). *Climas (clasificación de Köppen, modificado por García)*. Escala 1:1000000. México.
- Brosi, B. J., Daily, G. C., Shih, T. M., Oviedo, F., and Durán, G. (2008). The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology* 45(3): 773–783.
- Brosi, B. J. (2009). The complex responses of social stingless bees (Apidae: Meliponini) to tropical deforestation. *Forest ecology and management* 258(9): 1830–1837.
- Camou-Guerrero, A., Reyes-García, V., Martínez-Ramos, M., and Casas, A. (2008). Knowledge and use value of plant species in a Rarámuri community: a gender perspective for conservation. *Human Ecology* 36(2): 259–272.
- Conteras-Escareño, F., Echazarreta, C. M., Guzmán-Nóvoa, E., and Macías-Macías, J. O. (2019). Traditional Knowledge and Potential Use of Stingless Bees (Hymenoptera: Meliponinae) in the Manantlan Sierra, Jalisco, Mexico. *Sociobiology* 66(1): 120–125.
- Cortopassi-Laurino, M., Imperatriz-Fonseca, V. L., Roubik, D. W., Dollin, A., Heard, T., Aguilar, I., and Nogueira-Neto, P. (2006). Global meliponiculture: challenges and opportunities. *Apidologie* 37(2): 275–292.
- Crane, E. (1992). The past and the present status of beekeeping with stingless bees. *Bee World* 73(1): 29–42.
- Crane, E. (1999). *The world history of beekeeping and honey hunting*. Routledge, New York.
- Dixon, C.V. (1987). Beekeeping in Southern Mexico. *Conference of Latin Americanist Geographers. Year Book* 13: 68–77.
- Ehrlich, P. R., Kareiva, P. M., and Daily, G. C. (2012). Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization. *Nature* 486: 68–73.
- Gómez-Baggethun, E., Corbera, E., and Reyes-García, V. (2013). Traditional ecological knowledge and global environmental change: research findings and policy implications. *Ecology and Society: a journal of integrative science for resilience and sustainability* 18(4): doi:<https://doi.org/10.5751/ES-06288-180472>.
- Heard, T. (1999). The role of stingless bees in crop pollination. *Annual Review of Entomology* 44(1): 183–206.
- Hendrichs, P.R. (1941). El cultivo de abejas indígenas en el Estado de Guerrero. *México Antiguo* 5: 365–73.
- INEGI. (2015). *Carta de Uso del Suelo y Vegetación*, 1:250 000. INEGI, Aguascalientes.
- Johannes, R. E. (2002). Did indigenous conservation ethics exist. *Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bulletin* 14(3): 3–7.
- Kent, R. (1984). Mesoamerican stingless beekeeping. *Journal of Cultural Geography* 4(2): 14–28.
- Kerr, W., Carvalho, G.A., and Nascimento, V.A. (1999). The probable consequences of the destruction of Brazilian stingless bees. *Advances in Economic Botany* 13: 395–403.
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. México: Siglo XXI Editores, México D.F.
- Lyster, P., Perez, E., Carneiro da Cunha, M., and Roué, M. (2014). Indigenous and local knowledge about pollination and pollinators associated with food production: outcomes from the global dialogue workshop. UNESCO, Paris.
- Mas, J. F., Lemoine-Rodríguez, R., González, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., and Herrera-Flores, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques* 23(2): 119–131.
- Michener, C.D. (2007). *The bees of the world*. Second edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Nordenskiöld, E. (1929). L’apiculture indienne. *Journal de la Société des Américanistes* 21:169–182.
- Pennington, C. (1963). *The Tarahumar of Mexico: Their Environment and Material Culture*. University of Utah Press, Salt Lake City.

- Porter-Bolland, L., Gallardo, C., Ruiz de la Merced F., and Quiroz, R. (2015). La meliponicultura en el municipio de Atzalan, Ver.: un diagnóstico sobre la situación actual de la actividad y sus necesidades. In Guzmán, M., and Vandame, R. (Coords.), *Manejo de las abejas sin aguijón en Mesoamerica*, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristobal de las Casas.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., and Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25(6): 345-353.
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., and Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human wellbeing. *Nature* 540(7632): 220-229.
- Quezada-Euán, J. J. G. (2018). *Stingless bees of Mexico*. Springer, Cham, Switzerland.
- Quezada-Euán, J.J.G., May-Itzá W. de J and González-Acereto J.A. (2001). Meliponiculture in México: problems and perspective for development. *Bee World* 82: 160-167.
- Quezada-Euán, J. J. G., Nates-Parra, G., Maués, M. M., Roubik, D. W., and Imperatriz-Fonseca, V. L. (2018). The economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology* 65(4): 534-557.
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., Reyes-Salas, O., Argueta, A., and Casas, A. (2014). Diversity, local knowledge and use of stingless bees (Apidae: Meliponini) in the municipality of Nocupétaro, Michoacán, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10(1): 47.
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., and Gómez-Arreola, S. (2016). From extraction to meliponiculture: a case study of the management of stingless bees in the West-central region of Mexico. In Chambo E. (ed.), *Beekeeping and Bee Conservation-Advances in Research*. InTech, Rijeka.
- Schwarz, H. F. (1945). The wax of stingless bees (Meliponidae) and the uses to which it has been put. *Journal of the New York Entomological Society* 53(2): 137-144.
- Slaa, E. J., Chaves, L. A. S., Malagodi-Braga, K. S., and Hofstede, F. E. (2006). Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie* 37(2): 293-315.
- Sutherland, W.J. (1996). *Ecological Census Techniques: A Handbook*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Stearman, A.M., Stierlin, E., Sigman, M.E., Roubik, D.W., and Dorrien, D. (2008). Stradivarius in the jungle: traditional knowledge and the use of “Black Beeswax” among the Yuquí of the Bolivian Amazon. *Human Ecology* 36(2): 149-159.
- Taylor, S. J., and Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación (Vol1)*. Paidós, Barcelona.
- Vargas, P. J. P., Vásquez-Dávila, M. A., María, T. G. G. G., and González I. A. (2014). Pisilnekmej: Una mirada a la cosmovisión, conocimientos y prácticas nahuas sobre *Scaptotrigona mexicana* en Cuetzalan, Puebla, México. *Revista Etnoecologica* 10: 37- 40.
- Villanueva-Gutiérrez, R., Roubik, D.W., and Colli-Ucán, W. (2005). Extinction of *Melipona beecheii* and traditional beekeeping in the Yucatán Peninsula. *Bee World* 86(2): 35-41.
- Villanueva-Gutiérrez, R., Roubik, D.W., Colli-Ucán, W., Güemes-Ricalde, J., and Buchmann, S.L. (2013). A critical view of colony losses in managed Mayan honey-making bees (Apidae: Meliponini) in the heart of Zona Maya. *Journal of the Kansas Entomological Society* 86(4): 352-363.
- Vit, P., Medina, M., and Eunice-Enriquez, M. (2004). Quality standards for medicinal uses of Meliponinae honey in Guatemala, Mexico and Venezuela. *Bee World* 85(1): 2-5.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Stingless bees (Apidae: Meliponini) at risk in western Mexico

Alejandro Reyes-Gonzalez¹  | Francisco Mora²  | Luciana Porter-Boland³  |
M. Isabel Ramírez⁴  | Ek del-Val^{2,5} 

¹Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, México

²Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, México

³Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, México

⁴Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, México

⁵Environmental Studies Department, University of California, Santa Cruz, California, USA

Correspondence

Ek del-Val, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. San José de la Huerta, 58190 Morelia, Michoacán, México.
Email: ekdelval@cieco.unam.mx

Funding information

This study was funded by Rufford Small Grants number 24084-1, from The Rufford Foundation and by the project "Saberes ambientales para la cogeneración de estrategias de manejo sustentable de socioecosistemas" UNAM (PAPIIT IN308418). The first author received a graduate studies scholarship from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) (489580).

Associate Editor: Jennifer Powers

Handling Editor: Michael Staab

Abstract

The current global pollinator crisis highlights the need to investigate the diversity and distribution of ecologically and socially relevant taxa such as tropical stingless bees. We analyzed the diversity and composition of stingless bee (Meliponini) communities at a regional scale in west-central Mexico using an extensive direct search along an altitudinal gradient encompassing different climate and vegetation types. Our hypothesis was that meliponine bee diversity would be greater in tropical warmer. We found a total of 14 meliponine bee species, including two new records for the region. We identified three types of bee assemblages: one in hot lowland climates with tropical dry forest vegetation, one in temperate highland climates with mixed oak-pine forest vegetation, and one in the warm ecotone with mixed subdeciduous forest vegetation between the hot and temperate zones. As expected, the lowland assemblage in the tropical dry forest vegetation had the greatest diversity (11 species). In the warm ecotone, meliponine species from temperate highlands and hot lowland habitats converged; this region should therefore be considered a high conservation priority area. Fifty percent of the meliponine bees found are endemic and have a very low incidence, suggesting that their populations may be endangered. Given the extensive and ongoing change of land use to avocado plantations in the warm ecotone and temperate highlands with mixed oak-pine forest vegetation cover, specific conservation plans should be generated to conserve the natural ecosystems and this important native pollinator group.

Abstract in Spanish is available with online material.

KEY WORDS

endangered bees, environmental factors, Meliponini conservation, Mexican endemic stingless bees, native bees

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

© 2022 The Authors. *Biotropica* published by Wiley Periodicals LLC on behalf of Association for Tropical Biology and Conservation.

1 | INTRODUCTION

Bees are vital pollinators for an enormous variety of wild and cultivated species (Potts et al., 2016). In recent years, there has been a worldwide decrease in pollinators due to anthropogenic causes (Potts et al., 2010, 2016). However, there is very little information about the decline of bees in tropical areas of America. Stingless bees or meliponine bees (Apidae: Meliponini) are essential pollinators in tropical and subtropical areas (Michener, 2007). They are responsible for the pollination of at least 60 crops and 50% of the floral visits to wild plants in different habitats of tropical America (Heard, 1999; Michener, 2007; Slaa et al., 2006).

The Meliponini tribe is very diverse, with more than 500 species worldwide (Michener, 2007). While they display different behavioral patterns, nesting habits, and defense strategies (Roubik, 2006), all share the distinctive character of an atrophied sting (Michener, 2007). In Mexico, there are 46 species, 26% of which are endemic (Ayala et al., 2013).

At a national scale, meliponine bees in Mexico follow a typical neotropical distribution (Halffter, 1976). Most of them inhabit warm lowland areas in both dry and humid regions, though some inhabit mountainous areas up to 3000 m elevation (Ayala et al., 2013). At the state scale, however, their distribution has not been clearly established and there are areas of overlap among species with distinct biogeographical histories (Yañez-Ordóñez et al., 2008). The Pacific Coast from Guerrero to Chiapas as well as southern Veracruz are the areas that contain the greatest number of stingless bee species reported to date (Ayala et al., 2013). These authors proposed a distributional scheme for Meliponini by vegetation type composed of three groups: (1) widely distributed species associated with both tropical dry and wet forests; (2) species associated with tropical wet forests; and (3) endemic species associated with several types of vegetation. More recently, meliponines have been recorded in areas where they were previously considered absent, generating the need to further analyze the biotic and abiotic factors that shape meliponine bee assemblages, particularly at the state level, the level at which conservation actions are established (Arnold et al., 2018; Reyes-González et al., 2014, 2017).

In Mexico, studies of meliponine bees are concentrated in a few areas of the country in the Southeast (Chiapas, Oaxaca, Veracruz, and the Yucatán peninsula) (Arnold et al., 2018; Ayala, 1988, 1997; Hinojosa-Díaz, 2003; Meléndez-Ramírez et al., 2016; Reyes-González et al., 2014, 2020; Reyes-Novelo et al., 2009; Roubik et al., 1991; Vandame et al., 2013; Vergara-Briseño & Ayala, 2002), leaving regions to the west in need further study to understand the diversity, composition and distribution of Meliponini. Some recent studies in western Mexico have documented 13 Meliponini species, including two new records for the area—*Lestrimelitta chamelensis* Ayala and *Plebeia fulvopilosa* Ayala—as well as an important cultural legacy of knowledge and management associated with these native bees (Ayala et al., 2013; Reyes-González et al., 2014, 2016, 2017, 2020).

As in many insects, the distribution of bees is related to various environmental variables, including altitude, latitude, temperature and humidity, and ecological disturbance (McCoy, 1990; Roubik, 1989). In

general, the richest assemblages of bees are found in xeric and warm temperate zones, near the limit of the subtropics or mid-latitudes (Orr et al., 2021; Roubik, 1989). The most important drivers behind this pattern of distribution are maximal temperature of warmest month and plant species richness (Orr et al., 2021). However, social bees such as Meliponini have a pantropical distribution (Kerr & Maule, 1964; Michener, 1979), and Roubik (1989) proposed the hypothesis that this group of social bees has radiated towards the subtropics and may follow a different pattern of geographical distribution than the bees in general (Gaston, 1992; Mittelbach et al., 2007; Price et al., 1995). Therefore, in order to understand if tropical or subtropical areas in Mexico hold the vast majority of meliponinis for conservation purposes, there is a need for detailed studies at regional scales.

Despite the historical and cultural importance of meliponine bees in western Mexico, there are many knowledge gaps with respect to their ecology and distribution in this region. In this study, we evaluated the composition and diversity of the Meliponini tribe in the state of Michoacán (Figure 1) to determine whether they follow the proposed increase in diversity towards areas with warm and hot climates, which correspond to the lower altitude areas at the state level, and to establish their potential spatial distribution and habitat preferences. Using data from bee sampling, we analyzed the different types of vegetation and their associated climates along an elevational gradient in the structuring of Meliponini assemblages. This knowledge is important to implement effective conservation and maintenance strategies for these crucial and vulnerable native pollinators.

2 | METHODS

2.1 | Study area

This study was carried out in western Mexico in the south-central portion of the state of Michoacán (Figure 1). This region has an area of 38,228 km² and encompasses lowland areas on the Pacific coast to mountainous areas up to 2200 m in elevation in the center of the state, near the limit between the Balsas Basin and the Trans-Mexican Volcanic System. In this large region, there is a wide variety of climate types. At the higher altitudes, the climate is temperate subhumid and humid, with an average annual temperature between 12 and 18°C. The lowlands include various types of tropical climates: warm humid with an average annual temperature above 18°C; as well as warm subhumid, hot subhumid, and hot semi-arid, each of which have an average annual temperature above 22°C. The whole region has seasonal precipitation with rains in the summer. The natural vegetation is mixed oak-pine forest in the higher elevations, mixed subdeciduous forest and tropical dry forests in the lower and hotter areas, and a few xerophytic scrub areas and mangroves on the coast (CONABIO, 1998; INEGI, 2015).

