



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA EN INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA
INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

**ANÁLISIS DE LA ADULTERACIÓN DE LA MIEL DE
ABEJA SIN AGUIJÓN (*Scaptotrigona mexicana*) DE LAS
REGIONES PRODUCTORAS DE CUETZALAN, PUE.
Y CÓRDOBA, VER.**

JULIANA JIMENEZ MARQUEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

CÓRDOBA, VERACRUZ, MÉXICO

FEBRERO, 2023

**ANÁLISIS DE LA ADULTERACIÓN DE LA MIEL DE ABEJA SIN
AGUIJÓN (*Scaptotrigona mexicana*) DE LAS REGIONES PRODUCTORAS
DE CUETZALAN, PUE. Y CÓRDOBA, VER.**

La presente tesis “Análisis de la adulteración de la miel de abeja sin aguijón (*Scaptotrigona mexicana*) de las regiones productoras de Cuetzalan, Pue. y Córdoba, Ver.” Realizada por el alumno: **Juliana Jiménez Márquez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

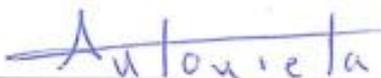
MAESTRO EN CIENCIAS
EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
SUSTENTABLE
CONSEJO PARTICULAR

Profesora consejera:



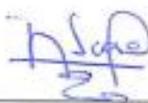
Dra. Aleida Selene Hernández Cázares

Asesora:



Dra. Ma. Antonieta Ríos Corripio

Asesor:



Dr. Juan Antonio Pérez Sato

Asesor:



Dr. Marlon Rojas López

Amatlán de los Reyes, Veracruz, Febrero 2023

ANÁLISIS DE LA ADULTERACIÓN DE LA MIEL DE ABEJA SIN AGUIJÓN (*Scaptotrigona mexicana*) DE LAS REGIONES PRODUCTORAS DE CUETZALAN, PUE. Y CÓRDOBA, VER.

Juliana Jiménez Márquez M.C.

Colegio de Postgraduados, 2023.

RESUMEN

La miel de abeja sin aguijón es consumida y valorada desde tiempos prehispánicos debido a sus propiedades medicinales. Siendo dichas propiedades la razón por la que se comercializa actualmente; sin embargo, debido a la falta de regulación en las normas de calidad de esta miel y a su alto valor de compra se genera incertidumbre sobre la autenticidad de esta. En el presente trabajo se evaluó si la miel de abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana* de la zona productora de Cuetzalan Pue. y Córdoba, Ver., es adulterada para su comercialización. Para ello se adulteró de forma intencional miel de *S. mexicana* con estándares de sacarosa, fructosa, glucosa y miel de *Apis mellifera* en concentraciones del 10 al 60%; y se evaluó las variaciones que se producen en los parámetros físicos y químicos como la humedad, °Brix, hidroximetilfurfural (HMF), conductividad eléctrica (CE), color y pH. Los resultados mostraron que la humedad, los °Brix, el HMF y la CE, resultan alterados de forma significativa de acuerdo con el adulterante empleado y su concentración, en comparación con el control. Mientras que los parámetros para diferenciar, entre mieles puras fueron la humedad y los °Brix. Por otro lado, las muestras de miel pura, las adulteradas intencionalmente y aquellas adquiridas en tiendas y mercadillos se analizaron mediante espectroscopia FTIR. Se observó que los espectros de las muestras puras de ambas regiones presentan bandas de absorbancia similares en el intervalo de número de onda de 4000 a 650 cm^{-1} ; mientras que las muestras adulteradas en la región de absorción de los azúcares de 1200 a 800 cm^{-1} presentan bandas de absorbancia características que incrementan al aumentar la concentración de un adulterante en específico. Los espectros FTIR se procesaron con el análisis de componentes principales (PCA) para discriminar mieles puras de aquellas adulteradas. Se concluyó que la espectroscopia FTIR en combinación con PCA son herramientas de análisis eficientes en la detección de adulterantes en miel de abeja sin aguijón *S. mexicana* comerciales, se logró identificar mieles comerciales adulteradas en la región de estudio.

PALABRAS CLAVE: miel, *Scaptotrigona mexicana*, adulteración, FTIR.

**ANALYSIS OF ADULTERATION OF HONEY FROM THE STINGLESS BEE
(*Scaptotrigona mexicana*) FROM THE PRODUCING REGIONS OF
CUETZALAN, PUE. AND CÓRDOBA, VER.**

Juliana Jimenez Marquez MC.

Colegio de Postgraduados, 2023.

ABSTRACT

Stingless bee honey has been consumed and valued since prehispanic times due to its medicinal properties. These properties being the reason why it is currently marketed, however, due to the lack of regulation in the quality standards of this honey and its high purchase value, uncertainty is generated about its authenticity. In the present work, it was evaluated whether the stingless honey bee *Scaptotrigona mexicana* from the producing area of Cuetzalan Pue., and Córdoba, Ver., is adulterated for its commercialization. For this, *S. mexicana* honey was intentionally adulterated with standards of sucrose, fructose, glucose, and *Apis mellifera* honey in concentrations of 10 to 60%; and the variations that occur in physical and chemical parameters such as moisture, °Brix, hydroxymethylfurfural (HMF), electrical conductivity (EC), color and pH are evaluated. The results showed that humidity, HMF, and EC were significantly altered according to the adulterant used and its concentration, compared to the control. While the parameters to differentiate between pure honey were moisture and °Brix. On the other hand, the samples of pure honey samples, those intentionally adulterated, and those acquired in stores and markets were analyzed with FTIR spectroscopy. It was observed that the spectra of the pure samples from both regions present similar absorbance bands in the wavenumber interval from 4000 to 650 cm^{-1} . While the adulterated samples in the sugar absorption region from 1200 to 800 cm^{-1} present characteristic absorbance bands that increase with increasing concentration of a specific adulterant. The FTIR spectra were processed with principal component analysis (PCA) to discriminate pure honey from adulterated honey. It was concluded that FTIR spectroscopy in combination with PCA are efficient analysis tool in the detection of adulterants in commercial stingless bee *S. mexicana* honey and it was possible to identify adulterated commercial honey in the study region.

KEY WORDS: honey, *Scaptotrigona mexicana*, detect, adulteration, FTIR.

DEDICATORIA

A Dios.

A mi madre la Sra. Yolanda Márquez Mier, a quien le debo la vida, y sin cuya ayuda no me habría sido posible seguir estudiando.

A mi hijo, mi razón para seguir adelante.

A mis hermanos y hermanas, quienes me apoyaron.

A mis maestros, maestras, compañeros, amigos, amigas y todas aquellas personas que me han acompañado en este recorrido.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fortaleza y guía.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme la beca, sin la cual el presente proyecto no habría sido posible.

Al Colegio de Posgraduados Campus Córdoba y al Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada por prestar sus instalaciones para el desarrollo de este proyecto.

A la Dra. Aleida S. Hernández Cázares por permitirme trabajar con ella, por su amabilidad, comprensión y por brindarme todo su apoyo a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

A la Dra. Ma. Antonieta Ríos Corripio, por su apoyo en el desarrollo de la investigación y sus palabras de aliento.

Al Dr. Juan Antonio Pérez Sato, por su invaluable ayuda sin la cual es posible que este proyecto hubiese tomado más tiempo y por la comprensión para una servidora.

Al Dr. Marlon Rojas López por abrir las puertas de su institución y compartir sus conocimientos en aras del desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Ma. Esther Mendez Cadena por su ayuda y guía para mejorar como investigador y escritor.

Al Dr. Valente Hidalgo Contreras por hacerse tiempo para compartir sus conocimientos, por todos los consejos, que ayudaron a llevar esta investigación a buen puerto.

A la M.C. Natalia Real Luna, por su amabilidad, consejo y la ayuda que siempre me brindo.

A mis compañeros y compañeras de laboratorio, por el tiempo compartido, por los sus palabras de aliento y su invaluable ayuda, de corazón gracias.

A los amables trabajadores del COLPOS campus Córdoba, por siempre tener una mano amiga para mi y todos quienes les piden ayuda.

A todas y todos ustedes muchas gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Planteamiento del problema	1
Objetivos	2
Hipótesis.....	2
Innovación de la investigación.....	3
Sustentabilidad de la investigación	3
Contribución en la seguridad alimentaria.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
1. Meliponicultura	5
1.2 Diversidad y distribución geográfica	8
1.3 Clasificación de las abejas sin aguijón	9
1.4 La especie <i>Scaptotrigona mexicana</i>	10
1.5 Biología	11
1.5.1 Estructura del nido.....	12
1.5.2 Termorregulación	14
1.5.3 Alimentos de la colonia polen y miel	14
1.6 Composición bioquímica de la miel de abeja sin aguijón.....	15
1.6.1 Carbohidratos.....	16
1.6.2 Proteínas	16
1.6.3 pH y acidez	18
1.6.4 Hidroximetilfurfural	18
1.6.5 Minerales, vitaminas y carotenoides	19
1.7 Propiedades físicas de la miel de abeja sin aguijón	19
1.7.1 Humedad.....	19
1.7.2 Color	20
1.7.3 Conductividad eléctrica	21
1.8 Propiedades medicinales y compuestos bioactivos.....	21
1.9 Factores determinantes en la calidad de la miel	24
1.10 Adulteración de la miel	25
1.10.1 Métodos de análisis de adulteración de la miel	29
1.10.2 FTIR.....	31
1.10.3 Métodos quimiométricos	32
LITERATURA CITADA	34

CAPÍTULO 1.....	50
ABSTRACT.....	50
RESUMEN.....	51
1.1 INTRODUCCIÓN	53
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	53
1.3 RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
1.4 CONCLUSIÓN	62
1.5 Agradecimientos.....	62
1.6 LITERATURA CITADA.....	63
CAPITULO 2.....	67
RESUMEN.....	67
ABSTRACT	67
2.1 INTRODUCCIÓN	68
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	69
2.2.1 Adulteración intencionada.....	70
2.2.2 Análisis fisicoquímico	70
2.2.3 Análisis FTIR	70
2.2.4 Análisis estadístico.	71
2.3 RESULTADOS.....	71
2.3.1 Mielles puras.....	71
2.3.2 Adulteración intencionada de la miel de abeja sin aguijón	72
2.3.3 Clasificación de la miel pura y adulterada.....	77
2.4 DISCUSIÓN.....	79
2.4.1 Mielles puras.....	79
2.4.2 Adulteración intencionada de la miel de abeja sin aguijón	79
2.4.3 Clasificación de la miel pura y adulterada.....	82
2.5 CONCLUSIONES	83
2.6 Agradecimientos	83
2.7 LITERATURA CITADA.....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	91
ANEXOS	93

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de las especies de abejas sin aguijón en México	6
Cuadro 2. Principales enzimas presentes en la miel y su función.....	17
Cuadro 3. Equivalencia entre los valores de la escala de Pfund en mm y la densidad óptica (absorbancia) en mm.....	21
Cuadro 4. Lista de propiedades medicinales reportadas para miel de abeja sin aguijón de diferentes especies.....	23
Cuadro 5. Comparación de los parámetros de calidad establecidos por el Codex Alimentarius y los propuestos para miel de abeja sin aguijón.....	25
Cuadro 6. Técnicas analíticas empleadas para detectar adulteraciones en la miel.....	29
Cuadro 7. Modo de vibración de las moléculas debido a la absorción infrarroja.....	30

CAPITULO II

Cuadro 1. Análisis fisicoquímico de muestras de mieles puras de <i>S. mexicana</i> , miel adulterada intencionalmente y muestras comerciales de las regiones productoras de Cuetzalan Puebla y Córdoba Veracruz.....	72
---	----

ANEXOS

Cuadro A1.1 Análisis fisicoquímico de muestras puras de <i>A. mellifera</i> de Córdoba, Veracruz.....	93
Cuadro A1.2 Análisis fisicoquímico de muestras puras de <i>S. mexicana</i> de Córdoba, Veracruz.....	93
Cuadro A1.3 Análisis fisicoquímico de muestras comerciales de <i>S. mexicana</i> de Córdoba, Veracruz.....	94
Cuadro A1.4 Análisis fisicoquímico de muestras puras de <i>S. mexicana</i> de Cuetzalan, Puebla.....	94
Cuadro A1.5 Análisis fisicoquímico de muestras comerciales de <i>S. mexicana</i> de Cuetzalan, Puebla.....	95
Cuadro A2.1 Parametros fisicoquímicos de la miel de abeja sin aguijón por especie.....	96

Cuadro A2.2 Complemento de los parámetros fisicoquímicos de la miel de abeja sin agujón por especie.....	102
Cuadro A2.3 Perfil de azúcares de la miel de abeja sin agujón por especie.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparación entre a) las áreas de distribución de las abejas sin agujón con relación a la densidad del número de especies y b) las cuatro regiones meliponícolas de México. Región 1 (A) La Península de Yucatán, Región 2 (B) Tierras bajas costeras de Golfo, Región 3 (C) La cuenca del Río Balsas y Región 4 (D) Tierras bajas de la costa del pacífico.....	7
Figura 2. Áreas de distribución de las abejas sin agujón a nivel mundial.....	8
Figura 3. Clasificación taxonómica de las abejas sin agujón.....	9
Figura 4. Ejemplificación de la venación de las alas de abejas obreras. a) <i>Apis mellifera</i> , b) <i>Melipona fasciata</i> y c) <i>Plebeia frontalis</i> . Tibias traseras de trabajadores. d) <i>Apis mellifera</i> y e) <i>Schwarziana quadripunctata</i>	10
Figura 5. a) Ilustración de la abeja sin agujón <i>Scaptotrigona mexicana</i> , b) y c) fotografía entrada del nido con abejas guardianas de la especie <i>S. mexicana</i> de Cuetzalan, Puebla.....	11
Figura 6. Estructura general del nido de las abejas sin agujón.....	13

CAPITULO I

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Cuetzalan del progreso, Puebla.....	54
---	----

CAPITULO II

Figura 1. Espectros FTIR de miel pura de <i>Scaptotrigona mexicana</i> de Córdoba, Ver., y Cuetzalan, Pue.....	72
Figura 2. Dendograma, análisis de variables de conglomerados: Humedad, °Brix, hidroximetilfurfural (HMF), conductividad eléctrica (CE), color y pH de muestras de miel <i>Scaptotrigona mexicana</i> adulterada intencionalmente con con estándares de sacarosa, fructosa, glucosa y <i>A. mellifera</i>	76

Figura 3. Espectros FTIR de muestras de miel de abeja sin aguijón <i>S. mexicana</i> adulteradas intencionalmente con estándares de (a) sacarosa, (b) fructosa, (c) glucosa y (d) <i>A. mellifera</i> en la región de 1250 a 750 cm ⁻¹	77
Figura 4. Graficos de puntajes PCA (3D), de muestras de miel de <i>S. mexicana</i> puras de Córdoba (a), Cuetzalan (b), en contraste con mieles comerciales de Córdoba (c) y Cuetzalan (d), y muestras adulteradas con los estándares de sacarosa, fructosa, glucosa y miel de <i>A. mellifera</i> .	78

ANEXOS

Figura A3.1 Regiones del mundo donde se han realizado investigaciones en la miel de abeja sin aguijón.....	113
---	-----

INTRODUCCIÓN GENERAL

Planteamiento del problema

La meliponicultura se remonta a los pueblos mesoamericanos, antes de la llegada de los españoles, y ha permanecido vigente en algunas zonas de los estados de Oaxaca, la Península de Yucatán, Puebla y Veracruz. Las prácticas meliponícolas continúan realizándose de manera tradicional, cuidando, manejando y criando a las abejas sin aguijón en jobones, ollas de barro y más recientemente en cajas de madera, obteniendo miel como principal producto. La miel de abeja sin aguijón es comercializada y valorada debido a sus propiedades medicinales, cuya actividad terapéutica de acuerdo con algunas investigaciones es superior a la miel producida por la especie de *Apis mellifera*. Sin embargo, la producción de miel por colmena de las abejas sin aguijón es limitada, siendo usualmente inferior a un litro por año; debido a esto y a su nicho de mercado específico hacen que su precio de venta sea considerablemente elevado. Pese a lo anterior, la miel de abeja sin aguijón no se encuentra regulada por el Codex Alimentarius, ni por la Norma Oficial Mexicana de la miel, debido a la gran variabilidad que existe en su composición según la especie, la región geográfica y la fuente floral. Esta situación provoca que no exista garantía para los consumidores sobre la calidad y autenticidad de la miel de abeja sin aguijón, cuya adulteración no solo desestabiliza el mercado mediante la competencia desleal, sino que repercute directamente en algunos parámetros de madurez, pureza y deterioro, modificando con esto sus cualidades nutrimentales y medicinales. Además, debido a que los principales adulterantes de la miel son edulcorantes que asemejan su composición natural, no se detectan fácilmente por lo que se requiere de técnicas que permitan dilucidar entre mieles auténticas de aquellas adulteradas.

Objetivos

General

Evaluar si la miel de abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana* de la zona productora de Cuetzalan, Pue. y Córdoba, Ver. es adulterada para su comercialización.