2.2 | Site selection

We selected 43 sites separated from each other by at least 5 km (Figure 1). The sites were chosen based on previous reports of

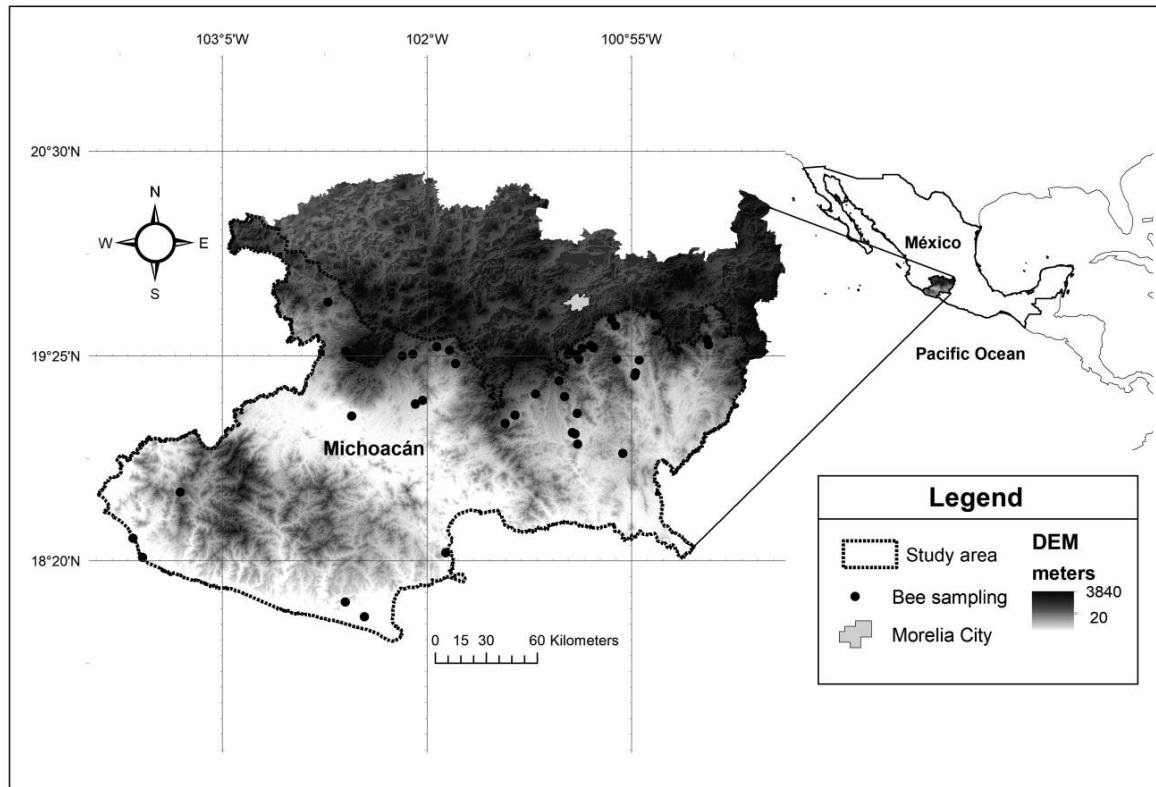


FIGURE 1 Bee sampling sites (black dots) in the western Mexican state of Michoacán. DEM: Digital Model Elevation

stingless bees in areas with natural vegetation and where local people permitted and accompanied us to sample on their lands. These sites encompass the vegetation gradient, climates, altitudinal ranges, and different geomorphic units where meliponine bees have been reported in Michoacán (Table 2).

2.3 | Bee sampling

Stingless bees were sampled by direct search, following Sutherland's (1996) proposal. At each site, two people searched for bees for a minimum of four to a maximum of six consecutive hours in an area of 2 Km². Searching time differences depended on the number of bee species observed, if after 4 h no more new bee species appeared, we stopped the sampling in that site. Sampling days began 8–9 am depending on weather conditions. At each location, we chose sites where flowering was evident, with water sources or salt deposits nearby. Bees were collected with entomological nets or entomological aspirators. We also considered information provided by local people about sites with bee aggregations, bee nests, and floral patches. A single sampling session was performed at each site between February 2018 and June 2019. Because meliponine bees are active throughout the year, they were sampled when plants were flowering according to the type of vegetation and on days without rain or strong winds.

One year after the systematic samplings (in October 2020), a new state record of a stingless bee was reported from a single site outside Uruapan city. This record was not included in the statistical analyses, but was included as a part of the Meliponini inventory, and its presence in the study region will be discussed.

2.4 | Bee determination

Bee specimens were identified to the species level using taxonomic keys (Ayala, 1999), and the nomenclature proposed by Camargo and Pedro (2013). The identities of determined specimens was corroborated by the expert R. Ayala in 2019 at the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

2.5 | Data analysis

We evaluated the effect of climate and vegetation on the composition of the Meliponini assemblages using a canonical ordination analysis (CCA) (Zuur et al., 2007). Five climate categories were defined following the Köppen classification modified by García at a scale of 1:1,000,000 (CONABIO, 1998): hot semi-arid [BS1(h)w], hot subhumid [Aw0], warm subhumid [(A)C(w1)], warm humid [(A)C(w2)] and temperate humid [Cw2]. Three vegetation categories were defined

following Palacio-Prieto et al. (2000) and Bär et al. (2006): tropical dry forest, mixed subdeciduous forest, and mixed oak-pine forest. For each sampling site, we assigned a climate category and a vegetation type. Bee assemblages were characterized using species presence/absence data.

Species diversity of order O (species richness) was estimated for each climate category and vegetation type using the "Chao" asymptotic species estimator, which accounts for unobserved species based on incidence data (Chao et al., 2014). Estimation was done using the "iNEXT" function in the "iNEXT" package for R (Hsieh et al., 2020).

3 | RESULTS

We collected 1347 specimens of stingless bees corresponding to fourteen species, representing 30% of all of the meliponine species found in Mexico. Two of the species were first records for Michoacán—*Plebeia manantlensis* Ayala and *Plebeia moureana* Ayala. *Plebeia manantlensis* was collected in a disturbed temperate zone near an urban area one year after concluding our systematic bee sampling. *Plebeia* was the genus with the highest diversity (four species), followed by *Melipona* with two species. Our data showed a few very common species (*Frieseomelitta nigra* Cresson, *Nannotrigona perilampoides* Cresson and *Partamona bilineata* Say), which accounted more of 50% of all records (Table 1). We also found two very rare species, *Melipona lupitae* Ayala, and *P. moureana*, which were present at only one and two sites, respectively.

3.1 | Meliponini assemblages

The canonical ordination analysis showed that both vegetation type and climate accounted for differences across sites; the first two axes comprised 21.3% of the variance in assemblage composition (Figure 2). We identified three different meliponini assemblages: (1) *Hot lowlands*, characterized by tropical dry forest vegetation and hot subhumid and hot semi-arid climates located in between 0 and 1300 m elevation; (2) *Temperate highlands*, characterized by mixed oak-pine forest vegetation with temperate subhumid and warm humid climates at elevations above 1701 m; and (3) *Warm ecotone*, between those two zones, located between 1301 and 1700 m asl with a warm subhumid climate and natural vegetation dominated by mixed subdeciduous forest (Bär et al., 2006), where bee species from both temperate and tropical dry forest coexist.

3.2 | Habitat preferences and species distributions

The *Hot lowlands* assemblage found in tropical dry forest vegetation included eleven meliponine bee species, six of which are restricted to the tropical dry forest and hot climates. This was the habitat where *P. moureana* was found, constituting a new record for Michoacán (Table 1). The *Temperate highlands* assemblage consisted

of five species; two of them (*Melipona fasciata* Latreille and *Plebeia fulvopilosa* Ayala) inhabited mixed oak-pine forests and a temperate climate. In the third assemblage, the *Warm ecotone*, we recorded seven species: two species that were also found in the *Hot lowlands* assemblage, two species that were also found in the *Temperate highlands* assemblage, and three species that were present in all habitats, which in this study we refer to as *generalists* (*Geotrigona acapulconis* Strand, *N. perilampoides* Cresson and *P. bilineata* Say; Table 1). The *Warm ecotone* is thus very important, since bee fauna of the two contrasting assemblages converged there, and two of the generalists (*N. perilampoides* and *P. bilineata*) occurred only in restricted locations of high humidity in ravines and along the coast in the *Hot lowlands* assemblage. Each assemblage contained a mixture of common species and rare characteristic species (Table 1). Figure 3 shows the areas inhabited by each of the three assemblages of stingless bees.

Species richness estimation with the Chao asymptotic index indicated that sampling completeness was high for the Meliponini species from the study area overall (Table 2, Figure 4). This was also the case for the three vegetation types, for which completeness was ≥ 0.9 . However, when considering the different climate zones separately, sampling completeness was low for the Warm humid climate and very low for the Hot semi-arid, suggesting a significant underestimation of species number for these climatic zones (Table 2, Figure 4).

4 | DISCUSSION

4.1 | Meliponini assemblages

Climate and vegetation are environmental variables that strongly determine the species distribution and assemblages, as is the case for Meliponini in western Mexico. Canonical ordination analysis delimited two contrasting vegetation types (tropical/temperate), associated with different groups of meliponine species (Figure 2). Other studies of Meliponini diversity in the southern Mexican states of Chiapas and Oaxaca grouped meliponines into five assemblages by vegetation type (Arnold et al., 2018). Yurrita et al. (2017) analyzed the potential distribution of the genus *Melipona* using bioclimatic and topographic variables in Central America and Mexico and found three areas of high diversity: southern Central America, inland Central America, and south-central Mexico. Given the biological restriction of stingless bees to tropical and subtropical environments, analyzing their presence in relation to bioclimatic variables (temperature, humidity, and vegetation) is essential to understand how native bees, and insects in general, may respond to climate change and anthropogenic disturbances. This is especially critical for taxa from tropical areas, which are simultaneously the most diverse and most vulnerable to extinction due to global warming (Deutsch et al., 2009; Schowalter, 2011). This is the case for Meliponini and the other native bees, since they are bioindicator organisms of intensive climatic changes and other ecological perturbations (Reyes-Novelo et al., 2009).

TABLE 1 Percent species incidence and habitat preference of meliponine bees in Michoacán

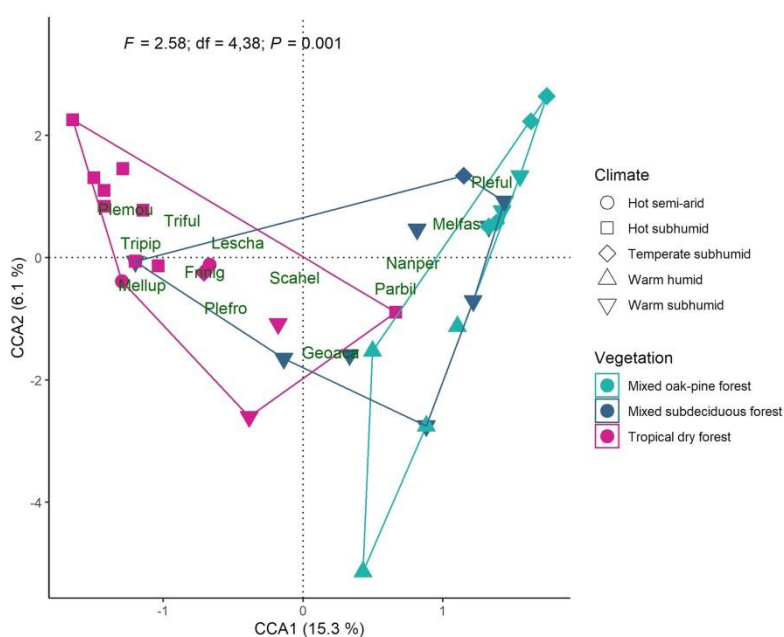
Percent Incidence	Species	Preference habitat	Climate	Vegetation type
2.3%	<i>Melipona lupitae</i> Ayala	Hot lowlands	Hot semi-arid,	Tropical dry forest
7%	<i>Plebeia frontalis</i> Friese		Hot subhumid	
4.7%	<i>Plebeia moureana</i> Ayala ^a			
9.3%	<i>Trigona fulviventris</i> Guérin			
14%	<i>Trigona pipioli</i> Ayala			
46.5%	<i>Frieseomelitta nigra</i> Cresson			
20.9%	<i>Scaptotrigona hellwegeri</i> Friese	Hot lowlands	Hot subhumid,	Tropical dry forest, mixed
11.6%	<i>Lestrimelitta chamelensis</i> Ayala	Warm ecotone	Warm sub-humid	forest, mixed subdeciduous forest
7%	<i>Geotrigona acapulconis</i> Strand ^b	Hot lowlands, Warm ecotone, Temperate	All climates	All vegetation types
30.2%	<i>Nannotrigona perilampoides</i> Cresson ^{b,c}	highlands		
30.2%	<i>Partamona bilineata</i> Say ^{b,c}			
16.3%	<i>Melipona fasciata</i> Latreille	Temperate highlands	Warm humid,	Mixed oak-pine forest
14%	<i>Plebeia fulvopilosa</i> Ayala	Warm ecotone	Temperate humid	

^aNew record for Michoacán.

^bGeneralist species: present in all vegetation and climate types.

^cRestricted to coastal zones and ravines in the hot lowlands.

FIGURE 2 Canonical ordination analysis showing Meliponini assemblage differentiation among vegetation and climate types. Within the figure, short for the scientific names of stingless bees are shown



4.2 | Habitat preferences and species diversity

As proposed in our hypothesis, the most diverse Meliponini assemblage was found in the tropical dry forest. This ecosystem is widely distributed and is known for having higher availability of food resources and nesting sites for tree-nesting bees than other

habitat types (Roubik, 1989). One finding to highlight is that we recorded two species (*N. perilampoides* and *P. bilineata*) in the tropical dry forest that had been previously reported as absent from this habitat (Ayala, 1999). We recorded them along the coastline and in some ravines, so they appear to be colonizing the wettest part of tropical dry forests in addition to the temperate forests

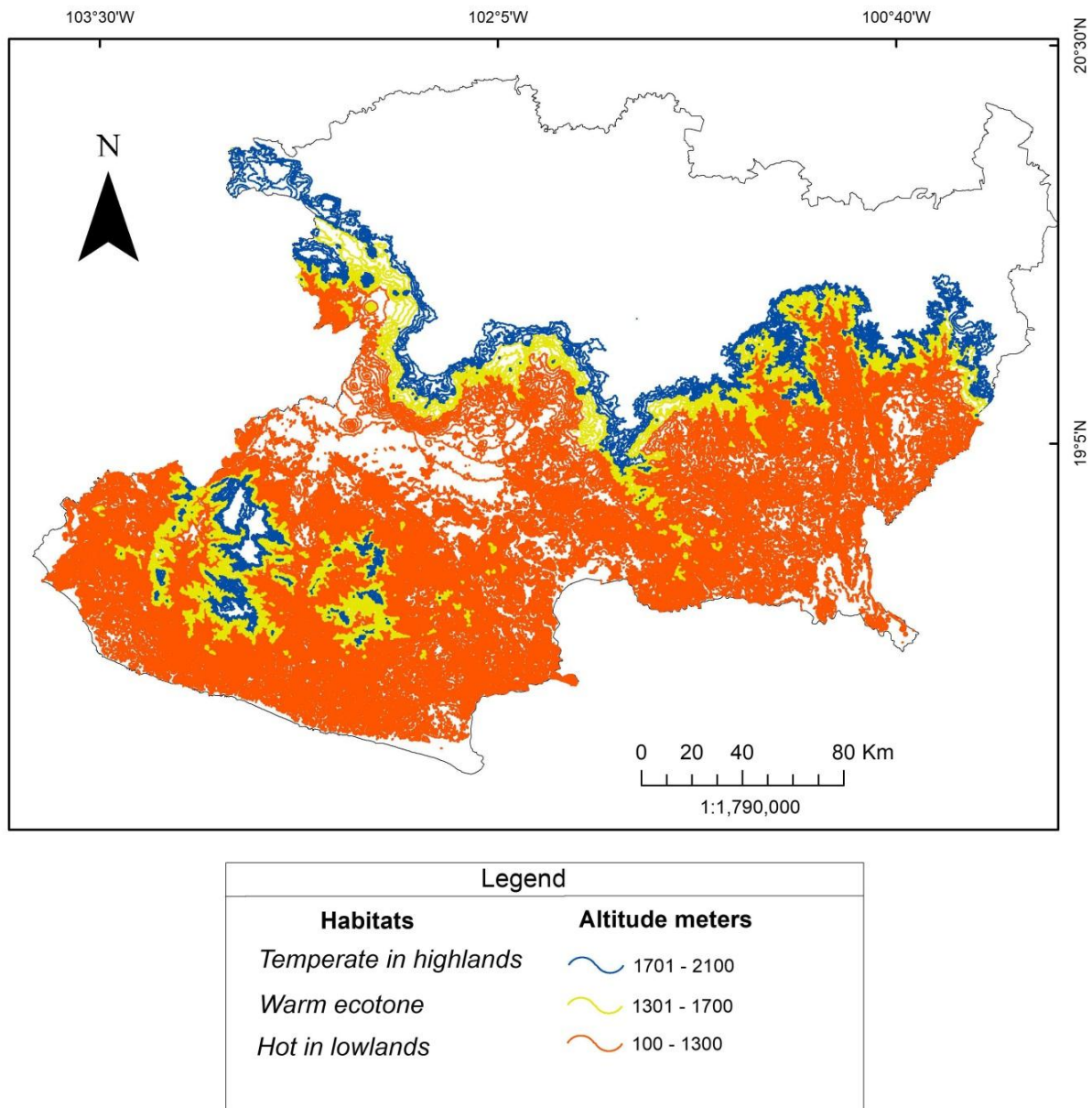


FIGURE 3 Meliponini assemblage distribution in Michoacán

where they had been previously recorded (Reyes-González et al., 2016).