Particulares

1. Identificar que parámetros físicos y químicos se ven alterados con una adulteración intencionada en la miel de abeja *Scaptotrigona mexicana*, con jarabe de azúcar, miel de *Apis mellifera*, fructosa y glucosa en concentraciones del 10% al 60%.
2. Identificar la correlación entre los resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos de miel de abeja *Scaptotrigona mexicana* pura y aquella de las muestras adulteradas intencionalmente a fin de demostrar la adulteración mediante el uso de la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y métodos quimiométricos.

Hipótesis

La miel de abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana* de la zona productora de Cuetzalan, Pue. y Córdoba, Ver. se adultera con algún tipo de edulcorante, modificando sus características físicas y químicas.

Innovación de la investigación

De acuerdo con Camelo Ordaz *et al.* (2000) innovar es crear o tomar una idea o conocimiento, pudiendo con ello desarrollar un nuevo producto, proceso o método. Aunque también puede implicar una mejora de un producto, servicio o proceso ya existente (Sánchez, 2011). Con base en la definición anterior, la innovación de la presente investigación se visualiza a nivel de proceso, pues plantea el aprovechamiento de técnicas rápidas de análisis como lo es la espectroscopia FTIR (método de espectroscopia infrarroja) en combinación con los métodos quimiométricos, sin el uso de reactivos de análisis que contaminen el ambiente, para la discriminación entre mieles de abeja sin aguijón de la especie *Scaptotrigona mexicana* genuinas de aquellas adulteradas. Considerando que la espectroscopia FTIR es un método que ya ha sido empleado de forma exitosa para la detección de adulterantes en jugo de naranja (Twomey *et al.*, 1995), puré de manzana (Contal *et al.*, 2002) e incluso miel de *Apis mellifera* (Rios-Corripio *et al.*, 2011).

Sustentabilidad de la investigación

La sustentabilidad ha implicado un cambio de paradigma generacional, de un enfoque ideológico de progreso que rechaza o desconoce las limitantes ecológicas ante el crecimiento económico; a la mejora de la calidad de vida humana y nuevos estilos de desarrollo que tomen en cuenta la capacidad de carga de los ecosistemas. Para ello resulta necesario incorporar y mejorar la organización social y la tecnología (Gudynas, 2004); es decir, avanzar hacia una relación diferente entre la economía, el ambiente y la sociedad (World Commission on Environment and Development, 1987). En este sentido la presente investigación logra tener ingerencia en los tres componentes esenciales de la sustentabilidad, que son el económico, el social y el ecológico. Esta investigación aumentará el conocimiento de los criterios de calidad de la miel de abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana*, producida en Cuetzalan, Pue. y Córdoba, Ver. Además de proveer de un método que permita dilucidar entre mieles auténticas de aquellas adulteradas, de forma rápida, con un mínimo de muestra, y sin la necesidad de pretratamientos, reduciendo de esta manera costos y descartando la generación de residuos químicos de impacto ambiental. Así se contribuye eventualmente al aumento de la confianza de los consumidores y al fortalecimiento del sector meliponícola de estas regiones, que dicho sea de paso forma parte del largo legado biocultural de los pueblos originarios en México.

Contribución en la seguridad alimentaria

De acuerdo a la FAO (2011), “la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan las necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana” (p. 1). Si consideramos que la adulteración de la miel compromete sus cualidades nutritivas, medicinales y por ende de inocuidad, la presente investigación contribuirá a la seguridad alimentaria en el establecimiento de una metodología rápida, que permita discriminar mieles de *Scaptotrigona mexicana* auténticas de aquellas adulteradas, empleando técnicas de análisis como la espectroscopia FTIR en combinación con métodos quimiométricos, para garantizar con ello la inocuidad y características de este producto.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Meliponicultura

La relación del hombre con la miel se remonta a la prehistoria, inicialmente en un papel de cazador o recolector de este alimento en nidos silvestres, tal como se ha podido apreciar en algunas pinturas rupestres que datan del mesolítico. Por su parte el manejo estructurado de las abejas para la obtención de miel, cera y propóleo, se realizó en algunas culturas, tales como la egipcia y la mesopotámica, y más adelante en diversas regiones de Europa durante la edad media, en donde se manejaron especies del género *Apis* (Crane, 1999). Mientras que, para América, en donde no existían dichas especies, se aprovecharon las abejas sin aguijón, pertenecientes a la tribu Meliponini; práctica conocida como meliponicultura, la cual se extendió a través de Centro y Sudamérica por diversos pueblos originarios (Bennett, 1964).

La meliponicultura alcanzó su máximo esplendor en el territorio cultural mesoamericano, dentro de la civilización Maya con la especie *Melipona beecheii*, cuya área de impacto abarcó la península de Yucatán, parte de los estados de Tabasco y Chiapas y algunos países centroamericanos. El legado melipónico de esta civilización quedó plasmado en las páginas del Códice Tro-cortesiano, un códice maya, que contiene numerosas ilustraciones de prácticas, como la cosecha de miel y la división de la colmena (Żrałka *et al.*, 2014). Posteriormente durante el arribo de los españoles, se describieron algunas celebraciones y ofrendas mayas realizadas durante los meses de noviembre y diciembre, para asegurar las producciones futuras de miel y la abundancia de flores; dichas festividades estaban vinculadas a Muzencab, el Dios abeja maya (Calkins, 1974), por lo que resulta evidente que su relación con estos organismos, tuvo tal importancia que llegó a formar parte de su cosmovisión religiosa.

Si bien actualmente la meliponicultura no se encuentra estrechamente asociada a contextos espirituales (González Acereto, 2015), se ha buscado el aprovechamiento económico generado de la comercialización de la miel y los productos de la colmena. Relacionado a su vez, con diversos saberes etológicos y ecológicos; además del estudio sobre la morfología de las diferentes especies de abejas sin aguijón, que han pasado a través de muchas generaciones y que son una evidencia viva del manejo de estos organismos en varios estados de la República Mexicana (Chan Mutul *et al.*, 2019).

Debido a ello se han llegado a aprovechar 19 especies de abejas sin aguijón (Cuadro 1), de las 46 registradas para el país (Ayala *et al.*, 2013).

Dichas especies se encuentran distribuidas en cuatro grandes regiones donde persiste actualmente la meliponicultura (Figura 1). Región 1. La Península de Yucatán, que comprende Yucatán, Campeche y Quintana Roo; Región 2. Tierras bajas costeras del Golfo, que abarca Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz. Región; 3. Tierras bajas de la costa del pacífico, en Sinaloa y Nayarit y la Región 4. La cuenca del río Balsas que agrupa el Estado de México, Guerrero y Michoacán (González Acereto, 2012).

Cuadro 1. Distribución de las especies de abejas sin aguijón en México.

Especie	Región / Estado	Referencia
<i>Cephalotrigona eburneiventris</i>	Colima, Guerrero, Michoacán, Morelos, Puebla	(Ayala <i>et al.</i> , 2013)
<i>C. zexmeniae</i>	Campeche, Chiapas, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán	(Ayala <i>et al.</i> , 2013; Chan Mutul <i>et al.</i> , 2019)
<i>Frieseomelitta nigra</i>	Península de Yucatán, Sierra de Manantlán Jalisco, Tabasco y Cuenca del Río Balsas Michoacán.	(González-Acereto <i>et al.</i> , 2006; Ayala <i>et al.</i> , 2013; Reyes-González <i>et al.</i> , 2014; Chan Mutul <i>et al.</i> , 2019;)
<i>Geotrigona acapulconis</i>	Chiapas, Estado de México, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca	(Ayala <i>et al.</i> , 2013; Reyes-González <i>et al.</i> , 2014)
<i>Lestrimelitta chamelensis</i>	Cuenca del Río Balsas Michoacán, Colima, Jalisco, Guerrero, Nayarit	(Ayala <i>et al.</i> , 2013; Reyes-González <i>et al.</i> , 2014)
<i>Melipona beecheii</i>	Península de Yucatán, Soconusco (Chiapas), Tabasco, Veracruz.	(Chan Mutul <i>et al.</i> , 2019; Foster, 1942; González-Acereto <i>et al.</i> , 2006; Reyes González <i>et al.</i> , 2014; Quezada-Euan <i>et al.</i> , 2015)
<i>M. colimana</i>	Colima, Jalisco	(Ayala <i>et al.</i> , 2013)
<i>M. fasciata</i>	Cuenca del Río Balsas Michoacán, Sierra Atoyac Guerrero	(Kent, 1984; Reyes-González <i>et al.</i> , 2014; Arnold, Zepeda, <i>et al.</i> , 2018)
<i>M. solani</i>	Soconusco (Chiapas), Tabasco	(Espinoza Toledo <i>et al.</i> ; 2018; Chan Mutul <i>et al.</i> , 2019)
<i>M. yucatanica</i>	Península de Yucatán	(González-Acereto <i>et al.</i> , 2006)
<i>Nannotrigona Perilampoides</i>	Península de Yucatán, Soconusco (Chiapas), Sonora, Sinaloa, Tabasco y la Cuenca del Río Balsas Michoacán.	(González-Acereto <i>et al.</i> , 2006; Reyes-González <i>et al.</i> , 2014; Chan Mutul <i>et al.</i> ; 2019)
<i>Partamona bilineata</i>	Campeche, Chiapas, Colima, Distrito Federal, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Veracruz, Yucatán.	(Ayala <i>et al.</i> , 2013)

<i>Plebeia frontalis</i>	Península de Yucatán, Tehuacán Puebla.	(González-Acereto <i>et al.</i> , 2006)
<i>Plebeia fulvopilosa</i>	Cuenca del Río Balsas Michoacán.	(Reyes-González <i>et al.</i> , 2014)
<i>Scaptotrigona hellwegeri</i>	Cuenca del Río Balsas Michoacán, Guerrero y Tabasco.	(Kent, 1984; Reyes-González <i>et al.</i> , 2014, Chan Mutul <i>et al.</i> , 2019)
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	Sierra Norte Puebla, Huasteca Potosina, Veracruz, Soconusco (Chiapas).	(Quezada-Euan <i>et al.</i> , 2015)
<i>Scaptotrigona pectoralis</i>	Península Yucatán, Soconusco (Chiapas) y Tabasco.	(González-Acereto <i>et al.</i> , 2006; Chan Mutul <i>et al.</i> , 2019)
<i>Tetragonisca angustula</i>	Soconusco (Chiapas) y Tabasco.	(Espinoza Toledo <i>et al.</i> , 2018; Chan Mutul <i>et al.</i> , 2019)
<i>Trigona nigerrima</i>	Chiapas, Oaxaca, Tabasco, Veracruz	(Ayala <i>et al.</i> , 2013)

Fuente: Elaboración propia

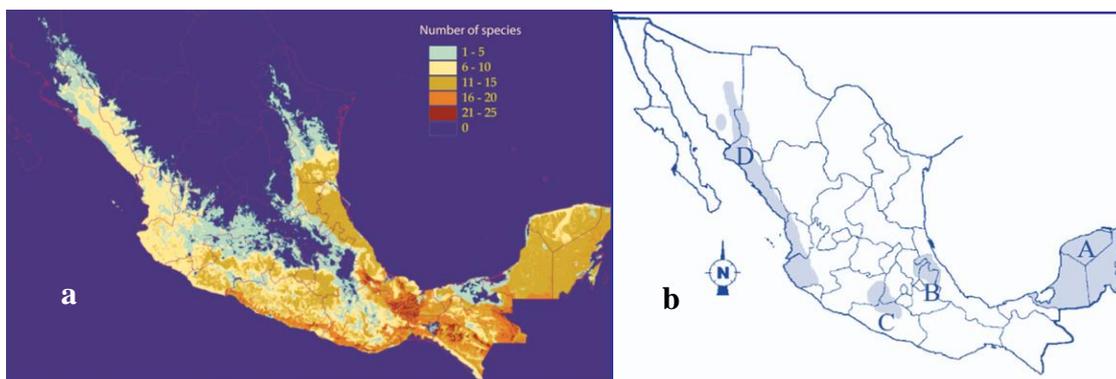


Figura 1. Comparación entre a) las áreas de distribución de las abejas sin aguijón con relación a la densidad del número de especies y b) las cuatro regiones meliponícolas de México. Región 1 (A) La Península de Yucatán, Región 2 (B) Tierras bajas costeras del Golfo, Región 3 (C) La cuenca del Río Balsas y Región 4 (D) Tierras bajas de la costa del Pacífico.

Fuente: González Acereto, 2012, Ayala *et al.*, 2013

Independientemente de la región es usual que las colonias de abejas sin aguijón sean extraídas directamente de la naturaleza y transferidas a colmenas artificiales, entre las que encontramos, troncos de madera ahuecados llamados jobones (propios de la cultura maya), ollas de barro (Christoph, 2020) o mancuernas de estas unidas por la boca (Crane, 1999) (características de las culturas Nahuas y Totonacas) (Obregón Hernández, 2000) y más recientemente en cajas de madera. Esta última como una herramienta de tecnificación, que pretende mejorar la distribución de las diferentes estructuras del nido. En cualquiera de los casos, los meliponios se colocan de forma regular en los aleros de las casas o cerca de estas para su manejo y cuidado (Nogueira-Neto, 1997), obteniendo

de ellos miel, cerumen (Ayala *et al.*, 2013), polen, propóleo (Guzmán Díaz *et al.*, 2011) o servicios de polinización en algunos cultivos, como las especies *Melipona beecheii*, *M. scutellaris*, *M. subnitida*, *M. quadrifasciata*, *Tetragonisca angustula* y *S. mexicana* (Ayala & Ortega, 2018).

1.2 Diversidad y distribución geográfica

Las abejas sin aguijón también conocidas como meliponinos se distribuyen a lo largo de las franjas tropicales del globo (Christoph, 2020), aunque registros fósiles del Paleogeno (66 – 23 m.a.) amplían su distribución mundial hacia las regiones frías del noreste de América y el norte de Europa. Esto se debe a que, durante ese periodo, las latitudes que se prolongan por encima del trópico de cáncer poseían climas más cálidos, permitiendo una mayor distribución a estos organismos. Sin embargo, la tendencia marcada del mioceno (23 m.a.) al enfriamiento, redujo poco a poco sus hábitats (Engel & Michener, 2013), y aun con ello, actualmente presentan una distribución pantropical, teniendo presencia en África, América, Asia y Australia (Michener, 2013).

Tal como se aprecia en la Figura 2, en el continente americano los meliponinos se extienden desde la parte central de Argentina hasta el estado de Sonora en México, en África habitan a partir del sur del desierto del Sahara, hasta la provincia Transvaal sudafricana. Mientras que, en Asia, van del sur de la India a las cordilleras del Himalaya, además de una vasta extensión del sudeste asiático, y la parte norte australiana (Nogueira-Neto, 1997).

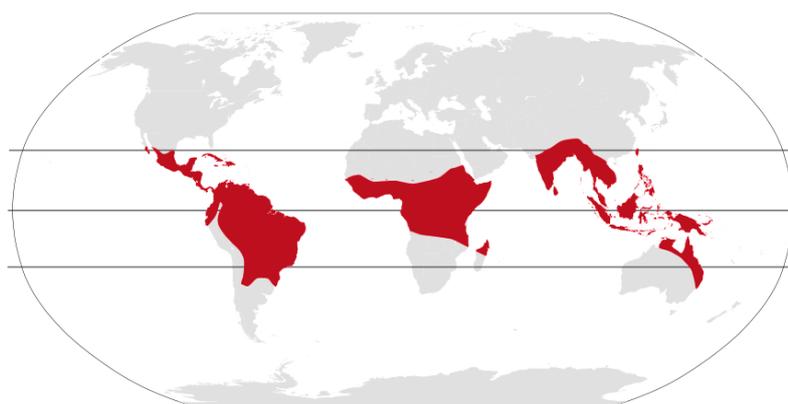


Figura 2. Áreas de distribución de las abejas sin aguijón a nivel mundial.

Fuente: Arnold, *et al.*, 2018.

América es el continente con mayor diversidad de abejas sin aguijón llegando a albergar un aproximado de 400 especies, de las más de 500 que se conocen alrededor del mundo (Michener, 2013). Estas especies se han adaptado a una gran variedad de ecosistemas, que van desde los matorrales xerófilos, los bosques tropicales, pasando por los bosques de niebla hasta los páramos andinos que alcanzan los 4000 m.s.n.m., y si bien más del 50% de las especies se agrupan dentro de los límites de la selva amazónica, México cuenta con 16 géneros que reúnen a 46 especies (Ayala *et al.*, 2013), distribuidas en 26 estados de la República Mexicana (Arnold, *et al.*, 2018).

1.3 Clasificación de las abejas sin aguijón

Es difícil saber con exactitud el número de especies de abejas que existen en el mundo, debido al desconocimiento de algunas o la presencia de especies crípticas, sin embargo, se calculan alrededor de 20,000 (Michener, 2007). Para su clasificación taxonómica, la enorme diversidad de abejas, se van agrupando tomando como referencia, la afinidad de características anatómicas, evolutivas y genéticas (Rinderer, 2013). De acuerdo con esto las abejas se clasifican en el reino Animalia, la clase Insecta, el orden Himenóptera, que agrupa a siete grandes familias. Una de ellas, denominada Apidae (Nogueira-Neto, 1997), es la más numerosa, y a su vez se divide en 3 subfamilias, de las cuales Apinae, contiene a las únicas dos tribus con organismos altamente sociales, la tribu Apini, de las abejas melíferas y la Meliponini, de las abejas sin aguijón (Figura 3) (Michener, 2007).

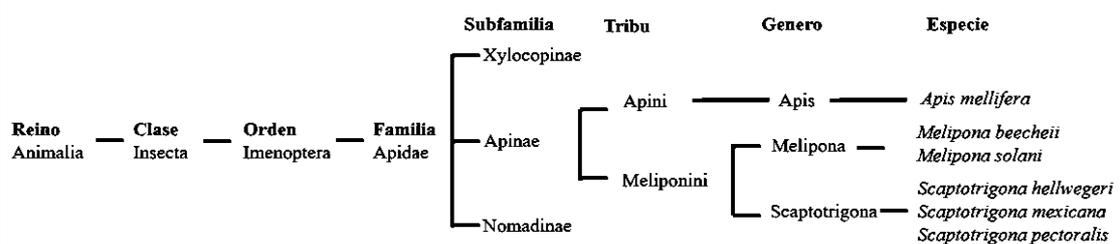


Figura 3. Clasificación taxonómica de las abejas sin aguijón
Fuente: de acuerdo con Michener, 2007

Los integrantes de este último grupo, viven en colonias perenes, presentan castas diferenciadas de reina y obrera (Michener, 2007). Almacenan sus reservas en vasijas elipsoidales hechas de cerumen (Vit *et al.*, 1994). En cuanto a su morfología las abejas sin aguijón pertenecen a las abejas corbiculadas, al igual que los abejorros (Bombini), las abejas mellíferas (Apini) y las abejas de las orquídeas (Euglossini) (Christoph, 2020).

Tienen características distintivas, siendo la principal de ellas y por la que son conocidas, la ausencia de un aguijón funcional, además de una escasa venación de las alas posteriores y la presencia de un cepillo en la región más amplia de la tibia llamado penicillium (Figura 4), adicionalmente, es usual que las hembras presenten uñas simples, es decir no bifurcadas (Quezada Euán, 2005).

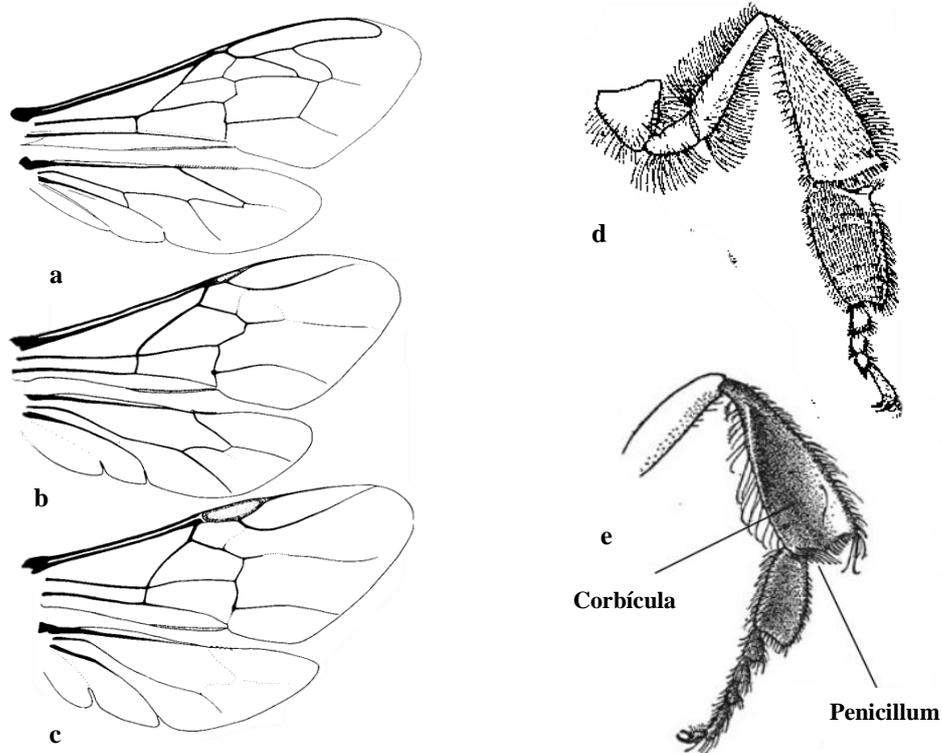


Figura 4. Ejemplificación de la venación de las alas de abejas obreras. a) *Apis mellifera*, b) *Melipona fasciata* y c) *Plebeia frontalis*. Tibias traseras de trabajadores. d) *Apis mellifera* y e) *Schwarziana quadripunctata*.

Fuente: Michener, 2007; Christoph, 2020

1.4 La especie *Scaptotrigona mexicana*

Dentro de la tribu Meliponini encontramos el género *Scaptotrigona* que cuenta con 24 especies distribuidas en el continente americano (Michener, 2007) dentro de las que se encuentra *S. mexicana* (Figura 3). Esta pertenece a una de las 46 especies de abejas sin aguijón reportadas en México (Ayala *et al.*, 2013). *S. mexicana* es fácil de reconocer, ya que es la única del país con el exoesqueleto completamente negro (Ayala, 1999), mide de 5.0 a 5.3 mm, con alas largas de 5.1 a 5.4 mm (Michener, 2007) que en ocasiones llegan a presentar tonalidades naranjas (Arnold *et al.*, 2018).

Las colonias de *S. mexicana* se componen de numerosos individuos, que fabrica sus nidos en los troncos o ramas ahuecadas de los árboles, y tiene una singular entrada en forma de trompeta hecha de cerumen, en la que suele haber alrededor de diez abejas guardianas, quienes defienden el nido mordiendo o enredándose en el cabello de los intrusos (Arnold *et al.*, 2018). Se distribuye en Chiapas, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, dentro de los bosques, tropicales, de pino y mesófilos de montaña. Pudiéndose encontrar desde el nivel del mar hasta una altitud aproximada de 1000 metros (Ayala, 1999).

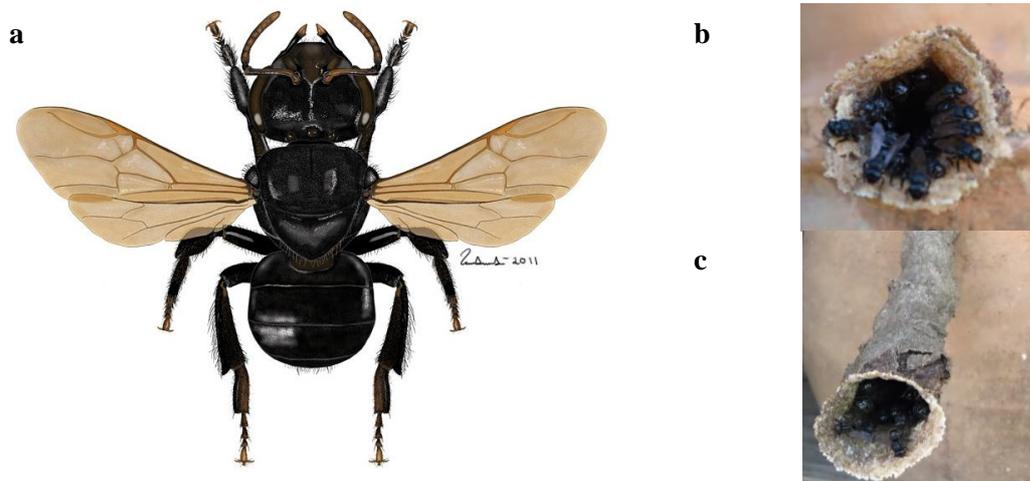


Figura 5. a) Ilustración de la abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana*, b) y c) fotografía entrada del nido con abejas guardianas de la especie *S. mexicana* de Cuetzalan, Puebla.

Fuente: Ilustración de Jimeno Sevilla, 2013 y fotografías propias del autor.

1.5 Biología

Las abejas sin aguijón viven en colonias permanentes que van desde unas docenas hasta varios miles de individuos. Presentan castas morfológicamente bien diferenciadas reina, obreras y zánganos (Michener, 2007), que desempeñan roles conductuales inflexibles de modo que ningún individuo podría sobrevivir de forma independiente (D. Roubik, 2006). La reina es la abeja de mayor tamaño dentro de la colonia, y después del apareamiento muestran un abdomen muy abultado, lo que la diferencia claramente de las reinas vírgenes con las que cohabita. La función principal de la reina es la de controlar las actividades de la colonia mediante la liberación de feromonas; además de encargarse de la puesta de huevos; aquellos huevos fertilizados pueden dar origen a obreras o reinas

si se les brinda una dieta especial, mientras que los huevos no fertilizados darán como resultado zánganos. Un caso particular lo presenta el género *Melipona*, donde la genética determina si un huevo dará origen a una reina, obrera o zángano (Arnold *et al.*, 2018; Christoph, 2020).

La mayoría de los individuos de la colonia son obreras, las cuales se encargan de realizar las tareas de mantenimiento de la colonia, como la construcción de las estructuras del nido, búsqueda de alimento, defensa, alimentación de la reina y las larvas, producción de cera y en algunos casos producción de zánganos, al poner huevos no fertilizados. Por su parte los zánganos representan la parte masculina dentro de la colonia, cuya función principal es la de aparearse con la reina, además de ayudar con la producción de calor en el área de cría y producción de cera (Guzmán Díaz *et al.*, 2011; Arnold *et al.*, 2018; Christoph, 2020).

1.5.1 Estructura del nido

Las diferentes especies de abejas sin aguijón exhiben interesantes variaciones arquitectónicas en las prácticas de anidación, pudiendo habitar en los troncos huecos de los árboles, ramas, fisuras en rocas, cavidades subterráneas y en algunas ocasiones en asociación con termitas, hormigas o avispas. La elección del sitio de anidación se encuentra vinculado con las actividades de alimentación, mantenimiento y defensa de la colonia (Roubik, 2006). En cuanto al material de construcción, el nido está constituido en su gran mayoría por cerumen, que es una mezcla de cera secretada por las glándulas abdominales de las abejas y resinas vegetales (Obregón Hernández, 2000; Arnold, *et al.*, 2018), lo cual le aporta flexibilidad a este material (Roubik, 2006).

Independientemente del sitio de anidación y de si este es natural o fabricado por el hombre, los nidos presentan la siguiente estructura (Figura 6):

Entrada o piquera: consisten en tubos proyectados que conectan la colonia con el exterior (Roubik, 2006), con aperturas angostas o anchas en forma de embudo, cuyos tamaños y colores suelen variar y ser específicos de acuerdo a las diferentes especies. Para su construcción las abejas sin aguijón emplean cerumen que en algunas ocasiones mezclan con barro o arena. Esta estructura se encuentra vigilada y protegida por una o varias abejas guardianas (Arnold, *et al.*, 2018).

Batumen: pared o capa de material endurecido de color marrón a negro que recubre al nido. Se fabrica con una mezcla de cerumen, arena, barro, fibras de plantas y algunas especies emplean excremento de mamíferos. Su función es la de delimitar el nido, ayudar en la calefacción al sellar hendiduras y en algunas especies fijar el nido a cavidades arbóreas (Obregón Hernández, 2000; Roubik, 2006; Arnold *et al.*, 2018).

Involucro: laminas delgadas e irregulares distribuidas en forma concéntrica, fabricadas con cerumen puro, con una coloración café claro. Esta estructura rodea a los panales de cría, dificultando el acceso a enemigos y aislándolos de la humedad (Obregón Hernández, 2000; Quezada Euán, 2005; Roubik, 2006; Arnold *et al.*, 2018). Cabe destacar que en nidos de algunas especies no hay involucro ya que construyen sus celdas de cría en forma de racimo, como la especie *Frieseomelitta nigra* (Nogueira-Neto, 1997).

Panel de cría: están constituidos por varias celdas de cría, formando discos horizontales que pueden encontrarse simplemente superpuestos o separados por pilares, confiriéndole una forma de racimo (Arnold *et al.*, 2018). Las celdas se construyen con cerumen y en algunas especies con cera pura como *Trigona timida* (Nogueira-Neto, 1997).

Potes de almacenamiento: recipientes de cerumen en forma esférica u ovoide, que sirven para almacenar miel o polen (Quezada Euán, 2005). Suelen encontrarse alrededor de la cámara de cría y del involucro (Arnold *et al.*, 2018), aunque si el nido es lo suficientemente amplio su distribución puede ser irregular (Nogueira-Neto, 1997).

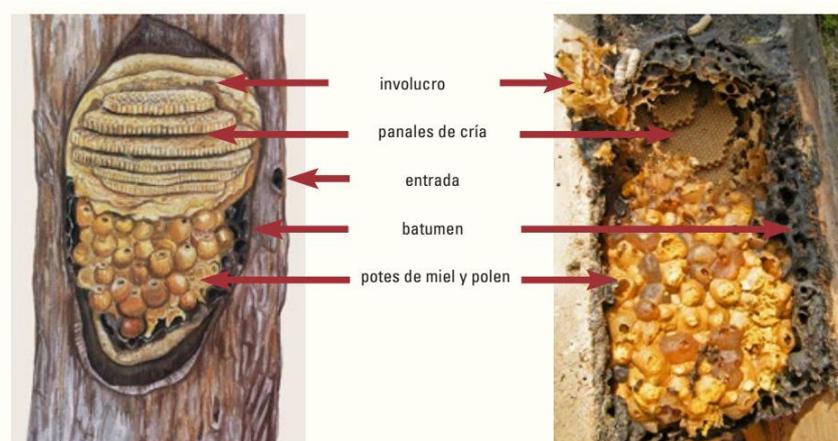


Figura 6. Estructura general del nido de las abejas sin aguijón.
Fuente: Arnold *et al.*, 2018

1.5.2 Termorregulación

Las abejas pueden emplear las estructuras del nido para la regulación de la temperatura, de modo que favorezca la estabilidad de la colonia, por ejemplo, el batumen ayuda a mantener la temperatura interna del nido actuando como un aislante térmico, aunque algunas especies pueden cribarlo para permitir la ventilación de ser necesario (Quezada Euán, 2005). El involucro conserva el calor en las celdas de cría (Nogueira-Neto, 1997; Barbosa *et al.*, 2013; Arnold *et al.*; 2018). Mientras que la entrada sirve como el punto de ingreso de aire fresco de forma pasiva. Dentro de las actividades que realizan las abejas para la termorregulación de la colonia, tenemos el enfriamiento activo, donde las abejas usan sus alas para abanicar el nido expulsando así el aire cargado de CO₂, e introducir aire fresco (Moritz & Crewe, 2005). Se observó en la especie *Scaptotrigona postica*, que la mayoría de los individuos de la colonia durante un periodo de sobrecalentamiento abandonan el nido y los pocos restantes abanicar los panales de cría de forma alineada. En cuanto a un descenso brusco de temperatura aíslan las zonas frías de los panales de cría y pueden realizar incubaciones masivas (Engels *et al.*, 1995).

La elección del sitio de anidación también puede influir, pues las abejas que fabrican sus nidos en los troncos huecos de los árboles, se encuentran constantemente protegidos del sol, mientras que aquellas que anidan en el subsuelo lo hacen a una profundidad considerable, para aislarse del aumento de temperatura de la superficie (Moritz & Crewe, 2005; Barbosa *et al.*, 2013). Las diferentes estrategias de termorregulación están encaminadas a mantener la temperatura de la colonia por debajo de los 35.5°C - 35.7°C, ya que, si se alcanzan y mantienen estos límites críticos, se produciría la muerte de varios individuos dentro de la colonia (Fletcher, 1981; Moritz & Crewe, 2005). En cuanto a las colmenas artificiales una exposición prolongada al sol puede causar la muerte de las crías en los panales, por lo que es necesario considerar este factor al colocar las colmenas (Nogueira-Neto, 1997).

1.5.3 Alimentos de la colonia polen y miel

Las abejas sin aguijón sobrevuelan y polinizan las flores de diversas plantas silvestres, y de algunos cultivos como café (*Coffea arabica*), aguacate (*Persea americana*), rambután (*Nephelium lappaceum*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Slaa *et al.*, 2006); colectando polen y/o néctar. El polen es el sustento proteico de las abejas, por lo que pueden visitar flores exclusivamente por este recurso (Roubik, 1989; De Bruijn &

Sommeijer, 1997). El polen es transportado a la colonia en las corbículas de las abejas y colocado en los potes de almacenamiento (Leonhardt *et al.*, 2007); mientras que el néctar se transporta en el buche melario (Inoue *et al.*, 1985) al igual que melazas y jugos de frutas para la producción de miel. Estas actividades de almacenamiento son necesarias para que la colonia pueda afrontar temporadas de escases (Christoph, 2020).

Las sustancias dulces colectadas por las abejas (néctar, melaza y jugo de frutas) deben de pasar por tres etapas de transformación para convertirse en miel:

La **primera etapa**, consiste en un cambio físico, pérdida de humedad por evaporación, para esto las abejas regurgitan las sustancias dulces y las transfieren a otras abejas una y otra vez, para después depositarla en los potes de almacenamiento (Arnold *et al.*, 2018).

La **segunda etapa** transformación química, ocurre también durante la regurgitación, en este proceso las abejas adicionan a las sustancias dulces, enzimas a través de las glándulas salivales del abdomen y la cabeza. Estas enzimas continúan activas aun en los potes de almacenamiento, y producen la ruptura de azúcares complejos en otros más simples como fructosa y glucosa (Santos *et al.*, 2013), al producto de este proceso ya se le considera miel.