On the other hand, in the temperate habitat we found fewer species within a narrow spatial zone (Figure 4). The species found in temperate habitats are highly prized in traditional and technical meliponiculture in this region of Mexico (Reyes-González et al., 2016, 2020).

In the warm ecotone assemblage there was a higher richness of generalist species. When considering characters that may allow those species to be habitat generalists (i.e., thrive in different environments), one potentially important shared character is that these

three species are flexible in their nesting sites and do not depend on trees for nesting (Table S1). However, there is another species that does not depend on the trees for nesting yet has restricted distributions (e.g., *T. fulviventris*), so this question warrants further study to determine which meliponine characteristics most limit their distributions.

The most common species recorded in this study (*F. nigra* and *N. perilampoides*) are known for having a large distributional range and nesting in different environments, including hollow trunks, directly in the soil, between rocks, and in artificial structures (concrete walls or metal tubes) (Roubik, 1983; A. Reyes-González

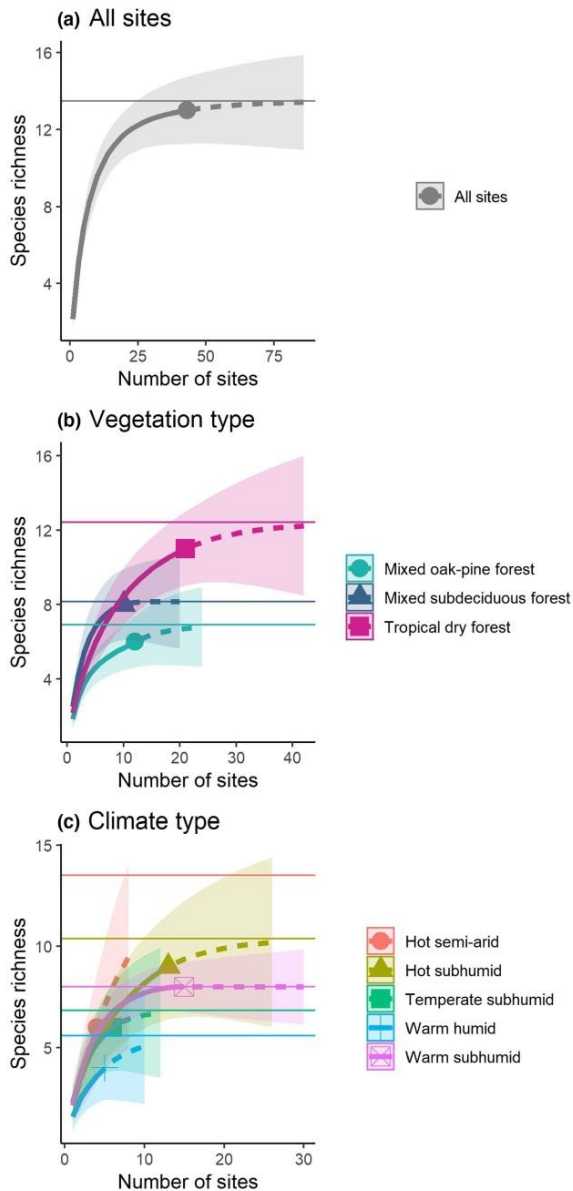


FIGURE 4 Species richness estimates of Meliponini bees in Michoacán state as a function of number of sites for the whole study (a), by vegetation type (b), and by climate type (c). The curves are rarefaction (continuous) and extrapolation (dashed) estimates of species richness, along with their 95% confidence intervals (shaded areas). Continuous horizontal lines represent asymptotic estimates of species richness based on the Chao estimator

Pers. Obs.). In a Meliponini revision for Mexico, Ayala (1999) mentioned that these two species are the most widely distributed in the country. *Nannotrigona perilampoides* can reach as far north as Chihuahua, at 29° latitude (Bennett 1964), and in this study we found that it can also be present in mountain sites of the Balsas

Basin and along the Pacific coast, adding new distribution sites for this species.

The meliponine bee richness reported in this study represents a sizeable fraction (30%) of the total species recorded in Mexico. Thus, even though Michoacán does not have the highest diversity of meliponine bee species in the country (up to 30 species have been reported in Southeastern Mexico; Arnold et al., 2018; Yañez-Ordóñez et al., 2008), it is a relevant region for this group. We found seven endemic species of meliponine bees in western Mexico: *G. acapulconis*, *L. chamelensis*, *M. fasciata*, *M. lupitae*, *P. fulvopilosa*, *P. manantlensis* and *S. hellwegeri*. This is a significant number of endemic species for this region, representing more than 50% of the total 13 endemic meliponine species reported in Mexico (Ayala et al., 2013). It should also be noted that four of the species mentioned above are locally used in meliponiculture (González-Acereto, 2008; Reyes-González et al., 2014). Ayala (1999) considered that this region, at the intersection of the Balsas Basin with the Trans-Mexican Volcanic System, is an important area for bee endemisms produced by vicariant events during the Pleistocene.

The new records of *P. manantlensis* and *P. moureana* are interesting in that they are respectively the largest and smallest bees of the genus *Plebeia* in Mexico (Ayala, 2016). Very little is known about the ecology of these two species, and these new records increase the number of species for Michoacán. On the other hand, an important endemic meliponine bee, *Cephalotrigona eburneiventer* Schwarz, was missing from our study but had been reported previously for Michoacán (Ayala, 1999; Ayala et al., 2013). This absence motivates further investigation.

Our sampling effort, calculated with Chao2, indicates that we were able to document the presence of all meliponine bees species for the region. However, this was not the case for the hot semi-arid climate; Chao2 estimated that this habitat should contain twice the number of species we recorded, suggesting that further sampling is needed in those areas. Rare species (singletons and doubletons) included *M. lupitae* and *P. moureana*; however, due to our sampling protocol, we are not certain if they are originally rare or if their population size has been reduced by human habitat perturbation. It is worth noting that *P. manantlensis* and *M. lupitae* were only collected in one site. *Melipona lupitae* Ayala was provided by a local resident, who collected it in a recently harvested nest. This bee was not observed or collected in our field samplings and had not been reported since the 1980s (R. Ayala, personal communication). This suggests that their populations have been greatly reduced, perhaps to the point of regional extinction, as meliponines bees are social insects that are active year-round (Roubik, 1989). The ecology, behavior and habits of these two species are completely unknown. Particularly, *P. manantlensis* is reported as an endemic "mountain" species for localities in western Mexico only very close to the Pacific coast and isolated from other mountain systems (Ayala et al., 2013). Therefore, its presence in a temperate environment in the center of the state of Michoacán in the upper part of Balsas basin is an interesting record.

TABLE 2 Meliponini richness estimators for different vegetation types and climate zones in Michoacán

Variable	Categories	Sites	Species diversity	Estimated species (Chao)	Sampling completeness
Potential vegetation	All observed species	43	13	13.48	0.99
	Tropical dry forest	21	11	12.42	0.94
	Mixed subdeciduous forest	10	8	8.15	0.98
	Mixed oak-pine forests	12	6	6.91	0.92
Climate	Hot subhumid Aw0; Aw1	13	9	10.38	0.91
	Hot semi-arid BS1(h)w	4	6	13.5	0.52
	Warm humid (A)C(w2)	5	4	5.6	0.80
	Warm subhumid (A)C(w1)	15	8	8	1.00
	Temperate subhumid C(W1); C(W2);	6	6	6.83	0.90

4.3 | Meliponini conservation in western Mexico

In addition to their ecological importance, meliponine bees are economically and socioculturally valuable. They have been managed since prehispanic times in a practice called meliponiculture, which is a very important component of culture and spirituality in indigenous cultures of Mesoamerica (Quezada-Euán et al., 2018). In this practice, several bee products are harvested and consumed (pot-honey, pollen, wax), which are important sources of medicinal inputs, food, and material for diverse uses (Crane, 1992; Quezada-Euán et al., 2018).

The results of the Meliponini assemblage composition and habitat preferences in Michoacán provide important information for understanding current distribution ranges to inform conservation and sustainable management strategies. Apart from the tropical area, the ecotone between mixed oak-pine forest and tropical dry forests is an important area for Meliponini conservation, since a large majority of stingless bees from different habitats coincide in this narrow strip. However, both the ecotone and temperate forest habitats are severely fragmented and transformed by human activities, mainly timber extraction and intensification of agriculture by large avocado plantations (Mas et al., 2017). There is an urgent need to implement conservation measures in this region to maintain and restore the integrity of the temperate forest and preserve the nesting and feeding habitats of native meliponine bees.

A complementary study involving local perception about meliponine bees in the area found that local people perceive a decreasing trend for these insects due to human interventions. Some species have been very rare since the 1980s, mainly due to human actions including land use change and predation of wild nests by local residents (Reyes-González et al., 2020) and suggested that there is a regional decline in Meliponini populations, as reported for other regions of tropical America (Brosi, 2009; Freitas et al., 2009). Therefore, it is important to make additional and continuous sampling efforts using mixed techniques (pan-traps, aerial nets, Van Somer Rydan traps, nest census, etc.) to obtain a more general picture that may provide an adequate and timely conservation strategy for this group of insects. Conservation actions that should be implemented immediately include providing information on the importance of these insects to the local communities to prevent looting

of wild stingless bee nests and to prevent the destruction of forest areas, especially in places where stingless bees nest (i.e. trees, barren grounds, etc.). Such actions are fundamental to contribute to ameliorating the current global pollinator crisis.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Ricardo Ayala at Instituto Biología UNAM for his suggestions for collecting bees and his support in the taxonomic determination. This paper is part of the PhD thesis of the first author at the *Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad* of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Thanks to the students and all informants who participated in our study for sharing their knowledge, hospitality and assistance with field work.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

A.R.-G., L.P.-B., M.I.R. & E.dV. contributed to the study conception and design. Bee sampling, material preparation, data collection and analysis were performed by A.R.-G. Data analysis was done by A.R.-G., E.dV. and F.M. The first draft of the manuscript was written by A.R.-G., and all authors commented and edited on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are openly available in the Dryad Digital Repository: <https://doi.org/10.5061/dryad.4mw6m90cq> (Reyes-Gonzalez et al., 2022).

ORCID

Alejandro Reyes-Gonzalez  <https://orcid.org/0000-0001-7496-4601>

Francisco Mora  <https://orcid.org/0000-0003-0390-0189>

Luciana Porter-Boland  <https://orcid.org/0000-0001-8586-3267>

M. Isabel Ramírez  <https://orcid.org/0000-0002-6738-1165>

Ek del-Val  <https://orcid.org/0000-0003-3862-1024>

REFERENCES

- Arnold, N., Ayala, R., Mérida, J., Sagot, P., Aldasoro, M., & Vandame, R. (2018). Registros nuevos de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) para los estados de Chiapas y Oaxaca, México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 89, 651–665. <https://doi.org/10.22201/rb.20078706e.2018.3.2429>
- Ayala, R. (1988). La fauna de abejas silvestres (Hymenoptera; Apoidea) de Chamela, Jalisco. México. *Folia Entomológica Mexicana*, 77, 395–493.
- Ayala, R. (1997). Las abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae) de la región de los Tuxtlas en el Estado de Veracruz. In E. González-Soriano, R. Dirzo, & R. Vogt (Eds.), *Historia Natural de la Estación de Biología Tropical de los Tuxtlas, Veracruz* (pp. 361–364). Instituto de Biología, UNAM.
- Ayala, R. (1999). Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomológica Mexicana*, 106, 1–123.
- Ayala, R. (2016). Las abejas del género *Plebeia* Schwarz (Apidae: Meliponini) de México. *Entomología Mexicana*, 3, 937–942.
- Ayala, R., González, V., & Engel, M. (2013). Mexican stingless bees (Hymenoptera: Apidae): Diversity, distribution, and indigenous knowledge. In P. Vít, R. M. Pedro-Silva, & D. Roubik (Eds.), *Pot-honey: A legacy of stingless bees* (pp. 135–152). Springer.
- Bär, E. M. C., Villaseñor, J. L., Amezcua, L. A., Tenorio, G. C., & Manríquez, G. I. (2006). La flora arbórea de Michoacán, México. *Boletín De La Sociedad Botánica De México*, 78, 47–81.
- Brosi, B. J. (2009). The complex responses of social stingless bees (Apidae: Meliponini) to tropical deforestation. *Forest Ecology and Management*, 258, 1830–1837. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.025>
- Camargo, J. M. F., & Pedro, S. M. (2013). *Meliponini Lepeletier, 1836. Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region* (J.S. Moure, D. Urban & G.A.R. Melo (Orgs.)). <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84, 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- CONABIO (1998). 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1: 1000 000. México.
- Crane, E. (1992). The past and the present status of beekeeping with stingless bees. *Bee World*, 73, 29–42.
- Deutsch, A. C., Tewksbury, J. J., Huey, B. R., Sheldon, S. K., Ghalambor, K. C., Freitas, B. M., Imperatriz-Fonseca, V. L., Medina, L. M., Kleinert, A. D. M. P., Galetto, L., Nates-Parra, G., & Quezada-Euán, J. J. G. (2009). Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40, 332–346. <https://doi.org/10.1051/apido/2009012>
- Freitas, B. M., Imperatriz-Fonseca, V. L., Medina, L. M., Kleinert, A. D. M. P., Galetto, L., Nates-Parra, G., & Quezada-Euán, J. J. G. (2009). Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40, 332–346. <https://doi.org/10.1051/apido/2009012>
- Gaston, K. J. (1992). Regional numbers of insect and plant species. *Functional Ecology*, 6, 243–247. <https://doi.org/10.2307/2389513>
- González-Acereto, J. (2008). *Cría y manejo de abejas nativas sin aguijón en México*. Universidad Autónoma de Yucatán. Planeta Impresores.
- Halffter, G. (1976). Distribución de los insectos en la zona de transición mexicana. Relaciones con la entomofauna de Norteamérica. *Folia Entomológica Mexicana*, 35, 1–64.
- Heard, T. (1999). The role of stingless bees in crop pollination. *Annual Review of Entomology*, 44, 183–206. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.183>
- Hinojosa-Díaz, I. A. (2003). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) del declive sur de la Sierra del Chichinautzin, Morelos, México. *Folia Entomologica Mexicana*, 42, 1–20.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2020). *iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity*. R package version 2.0.20. <http://chao.stat.nthu.edu.tw/>
- INEGI (2015). *Carta de Uso del Suelo y Vegetación*, 1:250 000. INEGI.
- Kerr, W. E., & Maule, V. (1964). Geographical distribution of stingless bees and its implications (Hymenoptera: Apidae). *Journal New York Entomological Society*, 72, 2–18.
- Mas, J. F., Lemoine-Rodríguez, R., González, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., & Herrera-Flores, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques*, 23, 119–131. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321472>
- McCoy, E. D. (1990). The distribution of insects along elevational gradients. *Oikos*, 58, 313–322. <https://doi.org/10.2307/3545222>
- Meléndez-Ramírez, V., Ayala, R., & González, H. D. (2016). Temporal variation in native bee diversity in the tropical sub-deciduous forest of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Tropical Conservation Science*, 9, 718–734. <https://doi.org/10.1177/194008291600900210>
- Michener, C. D. (1979). Biogeography of the bees. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 66, 277–347. <https://doi.org/10.2307/2398833>
- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world*, 2nd ed. The Johns Hopkins University Press.
- Mittelbach, G. G., Schemske, D. W., Cornell, H. V., Allen, A. P., Brown, J. M., Bush, M. B., Harrison, S. P., Hurlbert, A. H., Knowlton, N., Lessios, H. A., McCain, C. M., McCune, A. R., McDade, L. A., McPeck, M. A., Near, T. J., Price, T. D., Ricklefs, R. E., Roy, K., Sax, D. F., ... Turelli, M. (2007). Evolution and the latitudinal diversity gradient: speciation, extinction and biogeography. *Ecology Letters*, 10, 315–331. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01020.x>
- Orr, M. C., Hughes, A. C., Chesters, D., Pickering, J., Zhu, C. D., & Ascher, J. S. (2021). Global patterns and drivers of bee distribution. *Current Biology*, 31, 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.053>
- Palacio-Prieto, J. L., Bocco, G., Velásquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., Luna-González, L., Gómez-Rodríguez, G., López-García, J., Palma, M., Trejo-Vázquez, I., Peralta, A., Prado-Molina, J., Rodríguez-Aguilar, A., Mayorga-Saucedo, R., & González-Medrano, F. (2000). La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas*, 43, 183–203.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Price, P. W., Diniz, I. R., Morais, H. C., & Marques, E. S. A. (1995). The abundance of insect herbivore species in the tropics: The high local richness of rare species. *Biotropica*, 27, 468–478. <https://doi.org/10.2307/2388960>
- Quezada-Euán, J. J. G., Nates-Parra, G., Maués, M. M., Roubik, D. W., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2018). The economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology*, 65(4), 534–557. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i4.3447>
- Reyes-González, A., Ayala, R., & Camou-Guerrero, A. (2017). Nuevo registro de abeja sin aguijón del género *Plebeia* (Apidae: Meliponini), en el alto Balsas del estado de Michoacán, México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 88(2), 464–466. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.018>
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., del-Val, E. K., Ramírez, M. I., & Porter-Bolland, L. (2020). Biocultural diversity loss: The decline of native stingless bees (Apidae: Meliponini) and local ecological