La **tercera etapa**, transformación biológica, después de que las abejas sellan los potes de almacenamiento se produce de forma natural la fermentación, debido a la presencia de bacterias y levaduras que permanecen activos por la cantidad de humedad presente en la miel, además de ser tolerantes a acidez elevada y altas presiones osmóticas (Menezes *et al.*, 2013). Es importante señalar que el aumento de volumen de la miel derivado del proceso de fermentación, es amortiguado por la flexibilidad del cerumen del que están fabricados los potes de almacenamiento (Arnold *et al.*, 2018).

1.6 Composición bioquímica de la miel de abeja sin aguijón

La miel es un producto natural derivado del néctar de las plantas (Souza *et al.*, 2006) que contiene múltiples sustancias bioquímicas, principalmente azúcares (Pascual-Maté *et al.*, 2018), agua, proteínas, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales como, potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), además de pigmentos y compuestos fenólicos (Habib *et al.*, 2014). Es producida tanto por las abejas del género *Apis* como por las abejas sin aguijón (Rao *et al.*, 2016), siendo esta última popular por su dulzura mezclada con un sabor ácido, y textura más fluida (Nordin *et al.*, 2018). No obstante, presenta una gran

variabilidad en su composición, dicha variabilidad depende de la especie de abeja, la floración de pecoreo y la región geográfica donde habitan (Cardona *et al.*, 2019).

1.6.1 Carbohidratos

Los carbohidratos son el principal constituyente bioquímico de la miel, en el caso de la miel de abeja sin aguijón, los azúcares mayoritarios son la fructosa y la glucosa, guardando este orden de concentración (Rao *et al.*, 2016; Ávila *et al.*, 2018), seguido por la sacarosa (0.074 g/100g (Biluca *et al.*, 2016) – 5.52 g/100g (Lemos *et al.*, 2018)) y la arabinosa (0.2 g/100g – 1.0 g/100g), la cual se ha reportado en bajas cantidades en mieles brasileñas (Sousa *et al.*, 2016). Mientras que la maltosa puede presentarse en reducidas concentraciones (0.21 g/100g – 4.19 g/100g) (Habib *et al.*, 2014) y de forma irregular como el azúcar mayoritario en algunas mieles de Tailandia (37 g/100g) (Chuttong *et al.*, 2016) y Malasia (33.7 g/100g – 45.2 g/100g) (Tuksitha *et al.*, 2018).

La proporción de azúcares reductores (suma de fructosa y glucosa) en la miel de abeja sin aguijón es variable, incluso dentro de la misma especie, por ejemplo, en *S. mexicana* se han reportado valores de 47.36 g/100g (Espinoza-Toledo *et al.*, 2018) a 59.16 g/100g (Jimenez *et al.*, 2016). En Sudamérica los azúcares reductores van de 48.6 g/100g (Biluca *et al.*, 2016) a 75.64 g/100g (Nweze *et al.*, 2017). Mientras que en Tailandia y Malasia se tienen los valores más bajos de azúcares reductores de 12.5 g/100g a 68 g/100g (Chuttong *et al.*, 2016) y de 27.2 g/100g a 40.5 g/100g respectivamente. Debido a dicha variabilidad, este parámetro usualmente difiere de lo establecido por el Codex Alimentarius (2001) para las abejas melíferas (mínimo de 60 g/100g); sin embargo, la abundancia de fructosa es lo que le da a esta miel su característico sabor dulce, ya que este monosacárido es más dulce que la glucosa y la sacarosa. Además, es más fluida, lo que aunado a su elevada humedad reduce su tendencia a la cristalización (da Silva *et al.*, 2016; Julika *et al.*, 2020).

1.6.2 Proteínas

El contenido de proteínas presentes en la miel de abejas sin aguijón ha sido poco estudiado; sin embargo, gracias a los trabajos realizados en mieles del género *Melipona* de origen brasileño, que han reportado porcentajes del 0.04% al 2.84 % de la composición total, se puede tener una idea de su baja concentración (Souza *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2006; Damasceno do Vale *et al.*, 2018). Las proteínas presentes en la

miel están asociadas directamente con el contenido de enzimas. Estas enzimas pueden proceder directamente de las glándulas de las abejas, aunque también se deben considerar aquellas propias del néctar de las plantas (Habib *et al.*, 2014).

Las enzimas de la miel son valiosas no por su carácter nutricional, sino por su función durante el proceso de maduración. Las principales enzimas en la miel son la diastasa, invertasa y glucosa oxidasa provenientes de las abejas, además de catalasa y fosfatasa de origen vegetal (Pascual-Maté *et al.*, 2018) (Cuadro 2). En términos de calidad las enzimas diastasa e invertasa son consideradas como indicadores de frescura, ya que estas se degradan con el paso del tiempo y con la exposición al calor (Julika *et al.*, 2020). Sin embargo, la invertasa no suele incluirse en la mayoría de los estudios realizados a la miel, ya que es más susceptible a desaparecer con el aumento de la temperatura (Oddo *et al.*, 1999).

Cuadro 2. Principales enzimas presentes en la miel y su función.

Enzima	Función
Invertasa	Convierte la sacarosa a glucosa y fructosa.
Diastasa	Hidroliza el almidón a dextrinas y/o azúcar.
Glucosa-oxidasa	Convierte la glucosa a glucolactano; éste a su vez produce ácido glucónico y peróxido de hidrógeno.
Catalasa	Convierte el peróxido de hidrogeno a agua y oxígeno.
Fosfatasa Ácida	Remueve fosfatos inorgánicos de fosfatos orgánicos.

Fuente: National Honey Board, citado por Bachmann Lovece (2007).

En mieles de abeja sin aguijón se han descritos valores bajos de diastasa, de 0.15 DN para *Tetrigona melanoleuca* de Tailandia (Chuttong *et al.*, 2016), y de 1.92 DN, 5.96 DN y 7.32 DN para mieles mexicanas de las especies *Melipona beecheii*, *S. mexicana* y *Melipona solani* respectivamente (Espinoza Toledo *et al.*, 2018); mientras que los valores más altos se reportan para la especie brasileña *Tetragonisca angutula* con 32.27 DN (Anacleto *et al.*, 2009) y 49.6 DN (Biluca *et al.*, 2016).

Por otro lado, los aminoácidos que se han reportado para la miel de pote son histidina (His), serina (Ser), arginina (Arg), glicina (Gly), ácido aspártico (Asp), ácido glutámico (Glu), treonina (Thr), alanina (Ala) y prolina (Pro) (Habib *et al.*, 2014). Además de

cisteína (Cys), la cual se asocia con miel de acacia y fenilalanina (Phe) para la de carambolo, con lo cual se evidencia, que ciertos aminoácidos pueden ser específicos para algunas mieles y por lo tanto sirven como una forma para clasificarlas de acuerdo a su origen botánico (Shamsudin *et al.*, 2019).

1.6.3 pH y acidez

Otra característica destacable en la miel de abeja sin aguijón es su distintivo sabor ácido, derivado de la combinación de dos factores pH y acidez. El pH menos ácido está reportado para mieles del género *Melipona*, con valores de 3.27 (Souza *et al.*, 2004) y el valor máximo de 6.64 (Carvalho *et al.*, 2009). Mientras que en *S. mexicana* el pH, varía de 3.50 a 4.86 y su acidez de 32.90 meq/Kg a 100.02 meq/Kg (Jimenez *et al.*, 2016; Espinoza-Toledo *et al.*, 2018); estos altos índices de acidez están relacionados con los ácidos orgánicos presentes en la miel, principalmente el ácido glucónico, e incluso con las proteínas (Jimenez *et al.*, 2016). Es importante considerar que los parámetros bajos de pH ofrecen una ventaja, ya que se pueden asociar con el reducido crecimiento de microorganismos en la miel (Habib *et al.*, 2014).

1.6.4 Hidroximetilfurfural

El 5-(hidroximetil)-2-furanocarbaldehído, conocido como hidroximetilfurfural (HMF) es un compuesto furánico, que se forma como producto intermedio en la reacción de Maillard (Wang *et al.*, 2009), debido al calentamiento o prolongados periodos de almacenamiento de la miel. Cuando esto ocurre las hexosas (fructosa y glucosa) se descomponen en una lenta enolización y una rápida pérdida de tres moléculas de agua (da Silva *et al.*, 2016). Además, el HMF también puede formarse por una triple deshidratación de hexosas, reacción catalizada por un medio ácido (Tosi *et al.*, 2002) como lo es la miel. Debido a lo anterior el HMF es un parámetro de calidad relacionado con el deterioro y el sobrecalentamiento de la miel (Silva *et al.*, 2013).

De acuerdo con Biluca *et al.* (2014), la miel de abeja sin aguijón es menos susceptible a la formación de HMF que la miel de *Apis mellifera* al ser sometidas a tratamientos térmicos. Por lo que es necesario considerar que además de la temperatura, la formación de HMF estará en función del tipo de azúcar predominante, tiempo, el pH y el contenido de agua (Wang & Ho, 2008). La concentración de HMF que se ha reportado en la miel de abeja sin aguijón es usualmente menor de 10 mg/Kg (Vit *et al.*, 1994, 1998; Alves

et al., 2005; Anacleto *et al.*, 2009; Carvalho *et al.*, 2009; Fuenmayor *et al.*, 2012; Suntiropapop *et al.*, 2012; de Almeida-Muradian *et al.*, 2013; Issaro *et al.*, 2014; Biluca *et al.*, 2016; Nweze *et al.*, 2017; Alvarez-Suarez *et al.*, 2018; do Vale *et al.*, 2018) llegando a estar incluso por debajo del límite de cuantificación (LOQ) (Biluca *et al.*, 2014), mientras que para *S. mexicana* los valores reportados oscilan entre 8.33 mg/Kg a 16.4 mg/Kg y el valor más alto reportado es de 78.5 mg/Kg para *Melipona solani* (Grajales-Conesa *et al.*, 2018).

1.6.5 Minerales, vitaminas y carotenoides

La miel presenta otros compuestos minoritarios como los minerales, los carotenoides y las vitaminas. Siendo el potasio (K), calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg) y hierro (Fe), los minerales que se presentan en mayores proporciones (Habib *et al.*, 2014; Biluca *et al.*, 2016; Kek *et al.*, 2017; Lemos *et al.*, 2018). Por su parte los lípidos están presentes en la miel en forma de carotenoides, algunos de los que se han reportado son: Luteína, criptoxantina, Zeaxantina, b-caroteno y c-caroteno (Habib *et al.*, 2014); en este último aspecto es importante señalar que el contenido de carotenoides también puede verse influenciada por la región geográfica, al respecto se observó que miel de *S. mexicana* colectada en una región productora de naranjas poseía un alto contenido de β -carotenos (0.56 – 6.19 mg/Kg) (Jimenez *et al.*, 2016). Las vitaminas que se encuentran en la miel incluyen, ácido ascórbico (vitamina C) (Ranneh *et al.*, 2018; Agus *et al.*, 2019; Salleh *et al.*, 2021) y vitaminas del complejo B, aportadas por los granos de polen, como tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido nicotínico (B3), ácido pantoténico (B5), biotina (B8H) y ácido fólico (B9) (Bonté & Alexis, 2013).

1.7 Propiedades físicas de la miel de abeja sin aguijón

1.7.1 Humedad

La cantidad de agua en la miel de abeja sin aguijón se presenta como una de sus características distintivas (Biluca *et al.*, 2016), pues suele ser superior al límite máximo (20 g/100g) establecido para *Apis mellifera* (Vit *et al.*, 2006). El alto contenido de humedad junto con la baja concentración de glucosa limita la cristalización de la miel, aunque, por otro lado, deriva en procesos de fermentación durante el almacenamiento (Gomes *et al.*, 2010). Pues si bien su actividad de agua (a_w) se considera baja (0.52 – 0.64) y le brinda cierta estabilidad, existe la presencia de levaduras osmotolerantes que continúan con el proceso fermentativo (Habib *et al.*, 2014).

El contenido de humedad más bajo que se ha reportado en miel de abeja sin aguijón es para Nigeria (13.86 g/100g a 17.5 g/100g) (Nweze *et al.*, 2017) y Tailandia (13.26 g/100g a 15.73 g/100g) (Issaro *et al.*, 2014). Mientras que los valores más altos son para las especies *Homotrigona fimbriata* (41 g/100g), *Tetrigona apicalis* (42 g/100g), *Tetrigona melanoleuca* (43 g/100g) (Chuttong *et al.*, 2016) y *Partamona epiphytophila* (45.8 g/100g). En la miel de *S. mexicana*, el contenido de humedad reportado es de 20.61 (Jimenez *et al.*, 2016) a 38.63 g/100g (Espinoza Toledo *et al.*, 2018). El alto contenido de humedad se debe a la baja tasa de evaporación del néctar en el proceso de transformación a miel, y a la humedad del hábitat natural de las abejas.

1.7.2 Color

El color en la miel se expresa en unidades de Pfund, que utiliza una escala de color estandarizada de 1 a 149 mm. Este sistema comparador de color fue ideado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, donde la miel puede variar de blanco transparente a ámbar oscuro (Sechrist, 1925). Se considera que el aumento en la intensidad del color está relacionado con la floración de pecoreo (Arnold *et al.*, 2018), así como al aumento en la concentración de compuestos fenólicos, carotenoides (Beretta *et al.*, 2005), hidroximetilfurfural (Gomes *et al.*, 2010) y la concentración de minerales (Solayman *et al.*, 2016), además las cenizas y el polen también pueden tener efectos sobre esta característica (Cardona *et al.*, 2019).

Al respecto en mieles peruanas del género *Melipona* (Rodríguez-Malaver *et al.*, 2009) se registraron valores de 26 mm Pfund a 103 mm Pfund, y de 150 mm Pfund para *Nannotrigona melanocera* y *Tetragonisca angustula*. Mientras que Espinoza Toledo y colaboradores (2018), determinaron el color por la medición de la absorbancia directamente a muestras de miel diluida, convirtiendo los valores obtenidos a mm Pfund (Cuadro 3), reportando los siguientes resultados, de 0.15 nm a 0.27 nm para *Melipona beecheii*, de 0.12 nm a 0.13 nm para *Melipona solani* y de 0.55 a 0.75 para *S. mexicana*.

Cuadro 3. Equivalencia entre los valores de la escala de Pfund en mm y la densidad óptica (absorbancia) en nm.

Colores de la miel		
Estandar de color	Escala de Pfund (mm)	Absorbancia (nm)
Blanco agua	< 9	0.104 – 0.125
Extra blanco	9 – 17	0.125 – 0.148
Blanco	18 – 34	0.148 – 0.195
Ámbar extra claro	35 – 50	0.195 – 0.238
Ámbar claro	51 – 85	0.238 – 0.333
Ámbar	86 – 114	0.333 – 0.411
Ámbar oscuro	> 114	0.411 o más

Fuente: IRAM 15941-2, 2007

1.7.3 Conductividad eléctrica

La miel cuenta con diversos minerales, aminoácidos y ácidos orgánicos, disueltos en agua, por lo cual puede conducir la electricidad si se le aplica una corriente eléctrica. A esto se le conoce como Conductividad eléctrica (CE), este dato es útil, pues se encuentra directamente relacionado con la concentración de minerales en la miel (Solayman *et al.*, 2016). Dichos minerales se encuentran de forma constante sin importar el tiempo o las condiciones de almacenamiento (da Silva *et al.*, 2016). El valor más bajo reportado de CE es de 0.102 mS/cm para *Melipona subnitida* (de Almeida-Muradian *et al.*, 2013) y el más alto es de 7.32 mS/cm para *Tetragonisca angustula* (Vit *et al.*, 1998), aunque un estudio posterior realizado por Anacleto *et al* (2009), reportaron una media de 0.133 mS/cm, para veinte muestras de miel de la misma especie. Por otro lado, en la especie *S. mexicana* se reportan valores de 0.114 mS/cm a 1.211 mS/cm (Espinoza-Toledo *et al.*, 2018).

1.8 Propiedades medicinales y compuestos bioactivos

La miel de abeja sin aguijón fue valorada por algunas culturas precolombinas por sus propiedades medicinales (Christoph, 2020), siendo dichas propiedades la razón por la que se cosecha y comercializa actualmente (Ocampo Rosales, 2013), además de ser el fundamento del estudio de sus propiedades etnofarmacológicas (Cuadro 4). Las investigaciones al respecto, han probado su actividad antiinflamatoria (Borsato *et al.*, 2014; Vit *et al.*, 2004), antioxidante (Biluca *et al.*, 2016; Ávila *et al.*, 2018), antimicrobiana (Kimoto-Nira & Amano, 2008; Boorn *et al.*, 2010; Zamora *et al.*, 2017),

cicatrizante (Jalil *et al.*, 2017) y sus cualidades en la curación de cataratas (Pedraza *et al.*, 2015) y úlceras del pie ocasionadas por la diabetes (Grajales-Conesa *et al.*, 2018).

Un intento por ampliar el panorama de propiedades medicinales, se ha efectuado en Malasia, donde algunas investigaciones en la miel de abeja sin aguijón *Heterotrigona itama*, han reportado su utilidad como retrasante del envejecimiento de la piel en estudios *in vitro*, al promover la síntesis de colágeno (Abdul Malik *et al.*, 2020), como generador de apoptosis celular en gliomas malignos (Ahmad *et al.*, 2019), reductor de los indicadores relacionados con la obesidad al suplementarse en la dieta (Mohd Rafie *et al.*, 2018), además de promover la mejora de la memoria y el aprendizaje, al ser consumida por roedores en dosis de 2000 mg/kg en un periodo de siete días (Mustafa *et al.*, 2019).