- knowledge in Michoacán, Western México. *Human Ecology*, 48(4), 411–422. <https://doi.org/10.1007/s10745-020-00167-z>
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., & Gómez-Arreola, S. (2016). From extraction to meliponiculture: A case study of the management of stingless bees in the West-Central Region of Mexico. In E. Chambo (Ed.), *Beekeeping and bee conservation – Advances in research* (pp. 201–223). InTech.
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., Reyes-Salas, O., Argueta, A., & Casas, A. (2014). Diversity, local knowledge and use of stingless bees (Apidae: Meliponini) in the municipality of Nocupétaro, Michoacan, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10, 1–12. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-47>
- Reyes-Gonzalez, A., Mora, F., Porter-Boland, L., Ramirez Ramirez, M. I., & del-Val, E. (2022). Data from: Stingless bees (Apidae: Meliponini) at risk in western Mexico. *Dryad Digital Repository*, <https://doi.org/10.5061/dryad.4mw6m90cq>
- Reyes-Novelo, E., Méndez-Ramírez, V., Ayala, R., & Delfín-González, H. (2009). Bee faunas (Hymenoptera: Apoidea) of six natural protected areas in Yucatan, Mexico. *Entomological News*, 120(5), 530–544. <https://doi.org/10.3157/021.120.0510>
- Reyes-Novelo, E., Ramírez, V. M., González, H. D., & Ayala, R. (2009). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como bioindicadores en el neotrópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 1–13.
- Roubik, D. W. (1983). Nest and colony characteristics of stingless bees from Panamá (Hymenoptera: Apidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 56, 327–355.
- Roubik, D. W. (1989). *Ecology and a natural history of tropical bees*. Cambridge University Press.
- Roubik, D. W. (2006). Stingless bee nesting biology. *Apidologie*, 37(2), 124–143. <https://doi.org/10.1051/apido:2006026>
- Roubik, D. W., Villanueva, R., Cabrera, E. F., & Colli, W. (1991). Abejas Nativas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. In L. D. Navarro & J. G. Robinson (Eds.), *Diversidad Biológica de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México* (pp. 317–320). CIQRO.
- Schowalter, T. D. (2011). *Insect ecology: An ecosystem approach*. Academic Press.
- Slaa, E. J., Chaves, L. A. S., Malagodi-Braga, K. S., & Hofstede, F. E. (2006). Stingless bees in applied pollination: Practice and perspectives. *Apidologie*, 37(2), 293–315. <https://doi.org/10.1051/apido:2006022>
- Sutherland, W. J. (1996). *Ecological census techniques: A handbook*. Cambridge University Press.
- Vandame, R., Ayala, R., Esponda, J., Balboa, C., & Guzmán, M. A. (2013). Diversidad de abejas: El caso de la reserva de la Biosfera El Triunfo. In Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO (Ed.), *La biodiversidad en Chiapas: Estudio de estado* (pp. 233–240). CONABIO.
- Vergara-Briseño, C., & Ayala, R. (2002). Diversity, phenology and biogeography of the bees (Hymenoptera: Apoidea) of Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 75(1), 16–30.
- Yañez-Ordóñez, O., Trujano, M., & Llorente, J. (2008). Patrones de distribución de las especies de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apoidea: Apidae) en México. *Interciencia*, 33(1), 41–45.
- Yurrita, C. L., Ortega-Huerta, M. A., & Ayala, R. (2017). Distributional analysis of Melipona stingless bees (Apidae: Meliponini) in Central America and Mexico: Setting baseline information for their conservation. *Apidologie*, 48(2), 247–258. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0469-z>
- Zuur, A., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007). *Analyzing ecological data*. Springer.

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information may be found in the online version of the article at the publisher's website.

How to cite this article: Reyes-Gonzalez, A., Mora, F., Porter-Boland, L., Ramirez, I. M., & del-Val, E. (2022). Stingless bees (Apidae: Meliponini) at risk in western Mexico. *Biotropica*, 54, 829–838. <https://doi.org/10.1111/btp.13100>

IV.- DISCUSIÓN

En este trabajo se reporta la presencia para el estado de Michoacán de 14 especies lo que representa el 30.4% de fauna de abejas sin aguijón conocida para México (Reyes-González *et al.* 2022). Siendo la mitad de estas especies endémicas del centro occidente del país, lo cual pone de manifiesto su importancia biológica y la pertinencia de llevar a cabo acciones para su conservación.

Conocer la riqueza de especies de un sitio en particular siempre es fundamental, sin embargo, en la actualidad lo urgente es conocer qué está sucediendo con estas especies en cuanto a sus procesos ecológicos, en particular las interacciones, tanto bióticas como con su entorno en general, incluyendo los impactos antrópicos. Más aún, si este grupo biológico es aprovechado y manejado por las sociedades humanas, es decir, que sea un grupo de importancia biocultural, como es el caso de las abejas sin aguijón (Aldasoro-Maya *et al.* 2023; Hill *et al.* 2019). En este sentido, se pudo registrar un amplio conocimiento ecológico local (LEK) asociado a estas abejas nativas (Reyes-González *et al.* 2020). Lo anterior se corrobora con el registró de más de veinte nombres locales para abejas sin aguijón, de los cuales algunos son en idioma purépecha, siendo la primera ocasión en la que se publican dichos nombres locales en lengua indígena para esta región de México. Es importante resaltar que el conocimiento ecológico local con estas abejas es diferente en cada región del estado, lo que da un indicio de la complejidad cultural de la zona de estudio. Esto es similar a otras regiones del país recién estudiadas en cuanto al manejo tradicional con abejas sin aguijón como se documentó para el estado de Oaxaca y Veracruz (Arnold, *et al.* 2018; May-Itzá *et al.* 2022; Porter-

Bolland *et al.* 2022). Es de resaltar que esta región del occidente mexicano, donde se desarrolló la presente tesis, no es considerada como zona de tradición en el manejo de abejas sin aguijón. Sin embargo, existe un amplio conocimiento y uso con estos insectos, sobre todo en personas mayores. Los resultados de este estudio muestran que este conocimiento ecológico local se está erosionando e incluso se puede considerar está en vías de extinguirse, pues no hay transmisión generacional de dicho conocimiento a las personas más jóvenes de las comunidades rurales, lo cual es algo crítico. A pesar de que aún subsisten los nombres locales para las abejas sin aguijón, no hay una concordancia con un manejo tradicional vigente. Por esto, se puede hablar de la casi extinción de saberes locales asociados a las abejas sin aguijón en toda el área de estudio. El geógrafo Clifton Dixon, ya había reportado algo similar en el año 1987 en cuanto a la pérdida del manejo local de abejas sin aguijón, siendo sustituido por el manejo de *A. mellifera* en áreas cercana al Río Balsas del estado de Guerrero. Así pues, el presente trabajo concuerda con algunos autores que han postulado que los fuertes cambios culturales, incluyendo aspectos económicos y políticos, aunado a las fuertes transformaciones del paisaje, han erosionado y son causantes de la pérdida de conocimientos locales (Gómez-Baggethun *et al.* 2013; Lyver *et al.* 2014; Aswani *et al.* 2018; Quezada-Eúan, 2018; Hill *et al.* 2019), por lo que es un tema que requiere atención urgente, pues no se puede conservar lo que no se conoce o lo que no se considera de importancia local. En cuanto al manejo histórico y actual de abejas sin aguijón, que implica la extracción total o parcial de los nidos, se expone en el primer artículo del presente estudio que este sistema tradicional es altamente perjudicial, pues por lo general se destruye el nido de abejas y la

cavidad del árbol donde habitaban. De hecho, este aprovechamiento tradicional es reconocido por los propios pobladores locales como uno de los factores de la muy notable disminución de abejas sin aguijón en toda la zona de estudio. Lo anterior coincide con otros estudios realizados en Latinoamérica (Kerr *et al.* 1999; Brosi 2009; Rosso-Londoño e Imperatriz-Fonseca, 2017; Quezada-Eúan, 2018). Por lo tanto, se debe poner énfasis especial en la manera en la que se aprovechan las abejas sin aguijón, pero también los bosques donde estas habitan. Esta problemática fue notoria no sólo desde la percepción local, sino que también quedó plasmada en el segundo artículo del presente estudio, donde se encontró que existen sólo un par de especies de abejas sin aguijón muy comunes (*Frieseomelitta nigra* Friese y *Nannotrigona perilampoides* Cresson). Es probable que estas especies sean comunes dada su capacidad de anidar en diferentes sustratos (cavidad de árbol, metal, concreto, entre suelo y rocas, o directamente en suelo). Por el contrario, algunas especies tienen baja incidencia y algunas como *Melipona lupitae* Ayala y *Plebeia moureana* Ayala, se reportan en este estudio como especies raras, es decir, solo fueron vistas o capturadas en una o dos ocasiones durante todo el periodo de muestreo. A pesar de que siempre se puede hacer un esfuerzo de muestreo mayor, y que para indicar con certeza que las poblaciones de abejas están en declive o riesgo es necesario prolongar los sistemas de observación de abejas de manera sistemática por un periodo temporal de al menos 5 años (Lebuhn *et al.* 2013). Aún así, los datos obtenidos en la presente investigación en cuanto a diversidad de abejas, da pie para hipotetizar que las poblaciones de algunas especies están muy reducidas, lo cual se corrobora con la percepción local de los pobladores de la zona de estudio. Sin embargo, según los análisis de

esfuerzo de muestreo por medio del estimador de riqueza de Chao y colaboradores (2014), así como de las curvas de acumulación de especies, nos sugiere que se registró la mayoría de las especies de abejas sin aguijón de la región, excepto por una zona que requiere más sitios de muestreo, monitoreo y búsqueda de abejas nativas más intensivo. Dicha zona llamada coloquialmente el Bajo Balsas presenta características ambientales de clima cálido semiárido y vegetación de bosque tropical seco con rasgos de matorral xerófilo como las cactáceas columnares y los arbustos espinosos.

Por otro lado, también en el segundo artículo se presenta la distribución espacial de las abejas sin aguijón presentes en Michoacán, y los ensamblajes en las comunidades ecológicas de estos insectos. Dichos hábitats corresponden a zonas templadas en tierras altas, donde se encontró la menor riqueza de especies; mientras que en el ecotono en la transición del clima cálido y zonas calientes de tierras bajas, en bosques tropicales secos fue donde se registró la mayor riqueza específica de abejas sin aguijón. Esto se determinó a partir de dos variables, clima y vegetación. Otros autores han propuesto determinar la distribución de abejas sin aguijón por la vegetación (Ayala *et al.* 2013; Arnold *et al.* 2018) sin embargo los factores que determinan la distribución presencia de abejas sin aguijón están muy relacionados con la temperatura, pues esta es limitante el desarrollo de estos insectos (Roubik, 1989). Una investigación realizada para el género *Melipona* propone variables bioclimáticas y algunas topográficas (Yurritia *et al.* 2017). Sin embargo, en el presente trabajo se considera que el clima y la vegetación son factores suficientes para conocer los ensamblajes de abejas sin aguijón. También en este segundo artículo se presentan dos nuevos registros de especies de abejas sin aguijón endémicas.

Lo anterior es relevante, pues dada la restricción biológica de estas abejas a los ambientes tropicales y subtropicales, el reportar nuevos registros en zonas poco estudiadas y analizar cómo son los ensamblajes ecológicos en relación con variables bioclimáticas es fundamental para comprender cómo pueden estos insectos responder al cambio climático y las perturbaciones antropogénicas.

En gran parte de la zona de estudio existen fuertes transformaciones antrópicas, principalmente por el cambio de uso de suelo y la deforestación. Estas perturbaciones ecológicas se realizan principalmente de manera muy intensa para la expansión del cultivo de aguacate en los bosques templados de pino, pino-encino y de bosques subcaducifolios (Thiébaud, 2011; Chávez *et al.* 2012; Bravo-Espinosa *et al.* 2014; Mas *et al.* 2017; Sáenz-Ceja *et al.* 2022). En estos bosques templados se encuentra el ensamblaje de abejas sin aguijón de “zonas templadas en tierras altas”, denominado así en el presente trabajo. También en los bosques de transición entre los bosques templados y bosques tropicales secos, entre altitudes de 1400 a 1700 metros de elevación, donde convergen varias especies de abejas sin aguijón de ambos hábitats la expansión de la agricultura intensiva y permanente ha modificado los paisajes naturales. Estas transformaciones resultan en pérdida de hábitat pudiendo ser un factor causante del declive de polinizadores, lo cual ha sido documentado por diversos autores. En el caso de las abejas sin aguijón, el cambio de uso de suelo y la remoción de las cubiertas vegetales naturales causan mayor impacto, pues afecta las fuentes de alimento de estas abejas y los sustratos de anidación (Brown y Albrecht, 2001; Samejima *et al.* 2004; Brosi *et al.* 2009; Freitas *et al.* 2009; Macías-Macías *et al.* 2014; Reyes-González *et al.* 2020). Es importante hacer énfasis en esta problemática, pues muchas de las abejas sin

aguijón requieren de troncos de árboles huecos para anidar, por lo que es necesario que existan bosques conservados. Desafortunadamente, amplias extensiones de bosques continúan siendo deforestados, esto aunado a la presión de manejo extractivo de los nidos naturales de abejas por parte de personas locales (colmeneros), pone en fuerte grado de vulnerabilidad y riesgo a estas abejas nativas. Por este motivo se escogió el título del segundo artículo resultado del presente estudio. Dadas las premisas anteriores, es indudable que en el estado de Michoacán, los tres ensamblajes donde se distribuyen estas abejas son de gran importancia y requieren acciones específicas de conservación.

Otro aspecto encontrado en este trabajo de investigación y que es fundamental recalcar, es que desde la percepción local de la mayoría de las personas y pobladores, no se visualiza como un problema de gravedad ecológica, ni social la disminución de abejas sin aguijón en sus entornos, aunque comentan que esta disminución es por causas antrópicas. Lo mismo sucede con la pérdida de los conocimientos locales y la transmisión generacional de estos. Lo anterior tiene fuertes repercusiones, pues concebir un estado sostenible de manejo en todo lo que representan las abejas sin aguijón, requiere la participación por voluntad propia de los actores locales, pero también la participación eficaz de los tomadores de decisiones, es decir, el gobierno y las estructuras que pueden incidir en esto como el sector educación, sector de vigilancia ambiental, entre otros.

Por esto se considera necesario que se emprenda con urgencia un plan biocultural de conservación y manejo adecuado de abejas sin aguijón, con

acciones para transitar a la sostenibilidad del manejo de abejas sin aguijón, las cuales podrían ser las siguientes:

- Continuar e impulsar la investigación básica en aspectos tanto de biología (comportamiento, ciclos de vida, nutrición-alimentación, etc); ecología (dinámica de poblaciones y comunidades, interacciones inter e intra-específica, etc); biogeográficas y desde la ecología del paisaje, para conocer los impactos del manejo de paisajes, el cambio climático y otros factores que pudieran inferir en la distribución de estos insectos.
- Realizar un plan dirigido a toda la población para promover la concientización de la importancia de las abejas sin aguijón y en general de los polinizadores nativos. En este plan puede involucrarse la estructura organizada de la Secretaría de Educación Pública en sus diferentes niveles, así como las instituciones de educación superior y las entidades privadas que estén relacionadas con estos temas.
- Promover una estrategia focalizada de rescate o tolerancia de nidos silvestres de abejas sin aguijón dirigido a los actores o población que tienen contacto con estos insectos (agricultores, silvicultores, ganaderos, etc).
- En las áreas naturales protegidas o sitios bajo algún estatus de conservación o protección, monitorear las poblaciones de abejas sin aguijón y de ser posible de abejas nativas para encaminar acciones específicas para su conservación y posible repoblamiento.
- En las localidades o zonas donde exista interés en el manejo técnico sostenible de estas abejas, proporcionar asesoría y capacitación adecuada a los sistemas de conocimiento y saberes tradicionales

locales para desarrollar proyectos de aprovechamiento para algunas especies de abejas sin aguijón.

- Incorporar en carreras y planes de estudio de las escuelas secundarias técnicas y los bachilleratos con vocación ambiental, agropecuario y forestal, así como en las carreras universitarias con afinidad a temas productivos y de las ciencias biológico-naturales, información, charlas, diplomados, cursos, simposios, conversatorios, entre otros, sobre la conservación y uso sostenible de polinizadores, con especial énfasis en abejas nativas.
- Establecer un marco legal y normativo realmente aplicable que sancione o establezca medidas de restauración ecológica y social cuando se realice cambio de uso de suelo, deforestación y destrucción de espacios naturales. Esto es fundamental, pues al menos en el centro occidente del país la deforestación ha traído consecuencias desastrosas para la biodiversidad en general.
- Desarrollar un marco legal y normativo específico para los polinizadores, ya que actualmente en este ámbito hay referencias directas e indirectas en marcos legales de carácter general como la Ley General de Vida Silvestre, conservación y aprovechamiento sustentable y de manera muy incipiente en algunas leyes estatales.
- Desarrollar dentro del marco legal para polinizadores esquemas de incentivos a agricultores, ganaderos y silvicultores para que mantengan en la mayor medida de lo posible hábitats naturales y bosques conservados. Estos esquemas de incentivos ya sean económicos, en especie o de algún otro tipo, deben considerar la opción de conversión

de tierras de uso diverso a espacios de restauración y protección ecológica, además de las buenas prácticas de manejo, remplazando o reduciendo el uso de agroquímicos y diversificando los sistemas de producción. Lo anterior implica básicamente fomentar y transitar hacia prácticas agroecológicas amigables con los polinizadores y la biodiversidad en general.

- Desarrollar estrategias de monitoreo sistemático de polinizadores en áreas bajo algún estatus de protección ecológica o territorial. Pero también fomentar o desarrollar monitoreo de polinizadores de uso común para toda la población en áreas urbanas y ambientes rurales, lo que es denominado ciencia ciudadana.

Dada la importancia biocultural de las abejas sin aguijón en el centro-occidente, donde existe conocimiento ecológico local y especies endémicas, es crucial y urgente transitar del discurso a las acciones tangibles y efectivas, donde el rescate y la conservación deben ser prioritarios. Los resultados de este estudio se espera coadyuven con información para emprender estrategias que permitan recuperar y mantener a las poblaciones de abejas sin aguijón, manteniendo los conocimientos ecológicos locales y cambiando la manera tradicional de aprovechamiento de nidos silvestres por un manejo sostenible que beneficie a estos polinizadores nativos y los sociecosistemas en general.

V.- CONCLUSIONES

- Se registraron 14 especies de abejas sin aguijón (50% endémicas) en el estado de Michoacán, lo que representa el 30.4% del total de esta fauna para México.
- El conocimiento ecológico local (LEK) es amplio, registrándose 22 nombres locales y las características morfológicas por las cuales identifican a estas abejas y los diferentes usos locales de los productos de estas abejas (miel, polen y cerumen).
- Algunos nombres locales de abejas están en idioma purépecha, lo cual se reporta por primera ocasión.
- El manejo tradicional histórico y actual es la extracción total o parcial de nidos, lo cual es perjudicial para las poblaciones de las abejas sin aguijón.
- El conocimiento ecológico local está en proceso de desaparición, pues ya no es transmitido de manera generacional, siendo más evidente en las regiones del estado con mayor desarrollo socioeconómico.
- El aprovechamiento tradicional de abejas sin aguijón es menor en la actualidad por la baja disponibilidad de nidos silvestres y la casi nula necesidad de obtener miel y cerumen de estas abejas para el uso local, pero también por la pérdida del conocimiento local asociado con estos insectos.
- La percepción local de abundancia de abejas sin aguijón indica que en la actualidad hay mucho menos nidos y abejas en los ambientes naturales. Esta disminución es causada principalmente por factores humanos, según la misma percepción de la población local.

- A pesar de que existe una generalizada percepción de disminución de abejas sin aguijón y de conocimientos ecológicos locales, esto no es visto como un problema de gravedad por la mayoría de los pobladores locales.
- A partir de analizar los tipos de vegetación y climas, se determinó que la comunidad de abejas sin aguijón en el estado de Michoacán presenta tres ensambles: especies en zonas templadas en tierras altas, donde se encontró la menor riqueza; especies en el ecotono entre los climas cálidos que junto con zonas calientes de tierras bajas en bosques tropicales secos son las que presentan la mayor riqueza de abejas sin aguijón.
- Se reportan dos nuevos registros de abejas sin aguijón para el estado de Michoacán: *Plebeia manantlensis* Ayala y *Plebeia moureana* Ayala.
- Datos de incidencia muestran especies raras y algunas pocas especies abundantes. Se requiere un monitoreo sistemático para determinar si existen especies que tengan poblaciones diezmadas y puedan entrar en una categoría de vulnerabilidad o riesgo de extinción, como es el caso de *Melipona fasciata* y *M. lupitae*.
- Gran parte del territorio en los bosques templados y bosques subcaducifolios donde habitan las abejas sin aguijón, se encuentran deteriorados y las áreas más conservadas están en riesgo de ser transformadas por la agricultura intensiva, principalmente los cultivo de aguacate.
- Es fundamental emprender acciones de rescate y conservación de estas abejas, pues no solo son importantes polinizadores, sino también fuente

de medicina natural y una alternativa económica por el aprovechamiento sostenible de estas abejas, lo cual puede generar cohesión social e identidad territorial.

- Se presentan algunas acciones concretas para la conservación de estas abejas, pero es urgente construir un plan biocultural para la sostenibilidad de las abejas sin aguijón y la conservación de sus hábitats.

VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., Klein, A. M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103(9), 1579-1588.
- Aldasoro-Maya, E.M., Rodríguez-Robles, U., Martínez-Gutiérrez, M.L., Chamutul, G.A., Avilez-López, T., Morales, H., Ferguson, B.G. Mérida-Rivas, J.A. (2023). Stingless beekeeping: Biocultural conservation and agroecological education. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:1081400. doi: 10.3389/fsufs.2022.1081400
- Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J. et al. (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, 12, 8–17.
- Arnold, N. I. Aldasoro-Maya, M. E. (2013). Abejas sin aguijón y su aprovechamiento en Oaxaca, México, resultados preliminares. En Memorias del VII Congreso Mesoamericano de Abejas Nativas, Costa Rica. 26 al 31 de agosto, Heredia, Costa Rica.
- Arnold, N., Ayala, R., Mérida, J., Sagot, P., Aldasoro, M., Vandame, R. (2018). Registros nuevos de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) para los estados de Chiapas y Oaxaca, México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 89, 651–665. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2429>
- Arnold, N. Zepeda, R., Vásquez-Dávila, M. Aldasoro-Maya, M. (2018). Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México: con catálogo de especies. El Colegio de la Frontera Sur, Comisión Nacional para el Conocimiento y

- Uso de la Biodiversidad, Rémy Benoit Marie Vandame. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. 193 pp.
- Ashworth, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R., Oyama, K. (2009). Pollinator dependent food production in Mexico. *Biology Conservation*, 142, 1050-1057.
- Aswani, S., Lemahieu, A. Sauer, W. H. (2018). Global trends of local ecological knowledge and future implications. *PLoS ONE* 13(4).
- Ayala R. (1999). Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomológica Mexicana*, 106:1-123.
- Ayala R., González V., Engel, M. (2013). Mexican stingless bees (Hymenoptera: Apidae): diversity, distribution, and indigenous knowledge. En *Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bees*. Editado por Vit P, Pedro-Silvia RM, Roubik D. New York: Springer. 135–152.
- Balint, P. J., Stewart, R. E., Desai, A., Walters, L. C. (2011). *Wicked environmental problems: managing uncertainty and conflict*. Island Press. USA.
- Bär, E. M. C., Villaseñor, J. L., Amezcua, L. A., Tenorio, G. C., Manríquez, G. I. (2006). La flora arbórea de Michoacán, México. *Boletín De La Sociedad Botánica De México*, 78, 47–81.
- Becker, T., Pequeno, P. A. C. L., Carvalho-Zilse, G. A. (2018). Impact of environmental temperatures on mortality, sex and caste ratios in *Melipona interrupta* Latreille (Hymenoptera, Apidae). *The Science of Nature*, 105(9), 1-9 [https:// doi. org/ 10. 1007/ s00114- 018- 1577-6](https://doi.org/10.1007/s00114-018-1577-6)
- Bennett, C. F. (1964). Stingless beekeeping in western Mexico. *The Geographical Review* (54) 85-92.

- Berkes, F. (1999). *Sacred Ecology. Traditional Ecological Knowledge and Resource Management*, Taylor & Francis, Philadelphia and London, UK.
- Berkes, F., Colding, J., Folke, C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, 10(5), 1251-1262.
- Berkes, F., Folke, C. (2002). Back to the future: Ecosystem dynamics and local knowledge. In *Panarchy: Understanding Transformations in Systems of Humans and Nature*, Gunderson, L. H. and Holling, C. S. (eds.), Island Press, Washington, DC, pp. 121–169.
- Berkes, F., Turner, N. J. (2006). Knowledge, learning and the evolution of conservation practice for social-ecological system resilience. *Human Ecology*, 34(4), 479-494.
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S. P., Reemer, M., Ohlemuller, R., Edwards, M., Peeters, T., .. Kunin, W. E. (2006). Parallel declines in pollinators and insect pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313(5785), 351-354.
- Binder, C. R., Hinkel, J., Bots, P. W., Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(4).
- Bocco, G., Mendoza, M., Velázquez, A., Torres, A. (1999). La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México: El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas*, (40), 7-22.

- Bocco, G., Mendoza, M., Maser, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44, 18-38.
- Bravo-Espinosa, M., Mendoza, M. E., Carlón Allende, T., Medina, L., Sáenz-Reyes, J. T. Páez, R. (2014). Effects of converting forest to avocado orchards on topsoil properties in the trans-Mexican volcanic system, Mexico. *Land Degradation & Development*, 25(5), 452-467.
- Brosi BJ, Daily GC, Ehrlich PR (2007) Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. *Ecol Appl*. [https:// doi. org/ 10. 1890/ 06-0029](https://doi.org/10.1890/06-0029)
- Brosi, B. J., Daily, G. C., Shih, T. M., Oviedo, F., Durán, G. (2008). The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 773-783.
- Brosi, B. J. (2009). The complex responses of social stingless bees (Apidae: Meliponini) to tropical deforestation. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1830-1837.
- Brown, J. C., Albrecht, C. (2001). The effect of tropical deforestation on stingless bees of the genus *Melipona* (Insecta: Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in central Rondonia, Brazil. *Journal of Biogeography*, 28(5), 623-634.
- Brundiers, K., Wiek, A., Redman, C. L. (2010). Real-world learning opportunities in sustainability: from classroom into the real world. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 11(4), 308-324.

- Cairns, C.E., Villanueva-Gutierrez R., Koptur, S., Bray D.B. (2005). Bee populations, forest disturbance, and Africanization in Mexico. *Biotropica*, 37(4), 686-692. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00087.x>
- Camargo, J. M. F., Pedro, S. M. (2013). Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D., Melo, G. A. R. (Orgs). *Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region*. online version. Disponible en <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Accessed Apr/10/2015
- Calvillo, L. M., Ramírez, V. M., Parra-Tabla, V., Navarro, J. (2010). Bee diversity in a fragmented landscape of the Mexican neotropic. *Journal of Insect Conservation*, 14(4), 323-334.
- Cane, J.H., Minckley, R.L., Kervin, L.J., Roulston, T.H., Williams, N.M. (2006). Complex responses within a desert bee guild (Hymenoptera: Apiformes) to urban habitat fragmentation. *Ecological Applications*, 16, 632-644.
- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Chavero, E. L., Maass, M. (2015). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 6(2).
- Chan-Mutul, G. A., Vera-Cortés, G., Aldasoro-Maya, E. M. Sotelo Santos, L. E. (2019). Retomando saberes contemporáneos. Un análisis del panorama actual de la meliponicultura en Tabasco. *Estudios de cultura maya*, 53, 289-326.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs*, 84, 45-67.