En general dichas cualidades terapéuticas se deben no solo a su alto contenido de azúcares, acidez, la presencia de peróxido de hidrogeno (Mandal & Mandal, 2011), vitaminas y minerales, sino también a los compuestos fenólicos (Abu Bakar *et al.*, 2017; Jalil *et al.*, 2017), responsables de la actividad antioxidante (Aljadi & Kamaruddin, 2004). Entre los compuestos fenólicos que se han identificado están los ácidos fenólicos, como salicílico, p-cumárico (Biluca *et al.*, 2016, 2020), ferúlico, elágico; flavonoides como mirecetina, catequina, rutina (Sousa *et al.*, 2016), aromadetrina y taxifolina (Biluca *et al.*, 2020). Sin embargo, al igual que otras características en esta miel, la disposición de compuestos fenólicos es variable, debido a que depende de la vegetación disponible y de la predilección floral de cada especie de abeja sin aguijón (Ávila *et al.*, 2019).

Por otro lado, es importante considerar, el contacto de la miel con el cerumen de los potes de almacenamiento. El cerumen es una mezcla de cera producida por las glándulas abdominales de las abejas y el propóleo, que proviene de resinas de plantas, y que transfiere a la miel sus propiedades terapéuticas a través de la infiltración de compuestos fitoquímicos de los potes de almacenamiento (Boorn *et al.*, 2010; Jalil *et al.*, 2017). Este efecto generado del cerumen, puede explicar las diferencias encontradas en las propiedades antimicrobianas entre mieles de abejas sin aguijón provenientes de diferentes regiones (Kimoto-Nira & Amano, 2008). Mientras que, al compararse con las mieles producidas por las abejas melíferas, cuyas celdas están construidas por cera pura

carente de propóleo, se ha observado que la miel de abeja sin aguijón posee una mayor actividad antimicrobiana y en general terapéutica (Dardón & Enríquez, 2008; Kimoto-Nira & Amano, 2008; Zulkhairi Amin *et al.*, 2018).

Cuadro 4. Lista de propiedades medicinales reportadas para miel de abeja sin aguijón de diferentes especies.

Especie	País	Propiedades reportadas	Referencias
<i>Geotrigona acapulconis</i>	Guatemala	Actividad antimicrobiana	(Dardón & Enríquez, 2008)
<i>Heterotrigona itama</i>	Malasia	Antienvjecimiento ¹ . Mejora la memoria y el aprendizaje ² . Anticancerígeno ³ . Anti-obesidad ⁴ .	(Mohd Rafie <i>et al.</i> , 2018; Ahmad <i>et al.</i> , 2019; Mustafa <i>et al.</i> , 2019; Abdul Malik, <i>et al.</i> , 2020)
<i>Melipona beecheii</i>	México Guatemala, México y Venezuela Costa Rica y Guatemala	Actividad antimicrobiana ¹ . Contribuye a la curación de las lesiones en pie diabético ² . En la medicina tradicional se emplea para aliviar: trastornos digestivos, enfermedades oculares, infecciones respiratorias, cicatrización de heridas, recuperación posparto, fatiga y úlceras cutáneas ³ . Actividad antimicrobiana ⁴ .	(Vit <i>et al.</i> , 2004; Dardón & Enríquez, 2008; Kimoto-Nira & Amano, 2008; Zamora <i>et al.</i> , 2017; Grajales-Conesa <i>et al.</i> , 2018)
<i>Melipona bicolor</i>	Brasil	Antimicrobiana y antioxidante	(Ávila <i>et al.</i> , 2019)
<i>Melipona favosa</i>	Venezuela	Antiinflamatoria	(Vit, 2002)
<i>Melipona quadrifasciata</i>	Brasil	Antimicrobiana y antioxidante ¹ . Antioxidante y antiinflamatoria ² .	(Ávila <i>et al.</i> , 2019; Biluca <i>et al.</i> , 2020)
<i>Melipona marginata</i>	Brasil	Antimicrobiana y antioxidante ¹ . Antioxidante y antiinflamatoria ² .	(Borsato <i>et al.</i> , 2014; Ávila <i>et al.</i> , 2019; Biluca <i>et al.</i> , 2020)
<i>Melipona paraensis</i>	Venezuela	En la medicina tradicional se emplea en la recuperación posparto.	(Vit <i>et al.</i> , 2004)
<i>Melipona solani</i>	México Guatemala	Contribuye a la curación de lesiones en pie diabético. Actividad antimicrobiana.	(Dardón & Enríquez, 2008; Grajales-Conesa <i>et al.</i> , 2018)
<i>Nanotrigona perilampoides</i>	México Guatemala	En la medicina tradicional se emplea en el tratamiento de cataratas y pterigión, dolores de estómago y hematomas. Actividad antimicrobiana.	(Vit <i>et al.</i> , 2004; Dardón & Enríquez, 2008)
<i>Scaptotrigona bicunctata</i>	Brasil	Antimicrobiana y antioxidante ¹ . Antioxidante y antiinflamatoria ² .	(Ávila <i>et al.</i> , 2019; Biluca <i>et al.</i> , 2020)
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	México Guatemala	Actividad antimicrobiana ¹ . En la medicina tradicional se emplea en la mejora de infecciones respiratorias ² . Actividad antimicrobiana.	(Vit <i>et al.</i> , 2004; Dardón & Enríquez, 2008; Kimoto-Nira & Amano, 2008)
<i>Scaptotrigona pectoralis</i>	México y Guatemala	Actividad antimicrobiana.	(Dardón & Enríquez, 2008; Kimoto-Nira & Amano, 2008)
<i>Tetragona clavipes</i>	Brasil	Antioxidante y antiinflamatoria	(Biluca <i>et al.</i> , 2020)

<i>Tetragonisca angustula</i>	Argentina	Retarda la aparición de cataratas relacionadas con la diabetes ¹ .	(Vit <i>et al.</i> , 2004; Dardón & Enríquez, 2008; Pedraza <i>et al.</i> , 2015; Zamora <i>et al.</i> , 2017; Biluca <i>et al.</i> , 2020)
	Guatemala, México y Venezuela	En la medicina tradicional se emplea en el tratamiento de desórdenes estomacales, cataratas y pterigión, infecciones respiratorias y cicatrización de heridas ² .	
	Brasil Costa Rica	Antioxidante y antiinflamatoria ³ . Tratamiento de <i>Estafilococcus</i> en infecciones de heridas ⁴ .	
	Guatemala	Actividad antimicrobiana.	
<i>Trigona biroi</i>	Filipinas	Actividad antimicrobiana	(Kimoto-Nira & Amano, 2008)
<i>Trigona carbonaria</i>	Australia	Actividad antibacterial de amplio espectro ¹ . Cerumen capacidad de suprimir el catabolismo del ácido linoleico, mostrando así un potente efecto antioxidante para prevenir la peroxidación de lípidos y proteger la integridad de las membranas celulares ² .	(Boorn <i>et al.</i> , 2010; Massaro <i>et al.</i> , 2011)
<i>Trigona hipogea</i>	Brasil	Antioxidante y antiinflamatoria	(Biluca <i>et al.</i> , 2020)
<i>Trigona sp.</i>	Malasia	Mejora la memoria y reduce la ansiedad.	(Arshad <i>et al.</i> , 2020)

Fuente: Propia del autor.

1.9 Factores determinantes en la calidad de la miel

La miel es un valioso alimento, para el que se han establecido métodos para el control de calidad, regulados por el Codex Alimentarius o por las autoridades sanitarias de cada país, basándose en sus normas oficiales (Vit *et al.*, 2004). Los criterios de calidad de forma general incluyen aspectos de presentación como sabor, olor y consistencia (Codex Alimentarius, 2001), además de análisis fisicoquímicos empleados como control de calidad para aspectos de madurez (contenido de azúcares y humedad), pureza (minerales o cenizas, presencia de polen y sólidos insolubles) y deterioro (acidez libre, actividad de la diastasa e hidroximetilfurfural) (da Silva *et al.*, 2016; Brasil *et al.*, 2018).

Es importante señalar que los estándares de calidad establecidos por el Codex Alimentarius (2001) y la Norma Oficial Mexicana de la miel (SADER, 2020) están destinados exclusivamente a la miel de *Apis mellifera*, dificultando de esta forma la integración de mieles de otras especies. Aunado a lo anterior el conocimiento que se tiene actualmente sobre la miel de abeja sin aguijón se puede considerar limitado (Silva *et al.*, 2013; Chuttong *et al.*, 2016; Jalil *et al.*, 2017; Ávila *et al.*, 2018) y la información existente señala la variación en la composición de la miel producida por estas abejas, de

acuerdo a la especie, la región geográfica y la fuente floral, ralentizando de esta forma el establecimiento de estándares generales (Biluca *et al.*, 2016; Cardona *et al.*, 2019).

Aun con lo anterior Vit *et al.* (2004) propusieron parámetros de estandarización, aplicables a mieles medicinales de los géneros *Melipona*, *Scaptotrigona* y *Trigona*, provenientes de México, Guatemala y Venezuela. En esta propuesta se emplearon los parámetros establecidos por el Codex Alimentarius (2001), humedad, azúcares reductores, sacarosa, acidez libre, cenizas, actividad de la diastasa e hidroximetilfurfural. Mientras que Malasia propuso un estándar interno para las mieles producidas por la tribu Meliponini, al cual se le añadieron tres parámetros más, contenido de maltosa, pH y la presencia de fenoles vegetales (Malaysian Standards, 2017), como se muestra en el Cuadro 5. Es importante señalar que las investigaciones enfocadas en conocer la composición y características sensoriales de la miel de abeja sin aguijón, pueden contribuir al establecimiento de estándares generales para el control de calidad de la miel de abeja sin aguijón como lo ha sugerido Vit *et al.*, (2006).

Cuadro 5. Comparación de los parámetros de calidad establecidos por el Codex alimentarius y los propuestos para miel de abeja sin aguijón.

Parámetro	Codex Alimentarius, 2001	Vit <i>et al.</i> , 2004			Malaysian Standards, 2017
	<i>A. mellifera</i>	<i>Melipona</i>	<i>Scaptotrigona</i>	<i>Trigona</i>	Tribu Meliponini
Humedad (g/100g)	Max 20	Max 30	Max 30	Max 30	Max 35
Azúcares (g/100g) (fructosa + glucosa)	Min 60	Min 50	Min 50	Min 50	Max 85
Sacarosa (g/100g)	Max 5	Max 6	Max 2	Max 6	Max 7.5
Maltosa (g/100g)	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Max 9.5
Acidez libre (meq/100g)	Max 50	Max 70	Max 85	Max 75	No aplica
Cenizas (g/100g)	Max 0.5	Max 0.5	Max 0.5	Max 0.5	Max 1
Actividad de la diastasa (DN)	Min 8	Min 3	Min 3	Min 3	No aplica
Hidroximetilfurfural (mg/Kg)	Max 40	Max 40	Max 40	Max 40	Max 30
pH	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	2.5 – 3.8
Fenoles vegetales	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Presentes

Fuente: Modificado de Nordin *et al.*, 2018

1.10 Adulteración de la miel

La miel de abeja sin aguijón es un importante producto melipónico, consumido y valorado por sus propiedades medicinales (Ocampo Rosales, 2013). Sin embargo, la producción de miel por base de colmena es limitada pudiendo ser inferior a un litro por

año (González-Acereto *et al.*, 2006; Chuttong *et al.*, 2014). Además, la falta de estándares generales y el alto valor de compra de este producto, que puede superar los \$1000.00 pesos por litro en México (Medina, 2015) y los \$100 dolares en Malasia (Shadan *et al.*, 2017), generan incertidumbre sobre la autenticidad de la misma (Souza *et al.*, 2006; Se *et al.*, 2018). La problemática de la adulteración de la miel no solo se debe a que compromete sus cualidades nutrimentales y medicinales (Shadan *et al.*, 2017), sino a que socava el mercado mediante la competencia desleal, generando dudas en los consumidores (Sahlan *et al.*, 2019; Julika *et al.*, 2020).

La forma más común de adulteración en la miel, es la adición de edulcorantes y otras sustancias disponibles en el mercado cuyo precio es más económico, como azúcares (azúcar de caña y de remolacha) (Cordella *et al.*, 2005; da Silva *et al.*, 2016; Se *et al.*, 2018), jarabes (jarabe de maíz, arroz, remolacha, jarabe de fructosa, sacarosa, glucosa y maltosa) (Rios-Corripio *et al.*, 2011; da Silva *et al.*, 2016; Se *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2020), harinas (harina de maíz, trigo y plátano), melaza y agua (Damto, 2019). En el caso particular de la miel de abeja sin aguijón se ha documentado la adición de jugo de frutas, edulcorantes y miel de *A. mellifera* (Souza *et al.*, 2006; Zuccato *et al.*, 2017); además esta última también puede emplearse como base para la fabricación de imitaciones de la miel de abeja melipona, cuyas características sensoriales las hacen muy semejantes a la miel auténtica (Medina, 2015). Por otro lado, es importante considerar que puede ocurrir una adulteración de manera indirecta, al alimentar a las abejas de forma artificial con algunos jarabes, y esto repercutirá en la calidad de la miel resultante (Cordella *et al.*, 2005).

Como ya se plateo anteriormente la adulteración de la miel es un problema complejo, cuya acción repercute directamente en sus características, alterando algunos parámetros como el color, la actividad enzimática, la conductividad eléctrica, o modificando el contenido de algunos compuestos específicos, como el hidroximetilfurfural o los azúcares, al compararlos con un control (Damto, 2019). A continuación, se describen los efectos de la adulteración sobre algunos parámetros de calidad de la miel.

Color. El compuesto que se emplea para adulterar la miel y su procesamiento pueden tener un efecto sobre el color. Por ejemplo, si a la miel se le adiciona azúcar diluida en agua mediante calor, el color se hará más claro tendiendo al blanco, si bien puede parecer

miel auténtica, con el tiempo el azúcar tendera a precipitarse en el fondo. Por otro lado, la miel que se combina a partes iguales con azúcar y se somete a calentamiento adquiere una tonalidad rojiza; mientras que aquella a la que se le agrega melaza presenta un color ámbar oscuro (Gemedda & Negera, 2017).

Humedad. Un aumento en el contenido de humedad en la miel puede ser un indicativo de adulteración (Julika *et al.*, 2020). En el trabajo realizado por El-Biale & Sorour, (2011), se observó un incremento en el porcentaje de humedad en mieles de *Apis* a las que se les adicionó diferentes adulterantes (almidón al 3%, jarabe de glucosa al 20%, melaza y agua destilada), a diferentes concentraciones (1, 3, 6, 12 y 24%), con un aumento de humedad del 21.2% - 36.6%, 20.7% - 39.6%, 22.2% - 22.7% y del 21.4% - 29.2% respectivamente. Resultados similares fueron obtenidos por Ribeiro *et al.*, (2014), en donde el porcentaje de humedad aumento del 18.20% al 20.80% al adicionar jarabe de maíz de alta fructosa en concentraciones del 10% al 75%. Condición que hace susceptible a la miel de abeja sin aguijón a ser adulterada, dado que una característica de este tipo de miel es su alta humedad.

pH. Los valores de pH suelen aumentar levemente al existir adulteración, tal como lo muestra el trabajo de Ribeiro *et al.* (2014), donde la miel de *Apis* pura tuvo un valor de pH de 3.10, y las mieles adulteradas con jarabe de maíz de alta fructosa en concentraciones del 10% al 75%, valores de pH del 3.30 a 3.98. Observaciones similares las detectaron Gebremariam & Brhane (2014), quienes realizaron una adulteración intencionada de miel con azúcar (1:1 v/v), obteniendo un valor de pH de 4.92, mientras que el valor de la miel pura fue de 3.83. En este sentido El-Biale & Sorour (2011), evidenciaron el aumento en el valor de pH de 3.77 a 4.06 al adicionar una solución de almidón al 3%; de 3.95 a 4.11; de 3.68 a 4.19 y de 3.68 al 4.02 al agregar, melaza, agua destilada y jarabe de glucosa respectivamente. Además, también se observa una disminución del valor de pH cuando los adulterantes empleados contienen ácidos orgánicos, como el ácido cítrico que se usa para producir la hidrólisis de azúcares, como lo es la preparación del jarabe de azúcar invertido (Oroian *et al.*, 2018).

Conductividad eléctrica. El valor de la conductividad eléctrica (CE) suele modificarse de acuerdo al adulterante utilizado y su procesamiento, por ejemplo, si el azúcar común (sacarosa) se emplea como adulterante y esta se prepara como jarabe de azúcar invertido,

adicionando ácido cítrico para evitar la cristalización, la CE aumentará, esto mismo ocurre si el adulterante presenta algún otro ácido en su composición (Oroian *et al.*, 2018). Mientras que si a la miel se le adiciona azúcar (Gebremariam & Brhane, 2014) o glucosa diluidas sin ningún ácido, se presentara una disminución en el valor de la CE (Nikolova *et al.*, 2012).