- Chávez, L. G., Tapia, L., Bravo, M., Sáenz, T., Muñoz, H., Vidales, I., Larios, A., Rentería, J., Villaseñor, F., Sánchez, J. de la L., Alcántar, J. Mendoza, M. (2012). Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Uruapan.
- CONABIO (1998). 'Climas'(clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1: 1000 000. México.
- Contreras-Escareño, F., Echazarreta, C. M., Guzmán-Nóvoa, E., Macías-Macías, J. O. (2019). Traditional Knowledge and Potential Use of Stingless Bees (Hymenoptera: Meliponinae) in the Manantlan Sierra, Jalisco, Mexico. *Sociobiology* 66(1): 120-125.
- Correa, P. G. (1974). Geografía del estado de Michoacán. Gobierno del Estado de Michoacán, México.
- Cortopassi-Laurino, M., Imperatriz-Fonseca, V. L., Roubik, D. W., Dollin, A., Heard, T., Aguilar, I. Nogueira-Neto, P. (2006). Global meliponiculture: challenges and opportunities. *Apidologie*, 37(2), 275-292.
- Crane, E. (1992). The past and the present status of beekeeping with stingless bees. *Bee World*, 73(1), 29-42.
- Crane, E. (1999). The world history of beekeeping and honey hunting. Routledge.
- Dixon, C.V. (1987). Beekeeping in Southern Mexico. Conference of Latin Americanist Geographers. Year Book, 13, 68-77.

- Dos Santos CF, Acosta AL, Nunes-Silva P, Saraiva AM, Blochtein B (2015). Climate warming may threaten reproductive diapause of a highly eusocial bee. *Environmental Entomology*. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv064>
- Ehrlich, P. R., Kareiva, P. M., G. C. Daily. (2012). Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization. *Nature* 486, 68–73
- FAO. (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Compendio de datos. Roma, Italia.
- Ferreira, P. A., Boscolo, D., Viana, B. F. (2013). What do we know about the effects of landscape changes on plant–pollinator interaction networks?. *Ecological Indicators*, 31, 35-40.
- Funtowicz, S. O. Ravetz, J. R. (1993). The emergence of post-normal science. In *Science, Politics and Morality*. Springer Netherlands. 85-123 pp.
- Freitas, B. M., Imperatriz-Fonseca, V. L., Medina, L. M., Kleinert, A. D. M. P., Galetto, L., Nates-Parra, G., Quezada-Euán, J. J. G. (2009). Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40(3), 332-346.
- Gallai, N., Salles, J.M., Settele, J., Vaissiere, B.E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, 810-821.
- Galetto, L., Aizen, M. A., Arizmendi, M. D. C., Freitas, B. M., Garibaldi, L. A., Giannini, T. C., ... Imperatriz Fonseca, V. L. (2022). Risks and opportunities associated with pollinators' conservation and management of pollination services in Latin America. *Ecología Austral*, 32, 55-76. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.0.1790>

- Gallopin, G. C., Gutman, P., Maletta, H. (1989). Global impoverishment, sustainable development and the environment: a conceptual approach. *International Social Science Journal*, XLI(121): 375-397.
- Giannini, T. C., W. F. Costa, R. C. Borges, L. Miranda, C. P. W. da Costa, A. M. Saraiva, A. M., and V. L. Imperatriz-Fonseca. (2020). Climate change in the Eastern Amazon: crop-pollinator and occurrence-restricted bees are potentially more affected. *Regional Environmental Change* 20(1):1-12. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01611-y>.
- Gómez-Baggethun, E., Corbera, E. Reyes-García, V. (2013). Traditional ecological knowledge and global environmental change: research findings and policy implications. *Ecology and Society: a journal of integrative science for resilience and sustainability* 18(4): 72.
- González-Acereto, J. (2008). *Cría y manejo de abejas nativas sin aguijón en México*. Impresiones Planeta. México.
- González-Varo, J. P., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Potts, S. G., Schweiger, O., Smith, H. G., Steffan-Dewenter, I., Szentgyörgyi, H., Woyciechowski, M. Vilà, M. (2013). Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(9), 524-530.
- Halffter, G. (1976). Distribución de los insectos en la zona de transición mexicana. Relaciones con la entomofauna de Norteamérica. *Folia Entomológica Mexicana*, 35, 1-64.
- Heard, T. (1999). The role of stingless bees in crop pollination. *Annual Review of Entomology*, 44(1), 183-206.
- Hendrichs, PR. (1941). El cultivo de abejas indígenas en el Estado de Guerrero. *México Antiguo*. 5: 365-73.

- Hsieh, T. C., Ma, K. H., Chao, A. (2020). iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity. R package version 2.0.20. <http://chao.stat.nthu.edu.tw/>
- INEGI. (2016). Estructura Económica de Michoacán de Ocampo en síntesis. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 17 pp. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825084943.pdf
- Jaffé, R., Veiga, J. C., Pope, N. S., Lanes, É. C., Carvalho, C. S., Alves, R., ... Imperatriz-Fonseca, V. L. (2019). Landscape genomics to the rescue of a tropical bee threatened by habitat loss and climate change. *Evolutionary Applications*, 12(6), 1164-1177. <https://doi.org/10.1111/eva.12794>
- Johannes, R. E. (2002). Did indigenous conservation ethics exist?. *SPC Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bulletin*, 14, 3-7.
- Kates, R.W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J.M., Jaeger, C.C., Lowe, I., McCarthy, J.J., Schellnhuber, H.J., Bolin, B., Dickson, N.M., Faucheux, S., Gallopin, G.C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N.S., Kaspersen, R.E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore III, B., O'Riordan, T. Svedin, U. (2001). Sustainability Science. *Science*, 292(5517), 641-642.
- Kearns, C.A., Inouye, D.W., Waser, N.M. (1998). Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 83-112.
- Kent R. (1984). Mesoamerican stingless beekeeping. *Journal of Cultural Geography*. 4(2): 14-28 pp.

- Kerr, W., Carvalho, G.A. Nascimento, V.A. (1999). The probable consequences of the destruction of Brazilian stingless bees. *Advances in Economic Botany*, 13, 395-403.
- Kevan, P. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. In *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*, 373-393.
- Klein, J. T. (2014). Discourses of transdisciplinarity: looking back to the future. *Futures*, 63, 68-74.
- Klein, A.M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.
- Kremen, C., Williams, N.M. Thorp, R.W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16812-16816.
- Kremen, C., Williams, N. M., Bugg, R. L., Fay, J. P. Thorp, R. W. (2004). The area requirements on an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters*. 7, 1109-1119.
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., ... Vázquez, D. P. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10(4), 299-314.
- Lebuhn, G., Droege, S., Connor, E. F., Gemmill-Herren, B., Potts, S. G., Minckley, R. L., ... Parker, F. (2013). Detecting insect pollinator declines on regional and global scales. *Conservation Biology*, 27(1), 113-120.

- Leff, E. (2004). Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza. México: Siglo XXI Editores. México.
- Lichtenberg E.M., Mendenhall C.D., Brosi B. (2017). Foraging traits modulate stingless bee community disassembly under forest loss. *Journal of Animal Ecology*, 86(6), 1404-1416.
- Lima, M.A.P., Martins GF, Oliveira, E.E., Guedes, R.N.C. (2016). Agrochemical-induced stress in stingless bees: peculiarities, underlying basis, and challenges. *J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol*. <https://doi.org/10.1007/s00359-016-1110-3>
- Lyver, P., Perez, E., Carneiro da Cunha, M. Roué, M. (2014). Indigenous and local knowledge about pollination and pollinators associated with food production: outcomes from the global dialogue workshop. UNESCO, Paris.
- Maass, J. M., Cotler, H. (2007). Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*, 41-58.
- Macias-Macias, J.O., Otero-Colina, G. (2004). Infestation of *Pyemotes tritici* (Acari: Pyemotidae) on *Melipona colimana* (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae): A case study. *Agrociencia*. 38(5):525-528.
- Macías-Macías, J. O., Quezada-Euán, J. J. G., Contreras-Escareño, F., Tapia-Gonzalez, J. M., Moo-Valle, H., Ayala, R. (2011). Comparative temperature tolerance in stingless bee species from tropical highlands and lowlands of Mexico and implications for their conservation (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Apidologie*, 42(6), 679-689.
- Macias-Macias, J. O., Quezada-Euan, J., Tapia-Gonzalez, J. M. Conteras-Escareño, F. (2014). Nesting sites, nest density and spatial distribution of

- Melipona colimana Ayala (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in two highland zones of western, Mexico. *Sociobiology*, 61(4), 423-427.
- Mas, J. F., Lemoine-Rodríguez, R., González, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A. Herrera-Flores, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y Bosques*, 23(2), 119-131.
- May-Itzá, W. D. J., Martínez-Fortún, S., Zaragoza-Trello, C., Ruiz, C. (2022). Stingless bees in tropical dry forests: global context and challenges of an integrated conservation management. *Journal of Apicultural Research*, 61(5), 642-653.
- Michener, C.D. (2007). *The bees of the world*. Second edition. The Johns Hopkins University Press. 953 pp.
- Miguélez, M. M. (2009). Hacia una epistemología de la complejidad y transdisciplinariedad. *Utopía y Praxis latinoamericana*, 14(46), 11-31.
- Miller, T. R. (2013). Constructing sustainability science: emerging perspectives and research trajectories. *Sustainability Science*, 8(2), 279-293.
- Morfin, N., Gashout, H. A., Macías-Macías, J. O., De la Mora, A., Tapia-Rivera, J. C., Tapia-González, J. M., ... Guzman-Novoa, E. (2021). Detection, replication and quantification of deformed wing virus-A, deformed wing virus-B, and black queen cell virus in the endemic stingless bee, *Melipona colimana*, from Jalisco, Mexico. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(2), 1285-1292.
- Nogueira-Neto, P. (1997). *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. Nogueirapis, Sao Paulo Brasil.

- Nuñez-Penichet, C., Osorio-Olvera, L., Gonzalez, V. H., Cobos, M. E., Jiménez, L., DeRaad, D. A., ... Soberon, J. (2021). Geographic potential of the world's largest hornet, *Vespa mandarinia* Smith (Hymenoptera: Vespidae), worldwide and particularly in North America. *PeerJ*, 9, e10690.
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3), 321-326.
- Osterman, J., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Bosch, J., Howlett, B. G., Inouye, D. W., ... Paxton, R. J. (2021). Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107653.
- Palacio-Prieto, J. L., Bocco, G., Velásquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., Luna-González, L., Gómez-Rodríguez, G., López-García, J., Palma, M., Trejo-Vázquez, I., Peralta, A., Prado-Molina, J., Rodríguez-Aguilar, A., Mayorga-Saucedo, R., González-Medrano, F. (2000). La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas*, 43, 183-203.
- Porter-Bolland, L., Gallardo, C., Ruiz de la Merced F. Quiroz, R. (2015). La meliponicultura en el municipio de Atzalan, Ver.: un diagnóstico sobre la situación actual de la actividad y sus necesidades In Guzmán, M., and Vandame, R. (Coords.), *Manejo de las abejas sin aguijón en Mesoamerica*, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas.
- Simms, S. R., Porter-Bolland, L. (2022). Local ecological knowledge of beekeeping with stingless bees (Apidae: Meliponini) in Central Veracruz, Mexico. *Journal of Apicultural Research*, 61(5), 717-729.

- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Vanbergen, A. J. (2016a). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), 220-229.
- Potts, S. G., Ngo, H. T., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., ...Vanbergen, A. (2016b). IPBES. The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production. 556 pp. <http://www.ipbes.net/node/44781>.
- Quezada-Euán, J. J. G., May-Itzá, W. de J. González-Acereto, J. A. (2001). Meliponiculture in México: problems and perspective for development. *Bee World* 82, 160-167.
- Quezada-Euán, J. J. G. (2018). *Stingless bees of Mexico: Stingless bees of Mexico: The biology, management and conservation of an ancient heritage*. Springer. Switzerland.
- Quezada-Euán, J. J. G., Nates-Parra, G., Maués, M. M., Roubik, D. W., Imperatriz-Fonseca, V. L. (2018). The economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology*, 65(4), 534-557.
- Resilience Alliance. 2010. *Assessing resilience in socialecological systems: workbook for practitioners*. Version 2.0. Resilience Alliance. [online] URL: http://www.resalliance.org/index.php/resilience_assessment.

- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., Reyes-Salas, O., Argueta, A., Casas, A. (2014). Diversity, local knowledge and use of stingless bees (Apidae: Meliponini) in the municipality of Nocupétaro, Michoacan, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(4), 1-12.
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., Gómez-Arreola, S. (2016). From extraction to meliponiculture: a case study of the management of stingless bees in the West-central region of Mexico. In *Beekeeping and Bee Conservation-Advances in Research*. InTech.
- Reyes-González, A., Ayala, R., Camou-Guerrero, A. (2017). Nuevo registro de abeja sin aguijón del género *Plebeia* (Apidae: Meliponini), en el alto Balsas del estado de Michoacán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(2), 464-466.
- Reyes-González, A., Camou-Guerrero, A., del-Val, E., Ramírez, M. I., Porter-Bolland, L. (2020). Biocultural Diversity Loss: the Decline of Native Stingless Bees (Apidae: Meliponini) and Local Ecological Knowledge in Michoacán, Western México. *Human Ecology*, 48(4), 411-422.
- Reyes-Gonzalez, A., Mora, F., Porter-Bolland, L., Ramírez, I. M., del-Val, E. (2022). Stingless bees (Apidae: Meliponini) at risk in western Mexico. *Biotropica*, 54, 829-838. <https://doi.org/10.1111/btp.13100>
- Reyes-Novelo, E., Ramírez, V.M., González, H.D., Ayala, R. (2009). Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) como bioindicadores en el neotrópico. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 10(1), 1-13.
- Ricketts, T. H. (2001). The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*, 158(1), 87-99.

- Ricketts, T.H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Bogdanski, A., Gemmill-Herren, B., Greenleaf, S.S., Klein, A.M., Mayfield, M.M., Morandin, L.A., Ochieng, A. Viana, B.F. (2008). Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. *Ecology Letters*, 11, 1121-1121.
- Rittel, H. W., Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169.
- Rosa, A.D.S., l'Anson Price, R., Ferreira Caliman, M. J., Pereira Queiroz, E., Blochtein, B., Sílvia Soares Pires, C., Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The stingless bee species, *Scaptotrigona aff. depilis*, as a potential indicator of environmental pesticide contamination. *Environmental toxicology and chemistry*, 34(8), 1851-1853.
- Rosso-Londoño, J., Imperatriz-Fonseca, V. L. (2017). Abelha não serve só pra botar mel, não!": meleiros e conflito socioambiental na Caatinga potiguar. En: *A abelha jandaíra no passado, presente e futuro*. Vera Lucia Imperatriz-Fonseca, Dirk Koedam, Michael Hrnir (Editores). Mossoró: *EdUFERSA*, 101-108.
- Roubik DW (1978). Competitive interactions between neotropical pollinators and Africanized honey bees. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.201.4360.1030>
- Roubik, D. W. (1989). *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press. New York, USA.
- Roubik, D. W. (2000). Pollination system stability in tropical America. *Conservation Biology*, 14(5), 1235-1236.

- Roubik, D. W., Wolda, H. (2001). Do competing honey bees matter? Dynamics and abundance of native bees before and after honey bee invasion. *Population Ecology*, 43(1), 53-62.
- Roubik, D. W. (2006). Stingless bee nesting biology. *Apidologie*, 37(2), 124-143.
- Roubik, D. W. (2009). Ecological impact on native bees by the invasive Africanized honey bee. *Acta Biológica Colombiana*, 14(2), 115-124.
- Rzedowski, J. (1986). *Vegetación de México*. Limusa, México, 432 pp.
- Sáenz-Ceja, J.E.; Sáenz-Reyes, J.T.; Castillo-Quiroz, D. (2022). Pollinator Species at Risk from the Expansion of Avocado Monoculture in Central Mexico. *Conservation*, 2, 457-472. <https://doi.org/10.3390/conservation2030031>
- Samejima, H., Marzuki, M., Nagamitsu, T. Nakasizuka, T. (2004). The effects of human disturbance on a stingless bee community in a tropical rainforest. *Biological Conservation*, 120(4), 577-587.
- Slaa, E. J., Chaves, L. A. S., Malagodi-Braga, K. S., Hofstede, F. E. (2006). Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie*, 37(2), 293-315.
- Spangenberg, J. H. (2011). Sustainability science: a review, an analysis and some empirical lessons. *Environmental Conservation*, 38(03), 275-287.
- Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., Tscharntke, T. (2002). Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*, 83(5), 1421-1432.

- Steffan-Dewenter, I., Potts, S. G., Packer, L. (2005). Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(12), 651-652.
- Steffan-Dewenter, I., Westphal, C. (2008). The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 737-741.
- Sutherland, W.J. (1996). *Ecological Census Techniques: A Handbook*. Cambridge University Press. United Kingdom. pp 336.
- Taki, H., Kevan, P. G., y Ascher, J. S. (2007). Landscape effects of forest loss in a pollination system. *Landscape Ecology*, 22(10), 1575-1587.
- Thiébaud, V. (2011). Evolución del paisaje aguacatero en Michoacán: procesos socioeconómicos y medioambientales. *Estudios Sociales Nueva Época*, (7), 235-254.
- <http://148.202.18.157/sitios/publicacionesite/ppperiod/estusoc/articulos6.pdf>
- Toledo, V. M., Barrera-Bassols, N. (2008). La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. (Vol. 3). Icaria editorial.
- Torres-Ruiz, A., Jones, R. W., Barajas, R. A. (2013). Present and Potential use of Bees as Managed Pollinators in Mexico¹. *Southwestern Entomologist*, 38(1), 133-148.
- Winfree, R., Griswold, T., Kremen C. (2007). Effect of human disturbance on bee communities in a forested ecosystem. *Conservation Biology*, 21, 213-223.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D. P., LeBuhn, G., Aizen, M. A. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8), 2068-2076.

- Uribe, T. O., Mastrangelo, M., Torrez, D. V., Piaz, A., Gallego, F., Soler, M. F., ... Espino, Z. G. (2014). Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: Reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos. *Investigación ambiental ciencia y política pública*, 6(2).
- Vásquez-Dávila M. A. (2009). Las Abejas Nativas de los Grupos Étnicos del Istmo de Tehuantepec, Sur de México. VI Congreso Mesoamericano sobre Abejas Nativas, Antigua-Guatemala, Guatemala.
- Vargas, P. J. P., Vásquez-Dávila, M. A., María, T. G. G. G., González, I. A. (2014). Pisilnekmej: Una mirada a la cosmovisión, conocimientos y prácticas nahuas sobre *Scaptotrigona mexicana* en Cuetzalan, Puebla, México. *Revista Etnoecologica*, 10, 37-40.
- Villanueva, G. R., Roubik, D. W., Colli-Ucán, W. (2005). Extinction of *Melipona beecheii* and traditional beekeeping in the Yucatán Peninsula. *Bee World*, 86, 35-41.
- Yañez-Ordóñez, O., Trujano, M. Llorente, J. (2008). Patrones de distribución de las especies de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apoidea: Apidae) en México. *Interciencia*, 33(1), 41-45.
- Yurrita, C.L., Ortega-Huerta, M.A. Ayala, R. (2017). Distributional analysis of *Melipona* stingless bees (Apidae: Meliponini) in Central America and Mexico: setting baseline information for their conservation. *Apidologie*, 48(2), 247-258.
- Zepeda, R., Estrada, I. (2016). Meliponicultura para la sustentabilidad. Una propuesta para resignificar la crianza de abejas sin aguijón, en contextos de crisis socio-ambiental. X Congreso Mexicano de Etnobiología, San Cristóbal de las Casas, México.

Zuur, A., Leno, E. N., Smith, G. M. (2007). Analyzing ecological data. Springer
Vol. 680. New York, USA.

ANEXOS

Se incorpora como anexo la nota científica Competition interactions among stingless bees (Apidae: Meliponini) for *Croton yucatanensis* Lundell resins, publicada en la revista *International Journal of Tropical Insect Science*. Esta publicación fue resultado de la actividad académica registrada en el 5° semestre de los estudios de doctorado. Dicho curso fue impartido por el Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, titulado: *Ecología y Conservación del Bosque Tropical Caducifolio de Centro América: Curso experimental de campo*; se desarrolló en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica del 18 de julio al 01 de agosto del año 2018.

Referencia bibliográfica:

Reyes-González, A., Zamudio, F. (2020). Competition interactions among stingless bees (Apidae: Meliponini) for *Croton yucatanensis* Lundell resins. *International Journal of Tropical Insect Science*, **40**, 1099–1104.

<https://doi.org/10.1007/s42690-020-00160-5>



Competition interactions among stingless bees (Apidae: Meliponini) for *Croton yucatanensis* Lundell resins

Alejandro Reyes-González¹ · Fernando Zamudio²

Received: 22 August 2019 / Accepted: 4 May 2020
© African Association of Insect Scientists 2020

Abstract

Stingless bees use extrafloral resources such as resins for nest construction, defense systems and chemical communication. We conducted the first study of the resin-collecting process from *Croton yucatanensis* Lundell shrubs by three stingless bee species in the tropical deciduous forest of the Guanacaste Conservation Area, Costa Rica. We performed systematic observations on 10 *C. yucatanensis* shrubs for 10-min periods between 8:20 a.m. and 3:00 p.m. for three days, and for 90 min we focused on behavior and interaction among bees on three shrubs. *Trigona corvina* Cockerell was the most frequent visitor. These bees made cuts on shrub stems and leaves to collect resin and transport it in their corbiculae. Others visitor species were *Trigona fulviventris* Guérin and *Plebeia frontalis* Friese, which tried to approach the resin remains left by *T. corvina*. While monopolizing the resource, *T. corvina* behaved aggressively if approached by *T. fulviventris*. Towards the last hour of sampling, *T. fulviventris* visits increased notably, which may indicate a decrease in the dominance or aggressiveness of *T. corvina* at that time. This tendency seems to be the beginning of temporal resource partitioning behavior commonly observed in bee communities. We provide novel observations on the ways in which stingless bees collect resin and the interactions that occur among them. We also propose and discuss working hypotheses to explain the fact that all the individuals observed almost exclusively visited a single *C. yucatanensis* specimen.

Keywords Aggressive interaction · Plant resin · *Trigona corvina* · *Trigona fulviventris* · Guanacaste conservation area

Introduction

Stingless bees (Apidae: Meliponini) are an important hymenopteran social group in the tropics, given their diversity, abundance and major role in pollination (Roubik 1989; Slaa et al. 2006; Michener 2007). They collect a wide range of extrafloral resources, among which resins are particularly important (Roubik 1989, 2006; Noll et al. 1996; Biesmeijer and Slaa 2004; Michener 2007; Leonhardt and Blüthgen 2009). Resins are sticky aromatic substances secreted by plants, which contain diverse volatile compounds and fulfill

defensive purposes against herbivores and microbes (Langenheim 2003).

Many stingless bee species use resin mixed with wax for nest construction (Roubik 2006). They also use resin as a defense system, e.g., by placing resins on invading insects in order to immobilize them and as a sanitary barrier to prevent microbial infections that may affect their food reserves or larval development (Armbruster 1984; Howard 1985; Roubik 1989, 2006; Lehberg et al. 2008; Leonhardt and Blüthgen 2009; Gastauer et al. 2011). Additionally, given the volatile nature of their constitutive elements, resins are used for inter-specific and intra-specific communication (Leonhardt et al. 2009, 2010; Sánchez and Vandame 2013; Leonhardt 2017). In some groups of bees, the use of resins has been acknowledged as a key activity in diversification and the evolution of sociability (Roubik 1989; Simone et al. 2009; Litman et al. 2011; Leonhardt et al. 2013; Drescher et al. 2014).

Howard (1985) proposed that resin is a limiting resource for colony growth. Resin should therefore be aggressively defended by stingless bees, leading to intra- and inter-

✉ Alejandro Reyes-González
argboy@gmail.com

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta C.P., 58190 Morelia, Michoacán, Mexico

² Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

specific antagonistic behaviors (Johnson and Hubbell 1974, 1975; Hubbell and Johnson 1977, 1978; Johnson 1982; Nagamitsu and Inoue 1997; Biesmeijer and Slaa 2004; Leonhardt and Blüthgen 2009). It has also been noted that larger, more aggressive bees could monopolize resin resources and be dominant over smaller species (Johnson 1982; Slaa et al. 2003). The current paper reports the first study on resin collection from *Croton yucatanensis* Lundell by stingless bees and inter-specific interactions among these bees, contributing to the understanding of behaviors related to the collection and use of resins by Neotropical stingless bees.

Materials and methods

This study was conducted in the Santa Rosa National Park in the Guanacaste Conservation Area, Costa Rica. We selected 10 similar-sized *C. yucatanensis* shrubs in non-reproductive stage (flowers and fruits absent). The shrubs were located 6–12 m apart within an area of 2.5 acres in the Deciduous Tropical Forest (10° 50.1' N, 85° 36.7' W). According to the literature, this kind of patch distribution is common for *Croton yucatanensis* shrubs (Burger and Huft 1995). The proximity among shrubs enabled each observer to make multiple observations. We observed one quarter of the top section of each *C. yucatanensis* shrub, which provided an easily watchable area. For three days between 8:20 a.m. and 3:00 p.m., we recorded all stingless bee visits during three 10-min observation periods, adding up to 15 h of observation. We moved from one shrub to another to make equitable observations of *C. yucatanensis* individuals during the established observation periods. We did not make statistical inferences because bee visits were close to zero in many of the *C. yucatanensis* shrubs. The visiting rate was considered as the total visits by each bee species to each *Croton* shrub during the observation time, and shown as a percentage. We considered one visit when bees hovered over or landed on a *Croton* shrub. For behavioral observations, we concentrated for 10-min periods on three *Croton* shrubs, adding up to 90 min. During these ethological observations, we focused on how the bees generated and collected resin from the shrub and how they interacted when different bee species were present simultaneously at this resource. We used a general observation technique (no focal animal) due to the great abundance of bees at the same time over the resin resource.

We applied Johnson and Hubbell's (1974) definition of interaction – “all interruptions of the other behavior states caused by the presence of another bee” – using a simplified version of the behavior states that they describe. We considered direct aggression to be any behavior including vibrating, raising the wings in a “V” shape or abrupt flight.

We collected and identified five individuals of each of the three morphospecies found in the field. The identifications

were confirmed by taxonomist MSc. Jorge Merida (Colegio de la Frontera Sur), who is an expert in the identification of this tribe of bees. The voucher specimens remain temporarily in the first author's collection (ARG) and will subsequently be deposited in the Biological Collection of Invertebrates of Chamela Biological Station, UNAM.

Results and discussion

We recorded three stingless bee species collecting resin: *Trigona corvina* Cockerell, *Trigona fulviventris* Guérin and *Plebeia frontalis* Friese. Over the three days, we observed 134 visits, of which 53% were by *T. corvina*, 43% *T. fulviventris* and only 4% *P. frontalis*. We did not observe any other insects collecting resins. *T. corvina* was the most frequent visitor to the plants during the first two daily observation periods (Fig. 1), but during the third period, *T. fulviventris* visits outnumbered those by *T. corvina*. Only *T. corvina* was observed damaging the stems and leaves of *C. yucatanensis* with its mandibles. A few seconds after it damaged stems or leaves, a drop of resin emerged from the wounded tissue (Fig. 2). The exuded resin was liquid upon emerging, but solidified within minutes. The bees then collected the solid resin, manipulated it with their mandibles and placed it on the corbiculae of their hind legs (Fig. 2). We confirmed the consistency of the resin by intentionally damaging stems and leaves. Koschnitzke (2011) described similar behavior in *Trigona spinipes*, which caused latex drainage from laticiferous flowers.

We observed that several *T. corvina* individuals that were collecting resin at the same time monopolized the resin resources. They remained close to the damaged area for a few minutes, apparently protecting the source of resin. At the same time, *T. fulviventris* and *P. frontalis* tried to approach the resin remains left by *T. corvina*, but spent more time flying around the resin than effectively collecting it. *Trigona fulviventris* and *P. frontalis* avoided *T. corvina* and settled very briefly to collect resin, keeping at a distance from the bee that was monopolizing it. *T. fulviventris* visits increased during the last observation period, after 1:00 p.m. (Fig. 1). Although these patterns are descriptive, the notable increase in *T. fulviventris* later in the day may indicate a decrease in the dominance or aggressiveness of *T. corvina*, even though the frequency of its visits did not decrease. This slight change may reflect the beginning of temporal resource partitioning behavior (Johnson 1982).

On three occasions, we observed direct contact aggressive behavior by *T. corvina* against *T. fulviventris*. When a *T. corvina* that was collecting resin was approached by a *T. fulviventris*, it vibrated and raised its wings in a “V” shape, after which it made an abrupt flight to drive away the intruder. This is similar to the behavior reported by Johnson and Hubbell (1974) for *Trigona silvestriana* Vachal and