Hidroximetilfurfural. Un valor elevado de hidroximetilfurfural, puede considerarse como indicativo de adulteración, ya sea que se produzca por una adulteración asociada con un tratamiento térmico, como el calentamiento para disolver un azúcar a fin de formar un jarabe, (Gebremariam & Brhane, 2014) o que el HMF se forme rápidamente al disolver cristales de azúcar en presencia de un ácido y el jarabe resultante adicionarlo a la miel (Chernetsova & Morlock, 2012; Singh & Singh, 2018).

Enzimas. La cuantificación de las enzimas es un parámetro que se puede emplear para discriminar mieles puras de aquellas adulteradas (Julika *et al.*, 2020). Tal como se muestra en el trabajo realizado por Abdel-Aal *et al.* (1993), donde la actividad de la diastasa de la miel disminuye a medida que aumenta el porcentaje de jarabe de maíz de alta fructosa adicionado a una miel pura. Esta misma reducción enzimática la observaron Voldřich *et al.* (2009) al agregar otros adulterantes, como sacarosa y almidón hidrolizado a la miel; sin embargo, de acuerdo a estos autores, la reducción enzimática al adulterar la miel puede evitarse, si se adiciona alguna enzimas exógena, como α -amilasa de panadería a la miel, ya que esta enzima cumple funciones similares a las enzimas propias de la miel.

Azúcares. La miel es una solución compleja, conformada mayoritariamente por monosacáridos (fructosa y glucosa), seguidos por bajas concentraciones de disacáridos (sacarosa y maltosa) y otros azúcares en mínimas proporciones (trisacáridos y oligosacáridos); por lo que un aumento en cualquiera de estos azúcares, que cambie la relación que existe en la miel de forma natural es un indicativo de adulteración (Puscas *et al.*, 2013). Por ejemplo, las altas concentraciones de sacarosa pueden estar relacionadas con una sobrealimentación de las abejas con este disacárido durante la primavera, es decir una adulteración indirecta (Anklam, 1998). Por su parte los °Brix se asocian directamente con el contenido de azúcares presentes en la miel, por lo que un

aumento considerable de este parámetro puede ser evidencia de una adulteración (Habib *et al.*, 2014).

1.10.1 Métodos de análisis de adulteración de la miel

Debido a que los principales adulterantes de la miel son azúcares o jarabes que se asemejan mucho a los componentes naturales de la miel, no son detectables fácilmente, por lo que se han desarrollado diversas técnicas que permiten dilucidar entre mieles puras de aquellas adulteradas (Cuadro 6) (Naila *et al.*, 2018). Dichas técnicas incluyen la espectrometría de masa de relación isotópica de carbono estable (EA-IRMS) (Tosun, 2013; Guler *et al.*, 2014), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Wang *et al.*, 2015), cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento con detección amperométrica pulsada (HPAEC-PAD) (Morales *et al.*, 2008), la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Rios-Corripio *et al.*, 2011; Se *et al.*, 2018), la espectroscopía Raman (Li *et al.*, 2012) y la resonancia magnética nuclear de protones (^1H NMR) (Zuccato *et al.*, 2017).

Cuadro 6. Técnicas analíticas empleadas para detectar adulteraciones en la miel.

Técnica analítica	Fundamento	Investigaciones
Espectrometría de masa de relación isotópica	Análisis de la relación de isótopos de carbono estable. Expresado como $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = \delta^{13}\text{C}$ (‰) Durante el proceso de asimilación del CO_2 las plantas C3 emplean mayormente isótopos ^{12}C , mientras que las plantas C4 los isótopos ^{13}C . Produciendo una relación de isótopos $\delta^{13}\text{C}$ cercanos a -25 ‰ para las plantas C3 y de -10 ‰ para las plantas C4. Dado que la mayoría de fuentes de néctar que emplean las abejas son plantas C3, se espera que la miel tenga valores de $\delta^{13}\text{C}$ similares a dichas plantas (Soares <i>et al.</i> , 2017).	Tosun (2013) empleó un espectrómetro de masas de relación isotópica, en combinación con un analizador elemental (EA-IRMS), para realizar el análisis de relación de isótopos ^{13}C y ^{12}C , reportando que esta técnica permite detectar la adulteración en miel de <i>Apis</i> con jarabe de maíz y caña de azúcar (plantas C4). Sin embargo, no detecta la adición de jarabe de azúcar de remolacha (Planta C3). Esto mismo ocurre al detectar la adulteración indirecta, ya que si bien esta técnica permite detectar la adulteración de miel producida por la sobrealimentación de abejas con jarabes producidos por plantas C4, no detecta de manera eficiente los jarabes de plantas C3 (remolacha y trigo) en la miel (Guler <i>et al.</i> , 2014).
Cromatografía	Dentro de la compleja mezcla de azúcares de la miel los oligosacáridos se encuentran en mínimas concentraciones. Por lo que una alta concentración de estos en la miel es una evidencia de adulteración con jarabes de almidón, en donde dichos oligosacáridos son bastante comunes. Debido a que la cromatografía permite la separación de los componentes de una mezcla, resulta útil para la detección de los oligosacáridos en la miel (Wang <i>et al.</i> , 2015).	Wang <i>et al.</i> (2015), lograron detectar la presencia de oligosacáridos en la miel a un tiempo de retención de 12.25 min, como una evidencia inequívoca de la adición de jarabes de almidón (como el jarabe de alta fructosa), empleando HPLC, en combinación con un detector de índice de refracción común (LIBRAR). Para dicho estudio se realizó un pretratamiento de homogeneización a la miel con un baño de ultrasonido durante 10 min, filtrando posteriormente en una membrana de 0.45 μm y empleando agua pura como fase móvil. Por lo que, si bien no fue necesario el uso de disolventes orgánicos, si se realiza un tratamiento previo a las muestras.

		Morales <i>et al.</i> (2008), lograron detectar la adulteración de la miel producida por <i>Apis</i> con jarabe de maíz en una concentración mínima de 5% y jarabe de maíz de alta fructosa al 20% y 40%. Para ello estudiaron el perfil de oligosacáridos de la miel empleando la cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento con detección amperométrica pulsada (HPAEC-PAD). Las muestras de miel se trataron previamente con carbón activado para eliminar mono y disacáridos.
Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) + métodos quimiométricos	Debido a que la mayoría de lo adulterantes de la miel son azúcares, la espectroscopia FTIR en conjunto con la quimiometría resultan útiles, ya que permiten elaborar un perfil de azúcares discriminando de esta forma las mieles auténticas de aquellas adulteradas (Se <i>et al.</i> , 2018). FTIR es una técnica que permite la identificación y análisis de compuestos químicos; produciendo un espectro IR que representa los modos de vibración de las moléculas de una muestra, que a su vez se vinculan con sus enlaces y grupos funcionales produciendo una “huella digital” de una muestra dada (Paré & Bélanger, 1997).	Ríos Corripio <i>et al.</i> (2011) emplearon FTIR (en el rango MIR) en combinación con métodos quimiométricos para realizar la discriminación entre mieles puras de <i>Apis</i> y aquellas a las que adulteraron intencionalmente con jarabe de maíz y jarabe de azúcar de caña en proporciones del 10% al 90%. Se <i>et al.</i> (2018), demostraron la utilidad de la espectroscopia FTIR combinada con métodos quimiométricos para detectar y cuantificar varios tipos de adulterantes (fructosa, glucosa, sacarosa, jarabe de maíz y azúcar de caña en concentraciones del 2% al 59%) en la miel de abeja sin aguijón <i>Heterotrigona Itama</i> . Logrando detectar concentraciones de adulterantes del 8% para jarabe de maíz y 2% para azúcar de caña.
Espectroscopia Raman (FT-Raman)	Raman permite la cuantificación de adulterantes en la miel. Raman emplea la dispersión inelástica de la luz, el cambio de energía del fotón dispersado se encuentra asociado con una transición vibratoria de la molécula. Raman permite determinar la concentración de diversos azúcares, pues estos difieren en su proporción de carbono estables, así como las proporciones de deuterio a hidrógeno, descartando además la presencia del agua de la muestra (Li <i>et al.</i> , 2020).	Li <i>et al.</i> (2012) emplearon la espectroscopia Raman en combinación con quimiometría para detectar el jarabe de maíz de alta fructosa (HFCS), el jarabe de maltosa (MS) y la combinación de estos, como adulterantes en muestras de miel, en proporciones del 10% al 40%. Logrando una precisión del 91.1% para el HFCS, 97.8% para el MS y 75.6% para la combinación de ambos jarabes.
Resonancia Magnética Nuclear de Protones (¹H NMR)	La miel es una compleja mezcla de sustancias bioquímicas con características particulares de acuerdo con su origen entomológico. Por lo que debido a que la NMR proporciona una amplia visión de la composición de una muestra dada, al hacer que resuenen los núcleos de los átomos que presentan un campo magnético, (Por ejemplo el H) cuando se aplica una onda electromagnética; la técnica podría detectar la adulteración de la miel de abeja sin aguijón con miel de <i>Apis mellifera</i> basados en su origen entomológico (Zuccato <i>et al.</i> , 2017).	Zuccato <i>et al.</i> (2017), aplicó ¹ H NMR y quimiometría para obtener los perfiles de composición de muestras de miel de <i>Apis mellifera</i> , <i>Geotrigona-Trigona</i> , <i>Melipona</i> y <i>Scaptotrigona</i> . Generando para ello derivados de tres diferentes matrices: matriz de azúcares, matriz de compuestos minoritarios y matriz de extractos orgánicos, procesando las muestras con agua para las primeras dos matrices (requiere 200 mg de muestra) y cloroformo para la tercera (requiere 6 g de muestra). Logrando una discriminación entre las mieles basándose en el contenido de azúcares, aminoácidos, indicadores de fermentación y compuestos específicos de las ceras. Además, se detectó el diacilgliceriléter como un compuesto característico de la miel de <i>Apis mellifera</i> , por lo que su presencia en miel de abeja sin aguijón es una evidencia inequívoca de fraude.

1.10.2 FTIR

La espectroscopia infrarroja es una parte de la espectroscopia que abarca la radiación infrarroja del espectro electromagnético. La región infrarroja, se encuentra entre el extremo visible y el de microondas del espectro de radiación electromagnética, y se divide en tres partes principales: IR cercano ($14000-4000\text{ cm}^{-1}$), IR medio ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) e IR lejano ($400-40\text{ cm}^{-1}$), nombrados de esta manera por su cercanía con el espectro visible. La espectroscopia IR es una herramienta analítica avanzada, que permite comprender la estructura de las moléculas, mediante el uso de las radiaciones IR, midiendo la cantidad de luz absorbida por una muestra. Cada una de estas absorciones características de energía, se asocia a un movimiento vibracional (Cuadro 7) producido por cada uno de los enlaces de los grupos funcionales de las moléculas (Khan *et al.*, 2018).

Cuadro 7. Modo de vibración de las moléculas debido a la absorción infrarroja.

Modo de vibración de la molécula		Representación grafica del modo de vibración de la molécula
De tensión (Stretching). Supone un cambio continuo en la distancia interatómica a lo largo del eje de enlace de dos átomos.	Simétrica. El estiramiento no conlleva a un cambio en el momento dipolar, y por lo tanto la vibración no se detecta en el infrarrojo.	
	Asimétrica. Se presenta un cambio en el momento dipolar, por lo que la vibración sí es detectada en el infrarrojo.	
De flexión (bending). Se caracteriza por un cambio en el ángulo de dos enlaces (la posición de los átomos varía en relación al eje de enlace original).	De tijera. Dos átomos unidos a un átomo común se mueven acercándose y alejándose uno del otro.	
	De oscilación o balanceo. Los átomos unidos al átomo común se mueven alternativamente de un lado hacia el otro en el plano de simetría de la molécula.	
	De sacudida o aleteo. Los átomos unidos al átomo de carbono se mueven alternativamente de un lado hacia otro en un plano de simetría de la molécula.	
	De torsión. Los átomos unidos al átomo común se mueven alternativamente en dos direcciones alrededor del plano de simetría de la molécula.	

Fuente: de acuerdo con Khan *et al.*, 2018

Por su parte la Transformada de Fourier convierte la información generada por la absorción de la radiación IR, en un espectro con patrones que proporcionan información

sobre la estructura de una muestra determinada (S. Khan *et al.*, 2018). Si consideramos que dentro de cualquier molécula un grupo funcional concreto (por ejemplo, un grupo carbonilo) proporciona una absorción IR característica en un rango de frecuencia específico, cuya posición IR a veces está influenciada por las vibraciones de los átomos que rodean al grupo funcional en la molécula, es entendible que los espectros IR se pueden utilizar para dar información sobre la cantidad de grupos funcionales, diferencias entre muestras, o identificar la estructura de una molécula desconocida dentro de una muestra (Dudkiewicz *et al.*, 2015; U. Khan *et al.*, 2017). De esta manera la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica que permite identificar los grupos funcionales de los materiales en estado líquido, gaseoso y sólido, empleando un haz de luz de radiación infrarroja (Khan *et al.*, 2018).

Considerando lo anterior, la espectroscopia FTIR se ha convertido en una alternativa para los métodos analíticos tradicionales, ofreciendo además otras ventajas como requerir poca preparación de la muestra, la rapidez del análisis y la reducción del uso de solventes, generando de esta manera ahorros de tiempo y dinero. Aunado a lo anterior la espectroscopia FTIR es una técnica que permite obtener mediciones simples, y no destructivas de los componentes de una muestra. Por lo que resulta atractiva para la industria alimentaria, pues al combinar FTIR con análisis multivariable (quimiometría), es posible realizar la detección y caracterización rápida, a gran volumen y de componentes minoritarios hasta niveles de partes por billón (ppb) de una muestra. Por lo que actualmente se aplica en el control de procesos, calidad y detección de adulterantes en alimentos (Rodríguez-Saona & Allendorf, 2011). Con respecto a la adulteración, la espectroscopia FTIR es un método que ya ha sido empleado de forma exitosa para la detección de adulterantes dentro de la industria alimentaria, en productos como jugo de naranja (Twomey *et al.*, 1995), puré de manzana (Contal *et al.*, 2002) e incluso en miel de *Apis mellifera* (Rios-Corripio *et al.*, 2011) y miel de la abeja sin aguijón *Heterotrigona itama* (Se *et al.*, 2018).

1.10.3 Métodos quimiométricos

El inicio de la quimiometría resulta difícil de dilucidar, pues si bien en 1971 Svante Wold acuñó por primera vez el término quimiometría, en la década de 1960 ya se habían realizado publicaciones científicas en torno a esta. Posteriormente en 1974 Wold junto a Kowalski crearon la Sociedad Internacional de Quimiometría (Brereton, 2014). En

cuanto a su significado, se considera a la quimiometría como un área de la química que emplea métodos estadísticos y matemáticos para: 1) diseñar o seleccionar procedimientos experimentales óptimos para su medición y 2) obtener la mayor cantidad de información relevante a partir del análisis de datos (Kowalski, 1984). Esto último resulta significativo, considerando la tendencia a la generación de una mayor cantidad de datos, a partir de los métodos y técnicas empleadas en todas las ramas de la química (Wold & Sjöström, 1998). Tal es el caso de la espectroscopia FTIR, donde las técnicas quimiométricas han sido aplicadas exitosamente para el procesamiento de los espectros FTIR que contienen una gran cantidad de información (Biancolillo & Marini, 2018).

Análisis de componentes principales (PCA)

Una de las técnicas quimiométricas generalmente empleada para el procesamiento de los espectros FTIR, es el análisis de componentes principales (PCA) (Biancolillo y Marini, 2018). Se entiende por análisis de componentes principales, a un método de análisis de datos para construir modelos multivariados lineales, de conjuntos de datos complejos. Dentro de una matriz de datos, se va a modelar la mayor cantidad de variación estadísticamente significativa, a través de un número menor de “factores”, construyendo de esta forma un nuevo sistema de ejes llamados vectores propios, también denominados componentes principales. Con esto se pueden visualizar grandes cantidades de datos multivariados en unas pocas dimensiones. Para cada fuente independiente de variación se espera un solo componente principal en el modelo; siendo el primer (vector propio) componente principal el que explica la cantidad máxima de varianza posible en los datos originales y el segundo vector explica la cantidad máxima de varianza que queda en la matriz. Con dicho tratamiento de datos podemos diferenciar o agrupar un conjunto de muestras determinadas (Gemperline, 2006).