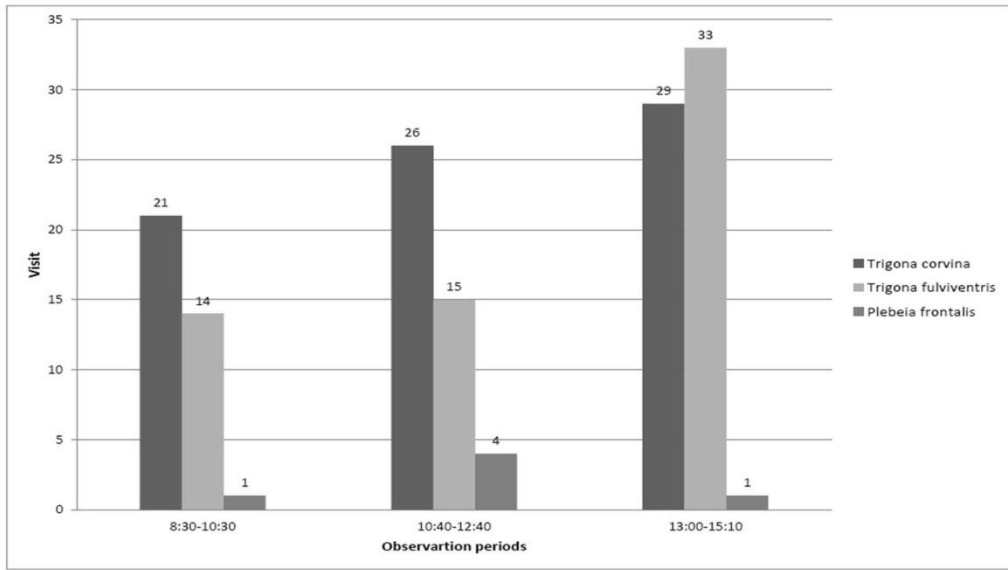


Fig. 1 Visits of stingless bees to *Croton yucatanensis* Lundell

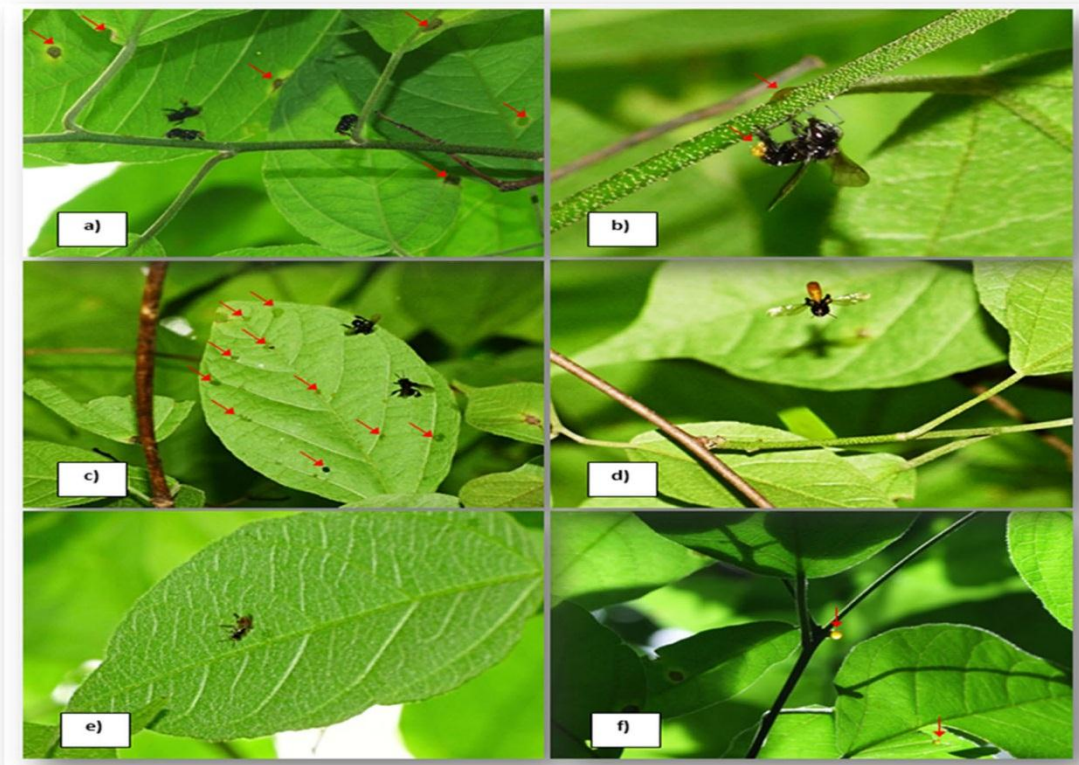


Fig. 2 Stingless bees collecting resins. a Several *Trigona corvina* individuals collecting resin from *Croton yucatanensis*; b *Trigona corvina* with resin in its corbiculae; c Two *Trigona corvina* individuals damage a *Croton yucatanensis* leaf. Arrows indicate resin secretion. d

Trigona fulviventris in flight near the resin sources; e *Plebeia frontalis* on a *Croton yucatanensis* leaf; f Resin drops emerging from the stem and leaf sites where the bees made cuts

T. corvina in an experimental descriptive field study of aggression and competition among stingless bees in Turrialba, Costa Rica. In all the interaction cases observed in our study, *T. fulviventris* avoided *T. corvina* momentarily but without moving away from the shrub. This has been considered a contactless form of threat in other stingless bee species (Johnson and Hubbell 1974). We also observed six instances of *T. fulviventris* chasing away *P. frontalis* by means of rapid, abrupt flights. We did not notice any negative interaction of *T. corvina* towards *P. frontalis*.

Aggressive behaviors among bee species that compete for limited resources are more likely to occur when they differ in body size, i.e., larger bees attack smaller bees (Johnson 1982; Slaa et al. 2003). This seems to be the case in our study system, since *T. corvina* is larger (inter-tegulae span = 2 mm) than *T. fulviventris* (inter-tegulae span = 1.47 mm), as well as being the most aggressive bee that collects resin from *C. yucatanensis* shrubs. However, we cannot dismiss the possible influence of other factors, considering that bee coloring and cuticle chemical composition have also been shown to influence the aggressive interactions between stingless bees (Hrncir and Maia-Silva 2013; Leonhardt 2017). Furthermore, we were unable to discriminate whether dominance was according to individual bee body size or according to foraging group size, as proposed by Lichtenberg et al. (2010).

It is important to mention that the bees almost exclusively visited only three of the 10 *C. yucatanensis* shrubs observed. There are several possible explanations for this pattern, which we present as working hypotheses for future studies: 1) *Trigona corvina* may be the species that first located the resource and may have a mass recruiting strategy from the same nest (Hubbell and Johnson 1978; Slaa et al. 2003; Lichtenberg et al. 2010). This might explain why their activity concentrated on a few individual shrubs and the bees were not evenly distributed among all the nearby shrubs. Johnson and Hubbell (1975) observed that less aggressive bees usually discover resource patches earlier than more aggressive species do. However, this is unlikely in our case, at least regarding the first discovery of the resource, because *T. corvina* is probably the only one of the three species observed which has serrated jaws strong enough to cut stems and leaves in order to extract resins; 2) *Trigona corvina* may prefer certain *C. yucatanensis* individuals because they may provide a greater quantity of resin or resin with a certain characteristic. This could happen either because there is often intra-specific variation among defensive plant compounds (Langenheim et al. 1978) or as a result of plant defense response to damage caused by the bees (Xiao et al. 2019); 3) *Trigona corvina* may concentrate its searching effort on locating one individual from which to collect all the resin available, moving on to other *C. yucatanensis* individuals when resin productivity decreases. Clumped resources may be easier to defend than scattered resources (Johnson and Hubbell 1974; 1975). In all cases, *T. fulviventris* and *P. frontalis* used

the resource left by *T. corvina*. Their behavior could be included in the concept known as “local enhancement” (Slaa et al. 2003), which Sommerlandt et al. (2014) recently proposed for *T. corvina*. Sommerlandt et al. (2014) describe experiments in which *T. corvina* foragers were attracted by olfactory and visual cues released by conspecifics but avoided feeders associated with heterospecific individuals of the species *Tetragona zieglerei* Friese.

Our observations agree with the inter-specific interactions described by Johnson and Hubbell (1974), where large (10-mm) and medium-sized (7-mm) aggressive bee species, *Trigona silvestriana* and *Trigona corvina*, respectively, interact against less aggressive, medium-sized (7-mm) and small (4- to 5-mm) *Trigona* bee species. In general, non-aggressive species avoid aggressive species and smaller species avoid larger species (Slaa et al. 2003). According to Johnson and Hubbell (1974) the process of competitive displacement or exclusion around a resource in dispute can be “a little dramatic but very effective”. Under these circumstances, dominant species may display some contactless threats (see Nieh et al. 2005) to their competitors, such as vibrations and intimidating flights, avoiding aggressive behaviors that would involve greater energy expenditure and direct contact with other bees, such as air collisions and body-to-body fighting, which can cause damage or death (Johnson and Hubbell 1974).

Our results contribute to the knowledge of stingless bees’ natural history. We have described the behavior of stingless bees collecting resin from *Croton yucatanensis*, a resource that has not been reported previously in the literature. *Croton* species, like many Euphorbiaceae, have been identified as a source of resins which are widely used by traditional communities for medicinal purposes and have proven biological activity (Salatino et al. 2007; Silva et al. 2009). Thus, the relationships among the resin-collection behavior of stingless bees, resin-providing plant species and the properties of resins are highly relevant to further studies of stingless bees (Carneiro et al. 2016; Sanches et al. 2017).

We have also documented inter-specific interaction among three stingless bees in relation to a valuable and possibly limited and scattered resource – resin – which is involved in bee communication, health and nest construction. In turn, the information reported here highlights the importance of considering these resources in efforts to guarantee the conservation of stingless bees (Burger and Huft 1995; Leonhardt and Blüthgen 2009; Gastauer et al. 2011; Leonhardt 2017).

Acknowledgments We would like to thank the anonymous reviewers for the helpful comments and the thorough review of the manuscript. We thank Dr. Mauricio Quesada, Dr. Eric Fuchs and Dr. Silvana Martén-Rodríguez, coordinators of the course “Ecology and Conservation of the Central American Tropical Deciduous Forest: An Experimental Field Course” provided by the Postgraduate Department of Biological Sciences at Universidad Autónoma de México (UNAM) and the Ibero-American Program on Science and Technology for Development

(CYTED) (SEPODI P416RT0194). We thank Dr. Martin Videla for valuable comments on the manuscript. ARG acknowledges the scholarship (489580) provided by the Mexican National Council of Science and Technology (CONACyT). FZ is supported by the Argentine National Council of Scientific and Technical Research (CONICET).

Funding information This study was conducted during the course “Ecology and Conservation of the Central American Tropical Deciduous Forest: An Experimental Field Course” provided by the Biological Sciences Postgraduate Department of Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), funded by the Ibero-American Program on Science and Technology for Development (CYTED) (SEPODI P416RT0194).

Compliance with ethical standards

Conflict of interest Author ARG received research grants from the Mexican National Council of Science and Technology (CONACyT) (489580). Author FZ received funding for research from the Argentine National Council of Scientific and Technical Research (CONICET). The authors declare that they have no conflict of interest.

This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

References

- Ambruster WS (1984) The role of resin in angiosperm pollination: ecological and chemical considerations. *Am J Bot* 71(8):1149–1160
- Biesmeijer JC, Slaa EJ (2004) Information flow and organization of stingless bee foraging. *Apidologie* 35(2):143–157
- Burger WC, Huft M (1995) Family #113 Euphorbiaceae. *Flora Costaricensis. Fieldiana: Botany, USA*, pp 169
- Carneiro MJ, López BGC, Lancellotti M, Franchi GC, Nowill AE, Sawaya ACHF (2016) Evaluation of the chemical composition and biological activity of extracts of *Tetragonisca angustula* propolis and *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). *J Apic Res* 55(4):315–323
- Drescher N, Wallace HM, Katouli M, Massaro CF, Leonhardt SD (2014) Diversity matters: how bees benefit from different resin sources. *Oecologia* 176(4):943–953
- Gastauer M, Campos LA, Wittmann D (2011) Handling sticky resin by stingless bees (Hymenoptera, Apidae). *Rev Bras Entomol* 55(2):234–240
- Howard JJ (1985) Observations on resin collecting by six interacting species of stingless bees (Apidae: Meliponinae). *J Kans Entomol Soc* 58(2):337–345
- Hrcir M, Maia-Silva C (2013) On the diversity of foraging-related traits in stingless bees. In: Vit P, Pedro SR, Roubik D (eds) *Pot-honey: a legacy of stingless bees*. Springer, New York, pp 201–215
- Hubbell SP, Johnson LK (1977) Competition and nest spacing in a tropical stingless bee community. *Ecology* 58(5):949–963
- Hubbell SP, Johnson LK (1978) Comparative foraging behavior of six stingless bee species exploiting a standardized resource. *Ecology* 59(6):1123–1136
- Johnson LK (1982) Foraging strategies and the structure of stingless bee communities in Costa Rica. In: Jaisson P (ed) *Social insects in the tropics*, vol 1. Université Paris-Nord, Paris, pp 31–58
- Johnson LK, Hubbell SP (1974) Aggression and competition among stingless bees: field studies. *Ecology* 55(1):120–127
- Johnson LK, Hubbell SP (1975) Contrasting foraging strategies and co-existence of two bee species on a single resource. *Ecology* 56(6):1398–1406
- Koschnitzke C (2011) First record of the behavior of latex drainage by *Trigona spinipes* (Fabricius) (Hymenoptera, Apidae) in laticiferous flowers. *Rev Bras Entomol* 55(3):439–440
- Langenheim JH (2003) *Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany*. Timber Press, Oregon, p 587
- Langenheim JH, Lincoln DE, Foster CE (1978) Implications of variation in resin composition among organs, tissues and populations in the tropical legume *Hymenaea*. *Biochem Syst Ecol* 6(4):299–313
- Lehmberg L, Dworschak K, Blüthgen N (2008) Defensive behavior and chemical deterrence against ants in the stingless bee genus *Trigona* (Apidae, Meliponini). *J Apic Res* 47(1):17–21
- Leonhardt SD (2017) Chemical ecology of stingless bees. *J Chem Ecol* 43(4):385–402
- Leonhardt SD, Blüthgen N (2009) A sticky affair: resin collection by Bornean stingless bees. *Biotropica* 41(6):730–736
- Leonhardt SD, Blüthgen N, Schmitt T (2009) Smelling like resin: terpenoids account for species-specific cuticular profiles in southeast-Asian stingless bees. *Insect Soc* 56(2):157–170
- Leonhardt SD, Zeilhofer S, Blüthgen N, Schmitt T (2010) Stingless bees use terpenes as olfactory cues to find resin sources. *Chem Senses* 35(7):603–611
- Leonhardt SD, Rasmussen C, Schmitt T (2013) Genes versus environment: geography and phylogenetic relationships shape the chemical profiles of stingless bees on a global scale. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 280(1762):20130680
- Lichtenberg EM, Imperatriz-Fonseca VL, Nieh JC (2010) Behavioral suites mediate group-level foraging dynamics in communities of tropical stingless bees. *Insect Soc* 57:105–113
- Litman JR, Danforth BN, Eardley CD, Praz CJ (2011) Why do leafcutter bees cut leaves? New insights into the early evolution of bees. *Proc R Soc London B Biol Sci* 278(1724):35933600
- Michener CD (2007) *The bees of the world*, Second edn. The Johns Hopkins University Press, Baltimore
- Nagamitsu T, Inoue T (1997) Aggressive foraging of social bees as a mechanism of floral resource partitioning in an Asian tropical rainforest. *Oecologia* 110(3):432–439
- Nieh JC, Kruizinga K, Barreto LS, Contrera FAL, Imperatriz-Fonseca VL (2005) Effect of group size on the aggression strategy of an extirpating stingless bee, *Trigona spinipes*. *Insect Soc* 52:147–154
- Noll FB, Zucchi R, Jorge JA, Mateus S (1996) Food collection and maturation in the necrophagous stingless bee, *Trigona hypogea* (Hymenoptera: Meliponinae). *J Kans Entomol Soc* 69(4):287–293
- Roubik DW (1989) *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press, Cambridge
- Roubik DW (2006) Stingless bee nesting biology. *Apidologie* 37(2):124–143
- Salatino A, Faria Salatino ML, Negri G (2007) Traditional uses, chemistry and pharmacology of *Croton* species (Euphorbiaceae). *J Braz Chem Soc* 18(1):11–33
- Sanches MA, Pereira AMS, Serrão JE (2017) Pharmacological actions of extracts of propolis of stingless bees (Meliponini). *J Apic Res* 56(1):50–57
- Sánchez D, Vandame R (2013) Stingless bee food location communication: from the flowers to the honey pots. In: Vit P, Pedro SR, Roubik D (eds) *Pot-honey: a legacy of stingless bees*. Springer, New York, pp 187–199
- Silva LB, Silva W, Rodrigues Macedo ML, Pereira Peres MTL (2009) Effects of *Croton urucurana* extracts and crude resin on *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Braz Arch Biol Technol* 52(3):653–664
- Simone M, Evans JD, Spivak M (2009) Resin collection and social immunity in honey bees. *Evolution* 63:3016–3022
- Slaa EJ, Wassenberg J, Biesmeijer JC (2003) The use of field-based social information in eusocial foragers: local enhancement among nestmates and heterospecifics in stingless bees. *Ecol Entomol* 28(3):369–379

- Slaa EJ, Sánchez Chaves LA, Malagodi-Braga KS, Hofstede FE (2006) Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie* 37(2):293–315
- Sommerlandt FMJ, Huber W, Spaethe J (2014) Social information in the stingless bee, *Trigona corvina* Cockerell (Hymenoptera: Apidae): the use of visual and olfactory cues at the food site. *Sociobiology* 61(4):401–406
- Xiao L, Carrillo J, Siemann E, Ding J (2019) Herbivore-specific induction of indirect and direct defensive responses in leaves and roots. *AoB PLANTS* 11(1):1–12

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.