LITERATURA CITADA

- Abdel-Aal, E.-S. M., Ziena, H. M., & Youssef, M. M. (1993). Adulteration of honey with high-fructose corn syrup: Detection by different methods. *Food Chemistry*, 48(2), 209-212. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(93\)90061-J](https://doi.org/10.1016/0308-8146(93)90061-J)
- Abdul Malik, N., Mohamed, M., Mustafa, M. Z., & Zainuddin, A. (2020). In vitro modulation of extracellular matrix genes by stingless bee honey in cellular aging of human dermal fibroblast cells. *Journal of Food Biochemistry*, 44(1), e13098. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13098>
- Abu Bakar, M. F., Babaji Sanusi, S., Abu Bakar, F. I., Jin Cong, O., & Mian, Z. (2017). Short Communication Physicochemical and Antioxidant Potential of Raw Unprocessed Honey From Malaysian Stingless Bees. *Pakistan Journal of Nutrition*, 16(11), Art. 11. <https://doi.org/DOI: 10.3923/pjn.2017.888.894>
- Agus, A., Agussalim, A., Nurliyani, N., Umami, N., & Budisatria, I. G. S. (I. G. S.). (2019). Evaluation of antioxidant activity, phenolic, flavonoid and vitamin C content of several honeys produced by the Indonesian stingless bee: *Tetragonula laeviceps*. *Livestock Research for Rural Development*, 31, 152.
- Ahmad, F., Seerangan, P., Mustafa, M. Z., Osman, Z. F., Abdullah, J. M., & Idris, Z. (2019). Anti-Cancer Properties of *Heterotrigena itama* sp. Honey Via Induction of Apoptosis in Malignant Glioma Cells. *The Malaysian Journal of Medical Sciences: MJMS*, 26(2), 30-39. <https://doi.org/10.21315/mjms2019.26.2.4>
- Aljadi, A. M., & Kamaruddin, M. Y. (2004). Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys. *Food Chemistry*, 85(4), 513-518. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00596-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00596-4)
- Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Brenciani, A., Mazzoni, L., Gasparri, M., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., Morroni, G., Simoni, S., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Giovanetti, E., & Battino, M. (2018). *Apis mellifera* vs *Melipona beecheii* Cuban polyfloral honeys: A comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties. *LWT*, 87, 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.079>
- Alves, R. M. de O., Carvalho, C. A. L. de, Souza, B. de A., Sodré, G. da S., & Marchini, L. C. (2005). Características físico-químicas de amostras de mel de *Melipona mandacaia* Smith (Hymenoptera: Apidae). *Food Science and Technology*, 25(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400004>
- Anacleto, D. de A., Souza, B. de A., Marchini, L. C., & Moreti, A. C. de C. C. (2009). Composição de amostras de mel de abelha Jataí (*Tetragonisca angustula* Latreille, 1811). *Food Science and Technology*, 29(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000300013>

- Anklam, E. (1998). A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chemistry*, 63(4), Art. 4. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00057-0)
- Arnold, N., Mérida, J., Sagot, P., Vandame, R., Ayala, R., & Aldaroso, M. (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* (Primera Edición). El Colegio de la Frontera Sur, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Rémy Benoit Marie Vandame.
- Arshad, N., 'Ain, Lin, T. S., & Yahaya, M. F. (2020). Stingless Bee Honey Reduces Anxiety and Improves Memory of the Metabolic Disease-induced Rats. *CNS & Neurological Disorders - Drug Targets- CNS & Neurological Disorders*, 19(2), 115-126. <https://doi.org/10.2174/1871527319666200117105133>
- Ávila, S., Beux, M., Ribani, R., & Zambiasi, R. (2018). Stingless bee honey: Quality parameters, bioactive compounds, health-promotion properties and modification detection strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.002>
- Ávila, S., Hornung, P. S., Teixeira, G. L., Malunga, L. N., Apea-Bah, F. B., Beux, M. R., Beta, T., & Ribani, R. H. (2019). Bioactive compounds and biological properties of Brazilian stingless bee honey have a strong relationship with the pollen floral origin. *Food Research International*, 123, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.068>
- Ayala, R. (1999). *Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meiponini)*. Folia Entomol, México.
- Ayala, R., Gonzalez, V. H., & Engel, M. S. (2013). Mexican Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae): Diversity, Distribution, and Indigenous Knowledge. En P. Vit, S. R. M. Pedro, & D. Roubik (Eds.), *Pot-Honey: A legacy of stingless bees* (pp. 135-152). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4960-7_9
- Ayala, R., & Ortega, M. (2018). *Declive de las abejas nativas en la región maya (2018)*. In Xolalpa et al. *Meliponicultura Liderazgo, Territorio y Tradición*. Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo. (pp. 55-69).
- Bachmann Lovece, H. E. (2007). *Estudios preliminares de caracterización de miel de abeja: determinación de carbohidratos por gc/ms y análisis enzimáticos* [Tesis]. Universidad Austral de Chile.
- Barbosa, F., Alves, R., Souza, B., & Carvalho, C. (2013). Nest architecture of the stingless bee *Geotrigona subterranea* (Friese,1901) (Hymenoptera: Apidae:

- Meliponini). *Biota Neotropica*, 13, 147-152. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000100017>
- Bennett, C. F. (1964). Stingless-Bee Keeping in Western Mexico. *Geographical Review*, 54(1), 85-92. <https://doi.org/10.2307/213031>
- Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., & Maffei Facino, R. (2005). Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 533(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.11.010>
- Biancolillo, A., & Marini, F. (2018). Chemometric Methods for Spectroscopy-Based Pharmaceutical Analysis. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00576>
- Biluca, F. C., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Physicochemical profiles, minerals and bioactive compounds of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 50, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.007>
- Biluca, F. C., da Silva, B., Caon, T., Mohr, E. T. B., Vieira, G. N., Gonzaga, L. V., Vitali, L., Micke, G., Fett, R., Dalmarco, E. M., & Costa, A. C. O. (2020). Investigation of phenolic compounds, antioxidant and anti-inflammatory activities in stingless bee honey (Meliponinae). *Food Research International*, 129, 108756. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108756>
- Biluca, F. C., Della Betta, F., de Oliveira, G. P., Pereira, L. M., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2014). 5-HMF and carbohydrates content in stingless bee honey by CE before and after thermal treatment. *Food Chemistry*, 159, 244-249. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.016>
- Bonté, F., & Alexis, D. (2013). Le miel: Origine et composition. *Actualités Pharmaceutiques*, 52, 18-21. <https://doi.org/10.1016/j.actpha.2013.10.004>
- Boorn, K. L., Khor, Y.-Y., Sweetman, E., Tan, F., Heard, T. A., & Hammer, K. A. (2010). Antimicrobial activity of honey from the stingless bee *Trigona carbonaria* determined by agar diffusion, agar dilution, broth microdilution and time-kill methodology. *Journal of Applied Microbiology*, 108(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04552.x>
- Borsato, D. M., Prudente, A. S., Döll-Boscardin, P. M., Borsato, A. V., Luz, C. F. P., Maia, B. H. L. N. S., Cabrini, D. A., Otuki, M. F., Miguel, M. D., Farago, P. V., & Miguel, O. G. (2014). Topical Anti-Inflammatory Activity of a Monofloral Honey of *Mimosa scabrella* Provided by *Melipona marginata* During Winter in Southern Brazil. *Journal of Medicinal Food*, 17(7), 817-825. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0024>

- Brasil., M. da A. S. de D. A. D. de I. de P. de O. A.-D. (2018). *Instrução normativa N° 11, de 20 de Outubro de 2000*. <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/5029>
- Brereton, R. G. (2014). A short history of chemometrics: A personal view. *Journal of Chemometrics*, 28(10), 749-760. <https://doi.org/10.1002/cem.2633>
- Calkins, C. F. (1974). *Beekeeping in Yucatan: a study in historical-cultural zoogeography*. University of Nebraska.
- Camelo Ordaz, C., Martín Alcázar, F., & Romero Fernández, P. M. (2000). Relación entre el tipo y el grado de innovación y el rendimiento de la empresa: Un análisis empírico. *Economía Industrial*, 333, 149-160.
- Cardona, Y., Torres, A., & Hoffmann, W. (2019). Colombian stingless bee honeys characterized by multivariate analysis of physicochemical properties. *Apidologie*, 50, 881-892. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00698-5>
- Carvalho, C. A. L., Sodré, G. S., Fonseca, A. A. O., Alves, R. M. O., Souza, B. A., & Clarton, L. (2009). Physicochemical characteristics and sensory profile of honey samples from stingless bees (Apidae: Meliponinae) submitted to a dehumidification process. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 81, 143-149. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000100015>
- Carvalho, C., Sodré, G. da S., Fonseca, A. A. O., Silva, S. M. P. C., Oliveira, G. A., & Clarton, L. (2006). Perfil sensorial de amostras de méis de espécies de abelhas sem ferr o do Estado da Bahia. *Magistra*, 18(4), 265-269.
- Chan Mutul, G. A., Vera Cort s, G., Aldasoro Maya, E. M., Sotelo Santos, L. E., Chan Mutul, G. A., Vera Cort s, G., Aldasoro Maya, E. M., & Sotelo Santos, L. E. (2019). Retomando saberes contempor neos. Un análisis del panorama actual de la meliponicultura en Tabasco. *Estudios de cultura maya*, 53, 289-326. <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2019.53.947>
- Chernetsova, E. S., & Morlock, G. E. (2012). Assessing the capabilities of direct analysis in real time mass spectrometry for 5-hydroxymethylfurfural quantitation in honey. *International Journal of Mass Spectrometry*, 314, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2012.01.012>
- Christoph, G. (2020). *Stingless Bees Their Behaviour, Ecology and Evolution*. Springer.
- Chuttong, B., Chanbang, Y., & Burgett, M. (2014). Meliponiculture. Stingless Bee Beekeeping In Thailand. *Bee World*, 91(2), 41-45. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2014.11417595>
- Chuttong, B., Chanbang, Y., Sringarm, K., & Burgett, M. (2016). Physicochemical profiles of stingless bee (Apidae: Meliponini) honey from South East Asia (Thailand). *Food Chemistry*, 192, 149-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.089>
- Codex Alimentarius. (2001). *Standard for honey. CXS 12-1981. Amended in 2019*. 1-8.

- Contal, L., León, V., & Downey, G. (2002). Detection and Quantification of Apple Adulteration in Strawberry and Raspberry Purées Using Visible and near Infrared Spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 10(4), 289-299. <https://doi.org/10.1255/jnirs.345>
- Cordella, C. B. Y., Militão, J., Clément, M.-C., Drajnudel, P., & Cabrol-Bass, D. (2005). Detection and quantification of honey adulteration via direct incorporation of sugar syrups or bee-feeding: Preliminary study using high-performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD) and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 531, 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.10.018>
- Crane, E. (1999). *The world history of beekeeping and honey hunting*. Taylor and Francis Group.
- da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
- Damasceno do Vale, M. A., Gomes, F. A., Cunha dos Santos, B. R., Batista Ferreira, J., Damasceno do Vale, M. A., Gomes, F. A., Cunha dos Santos, B. R., & Batista Ferreira, J. (2018). Honey quality of *Melipona* sp. Bees in Acre, Brazil. *Acta Agronómica*, 67(2), Art. 2.
- Damto, T. (2019). *A Review on Effect of Adulteration on Honey Properties* (SSRN Scholarly Paper ID 3359494; Número ID 3359494). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3359494>
- Dardón, M. J., & Enríquez, E. (2008). Physicochemical and antimicrobial characterization of nine stingless bees (*Meliponini*) honey from Guatemala. *Interciencia*, 33(12), 916-922.
- de Almeida-Muradian, L. B., Stramm, K. M., Horita, A., Barth, O. M., da Silva de Freitas, A., & Estevinho, L. M. (2013). Comparative study of the physicochemical and palynological characteristics of honey from *Melipona subnitida* and *Apis mellifera*. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(8), 1698-1706. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12140>
- De Bruijn, L. L. M., & Sommeijer, M. J. (1997). Colony foraging in different species of stingless bees (*Apidae*, *Meliponinae*) and the regulation of individual nectar foraging. *Insectes Sociaux*, 44(1), 35-47. <https://doi.org/10.1007/s000400050028>
- do Vale, M. A. D., Gomes, F. A., Ferreira, J. B., & Santos, B. R. C. dos. (2018). Honey quality of *Melipona* sp. Bees in Acre, Brazil. *Acta Agronómica*, 67(2), Art. 2. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.60836>
- Dudkiewicz, M., Kregiel, D., & Berłowska, J. (2015). Determination of proteins by FTIR in food and biotechnological products—Part II. *Laboratorium*.

- El-Biale, N. M., & Sorour, M. A. (2011). Effect of adulteration on honey properties. *International Journal of Applied Science and Technology*, 1(6), 122-133.
- Engel, M., & Michener, C. D. (2013). *Geological History of the Stingless Bees (Apidae: Meliponini)*. Division of Entomology, Natural History Museum, and Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of Kansas. http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/37108/15_geological_stingless.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Engels, W., Rosenkranz, P., & Engels, E. (1995). Thermoregulation in the nest of the Neotropical Stingless bee *Scaptotrigona postica* and a hypothesis on the evolution of temperature homeostasis in highly Eusocial bees. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 30(4), 193-205. <https://doi.org/10.1080/01650529509360958>
- Espinoza Toledo, C., Vázquez Ovando, A., Torres de los Santos, R., López García, A., Albores Flores, V., & Grajales-Conesa, J. (2018). Stingless bee honeys from Soconusco, Chiapas: A complementary approach. *Revista de Biología Tropical*, 66(4). <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32181>
- Espinoza-Toledo, C., Vázquez-Ovando, A., Santos, R. T. de los, López-García, A., Albores-Flores, V., & Grajales-Conesa, J. (2018). Miel de abejas sin aguijón del Soconusco, Chiapas: Enfoque complementario. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1536-1546. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32181>
- FAO. (2011). *La Seguridad Alimentaria: Información para la toma de decisiones*. <https://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>
- Fletcher, D. J. C. & C. R. M. (1981). Nest structure and thermoregulation in the stingless bee *Trigona (Plebeina) denoiti* Vachal (Hymenoptera: Apidae). *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 44(2), 183-196. https://doi.org/10.10520/AJA00128789_3786
- Foster, G. M. (1942). Indigenous Apiculture among the Popoloca of Veracruz. *American Anthropologist*, 44(3), 538-542. <https://doi.org/10.1525/aa.1942.44.3.02a00370>
- Fuenmayor, C., Zuluaga-Domínguez, C., Díaz-Moreno, A., & Quicazán, M. (2012). «Miel de Angelita»: Nutritional composition and physicochemical properties of *Tetragonisca angustula* honey. *Interciencia*, 37, 142-147.
- Gebremariam, T., & Brhane, G. (2014). Determination Of Quality And Adulteration Effects Of Honey From Adigrat And Its Surrounding Areas. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, 2(10), 71-76.
- Gemeda, M., & Negera, T. (2017). Assessing the Effect of Adulteration on Honey and Beeswax Quality and Designing Way of Identification in Oromia. *International Journal of Research Studies in Biosciences*, 5(8), 34-39.

- Gemperline, P. (2006). *Practical guide to chemometrics* (2nd ed). Taylor & Francis Group.
- Gomes, S., Dias, L. G., Moreira, L. L., Rodrigues, P., & Estevinho, L. (2010). Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.029>
- González Acereto, J. (2015). *La meliponicultura en el México antiguo y moderno, riqueza cultural de mesoamérica*. 141-147.
- González Acereto, J. A. (2012). La importancia de la meliponicultura en México, con énfasis en la Península de Yucatán. *Bioagrociencias*, 5(1), Art. 1.
- González-Acereto, J., Quezada-Euan, J. J., & Medina-Medina, L. (2006). New perspectives for stingless beekeeping in the Yucatan: Results of an integral program to rescue and promote the activity. *Journal of Apicultural Research*, 47, 234-239. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.45.4.14>
- Grajales-Conesa, J., Ibarias-Toledo, C., Ruíz-Toledo, J., & Sánchez, D. (2018). Honey of stingless bees for the treatment of diabetic foot ulcers. *Salud Publica De Mexico*, 60(1), 102-104. <https://doi.org/10.21149/8604>
- Gudynas, E. (2004). *Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible* (5a ed.). Coscoroba ediciones. Centro Latino Americano de Ecología Social (CLAES) y Desarrollo, Economía, Ecología y Equidad - América Latina (D3E).
- Guler, A., Kocaokutgen, H., Garipoglu, A. V., Onder, H., Ekinci, D., & Biyik, S. (2014). Detection of adulterated honey produced by honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies fed with different levels of commercial industrial sugar (C₃ and C₄ plants) syrups by the carbon isotope ratio analysis. *Food Chemistry*, 155, 155-160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.033>
- Guzmán Díaz, M., Balboa Aguilar, C., Vandame, R., Albores González, M. L., & González Acereto, J. A. (2011). *Manejo de las abejas nativas sin aguijón en México, Melipona beecheii y Scaptotrigona mexicana. Manual técnico* (Primera edición). El Colegio de la Frontera Sur.
- Habib, H. M., Al Meqbali, F. T., Kamal, H., Souka, U. D., & Ibrahim, W. H. (2014). Physicochemical and biochemical properties of honeys from arid regions. *Food Chemistry*, 153, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.048>
- Huang, F., Song, H., Guo, L., Guang, P., Yang, X., Li, L., Zhao, H., & Yang, M. (2020). Detection of adulteration in Chinese honey using NIR and ATR-FTIR spectral data fusion. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 235, 118297. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118297>
- Inoue, T., Salmah, S., Abbas, I., & Yusuf, E. (1985). Foraging behavior of individual workers and foraging dynamics of colonies of three Sumatran stingless bees. *Res. Popul. Ecol.*, 27, 373-392.

- IRAM 15941-2. (2007). *Miel. Parte 2: Determinación del color Pfund* (p. 8).
<https://www.iram.org.ar/busqueda-avanzada-de-normas-iram/>
- Issaro, N., Weerakul, T., Machana, K., Ornnim, P., Phanudulkitti, C., Srijan, T.,
 Laiwattanaphaisal, J., & Pattarapanich, C. (2014). *Stingless bee honey II: Qualitative and quantitative studies on honey produced by three stingless bee species collected from a Mangosteen garden in Chantaburi province, Thailand*. 38.
- Jalil, M. A. A., Kasmuri, A. R., & Hadi, H. (2017). Stingless Bee Honey, the Natural Wound Healer: A Review. *Skin Pharmacology and Physiology*, 30(2), 66-75.
<https://doi.org/10.1159/000458416>
- Jimenez, M., Beristain, C. I., Azuara, E., Mendoza, M. R., & Pascual, L. A. (2016). Physicochemical and antioxidant properties of honey from *Scaptotrigona mexicana* bee. *Journal of Apicultural Research*, 55(2), Art. 2.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1205294>
- Jimeno Sevilla, H. D. (2013). *Scaptotrigona-mexicana* [Flickr]. Digital.
<https://www.flickr.com/photos/76287251@N07/9052769654>
- Julika, W. N., Ajit, A., Ismail, N., Aqilah, N., Naila, A., & Sulaiman, A. Z. (2020a). Sugar profile and enzymatic analysis of stingless bee honey collected from local market in Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 736(6), 062001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/6/062001>
- Julika, W. N., Ajit, A., Ismail, N., Aqilah, N., Naila, A., & Sulaiman, A. Z. (2020b). Sugar profile and enzymatic analysis of stingless bee honey collected from local market in Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 736, 062001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/6/062001>
- Kek, S. P., Chin, N. L., Yusof, Y. A., Tan, S. W., & Chua, L. S. (2017). Classification of entomological origin of honey based on its physicochemical and antioxidant properties. *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S2723-S2738.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1359185>
- Kent, R. (1984). *Mesoamerican Stingless Beekeeping*.
<https://doi.org/10.1080/08873638409478571>
- Khan, S., Khan, S., Khan, L., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. En *Handbook of Materials Characterization* (pp. 317-344). https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9
- Khan, U., M, A., & M, I. (2017). Non-destructive Analysis of Food Adulteration and Legitimacy by FTIR Technology. *Journal of Food & Industrial Microbiology*, 01. <https://doi.org/10.4172/2572-4134.1000103>

- Kimoto-Nira, H., & Amano, K. (2008). Antimicrobial activity of honey produced by stingless honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 47, 325-327. <https://doi.org/10.1080/00218839.2008.11101484>
- Kowalski, B. R. (1984). *Chemometrics: Mathematics and statistics in chemistry* (Ilustrada, Vol. 138). Springer Science & Business Media. https://books.google.com.mx/books?id=FIP1xAEACAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Lemos, M. S., Venturieri, G. C., Dantas Filho, H. A., & Dantas, K. G. F. (2018). Evaluation of the physicochemical parameters and inorganic constituents of honeys from the Amazon region. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 135-144. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338120>
- Leonhardt, S. D., Dworschak, K., Eltz, T., & Blüthgen, N. (2007). Foraging loads of stingless bees and utilisation of stored nectar for pollen harvesting. *Apidologie*, 38(2), 125-135. <https://doi.org/10.1051/apido:2006059>
- Li, Q., Zeng, J., Lin, L., Zhang, J., Zhu, J., Yao, L., Wang, S., Yao, Z., & Wu, Z. (2020). Low risk of category misdiagnosis of rice syrup adulteration in three botanical origin honey by ATR-FTIR and general model. *Food Chemistry*, 332, 127356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127356>
- Li, S., Shan, Y., Zhu, X., Zhang, X., & Ling, G. (2012). Detection of honey adulteration by high fructose corn syrup and maltose syrup using Raman spectroscopy. *Journal of Food Composition and Analysis*, 28(1), 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.07.006>
- Malaysian Standards. (2017). *Kelulut (Stingless bee) honey – Specification*. Department of Standards Malaysia. MS 2683:2017.
- Mandal, M. D., & Mandal, S. (2011). Honey: Its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2), Art. 2. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60016-6)
- Massaro, F. C., Brooks, P. R., Wallace, H. M., & Russell, F. D. (2011). Cerumen of Australian stingless bees (*Tetragonula carbonaria*): Gas chromatography-mass spectrometry fingerprints and potential anti-inflammatory properties. *Die Naturwissenschaften*, 98(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1007/s00114-011-0770-7>
- Medina, C. M. (2015). Algunos cambios y perspectivas sobre meliponicultura en México. *VIII Congreso Mesoamericano de Abejas Nativas: Biología, Cultura y uso Sostenible, 26 al 31 de agosto de 2013*, 148-159.
- Menezes, C., Neto, A., Contrera, F., Venturieri, G., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2013). The Role of Useful Microorganisms to Stingless Bees and Stingless Beekeeping. En *Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bees* (pp. 153-171). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4960-7_10

- Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World* (SECOND EDITION). The Johns Hopkins University Press.
- Michener, C. D. (2013). The Meliponini. En *Pot-Honey: A legacy of stingless bees* (pp. 3-17). Springer.
- Mohd Rafie, A. Z., Syahir, A., Wan Ahmad, W. A. N., Mustafa, M. Z., & Mariatulqabtiah, A. R. (2018). Supplementation of Stingless Bee Honey from *Heterotrigona itama* Improves Antiobesity Parameters in High-Fat Diet Induced Obese Rat Model. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, e6371582. <https://doi.org/10.1155/2018/6371582>
- Morales, V., Corzo, N., & Sanz, M. L. (2008). HPAEC-PAD oligosaccharide analysis to detect adulterations of honey with sugar syrups. *Food Chemistry*, 107(2), 922-928. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.050>
- Moritz, R., & Crewe, R. (2005). Air ventilation in nests of two African stingless bees *Trigona denoiti* and *Trigona gribodoi*. *Undefined*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Nest-architecture-of-the-stingless-bee-Geotrigona-Barbosa-Alves/8b881b7b5dd635f2571969e1a23934856ea9e03c>
- Mustafa, M. Z., Zulkifli, F. N., Fernandez, I., Mariatulqabtiah, A. R., Sangu, M., Nor Azfa, J., Mohamed, M., & Roslan, N. (2019). Stingless Bee Honey Improves Spatial Memory in Mice, Probably Associated with Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) and Inositol 1,4,5-Triphosphate Receptor Type 1 (Itpr1) Genes. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019, e8258307. <https://doi.org/10.1155/2019/8258307>
- Naila, A., Flint, S. H., Sulaiman, A. Z., Ajit, A., & Weeds, Z. (2018). Classical and novel approaches to the analysis of honey and detection of adulterants. *Food Control*, 90, 152-165. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.02.027>
- Nikolova, K., Panchev, I., Sainov, S., Gentscheva, G., & Ivanova, E. (2012). Selected Physical Properties of Lime Bee Honey in Order to Discriminate Between Pure Honey and Honey Adulterated with Glucose. *International Journal of Food Properties*, 15(6), 1358-1368. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.521965>
- Nogueira-Neto, P. (1997). *Vida e Criação de Abelhas Indígenas Sem Ferrão*. Nogueirapis.
- Nordin, A., Sainik, N. Q. A. V., Chowdhury, S. R., Saim, A. B., & Idrus, R. B. H. (2018). Physicochemical properties of stingless bee honey from around the globe: A comprehensive review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 73, 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.06.002>
- Nweze, J. A., Okafor, J. I., Nweze, E. I., & Nweze, J. E. (2017). Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of two stingless bee honeys: A comparison with *Apis mellifera* honey from Nsukka, Nigeria. *BMC Research Notes*, 10, 566. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2884-2>

- Obregón Hernández, F. (2000). Propagación y evaluación de la productividad de la abeja nativa *Scaptotrigona mexicana* en la ribera del Suchiate. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. M093. *El Colegio de la Frontera Sur. México D. F.*, 1-25.
- Ocampo Rosales, G. R. (2013). Medicinal Uses of Melipona beecheii Honey, by the Ancient Maya. En *Pot-Honey: A legacy of stingless bees* (pp. 229-240). Springer.
- Oddo, L. P., Piazza, M. G., & Pulcini, P. (1999). Invertase activity in honey. *Apidologie*, 30(1), 57-65. <https://doi.org/10.1051/apido:19990107>
- Oroian, M., Paduret, S., & Ropciuc, S. (2018). Honey adulteration detection: Voltammetric e-tongue versus official methods for physicochemical parameter determination. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4304-4311. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8956>
- Paré, J. R. J., & Bélanger, J. M. R. (1997). *Instrumental Methods in Food Analysis, Volume 18* (1st ed., Vol. 18). ELSEVIER. <https://www.elsevier.com/books/instrumental-methods-in-food-analysis/pare/978-0-444-81868-3>
- Pascual-Maté, A., Osés, S. M., Marcazzan, G. L., Gardini, S., Fernández Muiño, M. A., & Teresa Sancho, M. (2018). Sugar composition and sugar-related parameters of honeys from the northern Iberian Plateau. *Journal of Food Composition and Analysis*, 74, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.08.005>
- Pedraza, L., Suarez, A., Bozzo, A., Pucciarelli, A., Roberto, G., Guillermo, B., De Luca, José M., & Alustiza, F. (2015). Efectos de la miel de meliponas en el tratamiento de cataratas en un modelo murino diabético. *Revista Veterinaria Argentina*, 32, 1-15.
- Puscas, A., Hosu, A., & Cimpoi, C. (2013). Application of a newly developed and validated high-performance thin-layer chromatographic method to control honey adulteration. *Journal of Chromatography. A*, 1272, 132-135. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.11.064>
- Quezada Euán, J. J. (2005). *Biología y uso de las abejas sin aguijón de la península de Yucatán, Mexico (Hymenoptera: Meliponini)*. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Quezada-Euan, J. J., May-Itzá, W., & González-Acereto, J. (2015). Meliponiculture in Mexico: Problems and perspective for development. *Bee World*, 82, 160-167. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2001.11099523>
- Ranneh, Y., Ali, F., Zarei, M., Akim, A. M., Hamid, H. A., & Khazaai, H. (2018). Malaysian stingless bee and Tualang honeys: A comparative characterization of total antioxidant capacity and phenolic profile using liquid chromatography-mass spectrometry. *LWT*, 89, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.020>

- Rao, P. V., Krishnan, K. T., Salleh, N., & Gan, S. H. (2016). Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingless bees: A comparative review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2016.01.012>
- 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), 47. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-47>
- Ribeiro, R. de O. R., Mársico, E. T., Carneiro, C. da S., Monteiro, M. L. G., Júnior, C. C., & Jesus, E. F. O. de. (2014). Detection of honey adulteration of high fructose corn syrup by Low Field Nuclear Magnetic Resonance (LF 1H NMR). *Journal of Food Engineering*, 135, 39-43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.009>
- Rinderer, T. E. (2013). *Bee Genetics and Breeding*. Academic Press. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=MyTgBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA235&dq=taxonomy+bees+genetics&ots=ahoNeZPek7&sig=HhIkyN8PpY15rnE3zi0hMX205bk&redir_esc=y#v=onepage&q=taxonomy%20bees%20genetics&f=false
- Rios-Corripio, M. A., Ríos-Leal, E., Rojas-López, M., & Delgado-Macuil, R. J. (2011). FTIR characterization of Mexican honey and its adulteration with sugar syrups by using chemometric methods. *Journal of Physics: Conference Series*, 274, 012098. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/274/1/012098>
- Rodríguez-Malaver, A., Rasmussen, C., Gutierrez, M., Gil, F., Nieves, B., & Vit, P. (2009). Properties of Honey from Ten Species of Peruvian Stingless Bees. *Natural product communications*, 4, 1221-1226. <https://doi.org/10.1177/1934578X0900400913>
- Rodriguez-Saona, L. E., & Allendorf, M. E. (2011). Use of FTIR for rapid authentication and detection of adulteration of food. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2, 467-483. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022510-133750>
- Roubik, D. (2006). Stingless bee nesting biology. *Apidologie* 37: 124-143. *Apidologie*.
- Roubik, D. W. (1989). *Ecology and Natural History of Tropical Bees*. Cambridge University Press. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=ljlaYMeI6noC&oi=fnd&pg=PR9&ots=ATgW68laZn&sig=ZyPE3PBZN9miks95eI3Y-IkEb1M&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- SADER. (2020). *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones*. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-

- 2018, Producción de miel y especificaciones. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5592435&fecha=29/04/2020
- Sahlan, M., Karwita, S., Gozan, M., Hermansyah, H., Yohda, M., Yoo, Y., & Pratami, D. (2019). Identification and classification of honey's authenticity by attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy and chemometric method. *Veterinary World*, *12*, 1304-1310. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.1304-1310>
- Salleh, S. N. A. S., Hanapiah, N. A. M., Johari, W. L. W., Ahmad, H., & Osman, N. H. (2021). Analysis of bioactive compounds and chemical composition of Malaysian stingless bee propolis water extracts. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(12), 6705-6710. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.049>
- Sánchez, J. C. J. (2011). La innovación: Una revisión teórica desde la perspectiva de marketing. *PERSPECTIVAS*, *27*, 47-71.
- Santos, D., Fialho, M. do C., Vitorino, R., Oliveira, L., Zanuncio, J., & Serrão, J. (2013). Proteome of the head and thorax salivary glands in the stingless bee *Melipona quadrifasciata anthidioides*. *Apidologie*, *44*. <https://doi.org/10.1007/s13592-013-0217-6>
- Se, K. W., Ghoshal, S. K., Wahab, R. A., Ibrahim, R. K. R., & Lani, M. N. (2018). A simple approach for rapid detection and quantification of adulterants in stingless bees (*Heterotrigona itama*) honey. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, *105*, 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.012>
- Sechrist, E. L. (Edward L. (1925). *The color grading of honey*. Washington, D.C. : U.S. Dept. of Agriculture. <http://archive.org/details/colorgradingofho364sech>
- Shadan, A. F., Mahat, N. A., Wan Ibrahim, W. A., Ariffin, Z., & Ismail, D. (2017). Provenance Establishment of Stingless Bee Honey Using Multi-element Analysis in Combination with Chemometrics Techniques. *Journal of Forensic Sciences*, *63*(1), 80-85. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13512>
- Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., Abd. Razak, S.-B., Jambari, N. N., Mian, Z., & Khatib, A. (2019). Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. *International Journal of Food Properties*, *22*(1), 239-264. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1576730>
- Silva, T. M. S., dos Santos, F. P., Evangelista-Rodrigues, A., da Silva, E. M. S., da Silva, G. S., de Novais, J. S., dos Santos, F. de A. R., & Camara, C. A. (2013). Phenolic compounds, melissopalynological, physicochemical analysis and antioxidant activity of jandaíra (*Melipona subnitida*) honey. *Journal of Food Composition and Analysis*, *29*(1), 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.08.010>

- Singh, I., & Singh, S. (2018). Honey moisture reduction and its quality. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), Art. 10. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3341-5>
- 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>
- Soares, S., Amaral, J. S., Oliveira, M. B. P. P., & Mafra, I. (2017). A Comprehensive Review on the Main Honey Authentication Issues: Production and Origin. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1072-1100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12278>
- Solayman, Md., Islam, Md. A., Paul, S., Ali, Y., Khalil, Md. I., Alam, N., & Gan, S. H. (2016). Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 219-233. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12182>
- Sousa, J. M. B. de, Souza, E. L. de, Marques, G., Benassi, M. de T., Gullón, B., Pintado, M. M., & Magnani, M. (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.058>
- Sousa, J. M., de Souza, E. L., Marques, G., Meireles, B., de Magalhães Cordeiro, Â. T., Gullón, B., Pintado, M. M., & Magnani, M. (2016). Polyphenolic profile and antioxidant and antibacterial activities of monofloral honeys produced by Meliponini in the Brazilian semi-arid region. *Food Research International*, 84, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.012>
- Souza, B., Alfredo Lopes de Carvalho, C., da Silva Sodré, G., & Carlos Marchini, L. (2004). Características físico-químicas de amostras de mel de Melipona asilvai (Hymenoptera: Apidae). *Ciência Rural*, 34(5). [https://www.bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/ciencia-rural/34-\(2004\)-5/caracteristicas-fisico-quimicas-de-amostras-de-mel-de-melipona-asilvai/](https://www.bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/ciencia-rural/34-(2004)-5/caracteristicas-fisico-quimicas-de-amostras-de-mel-de-melipona-asilvai/)
- Souza, B. de A., Carvalho, C. A. L. de, Sodré, G. da S., & Marchini, L. C. (2004). Características físico-químicas de amostras de mel de Melipona asilvai (Hymenoptera: Apidae). *Ciência Rural, Santa Maria*, 34(5), 1623-1624.
- Souza, B., Roubik, D., Barth, O., Heard, T., Enríquez, E., Carvalho, C., Villas-Bôas, J., Marchini, L., Locatelli, J., Persano-Oddo, L., Almeida-Muradian, L., Bogdanov, S., & Vit, P. (2006). Composition of stingless bee honey: Setting quality standards. *Interciencia*, 31(12), 867-875.
- Suntiparapop, K., Prapaipong, P., & Chantawannakul, P. (2012). Chemical and biological properties of honey from Thai stingless bee (*Tetragonula leviceps*).

- Journal of Apicultural Research*, 51(1), Art. 1.
<https://doi.org/10.3896/IBRA.1.51.1.06>
- Tosi, E., Ciappini, M., Ré, E., & Lucero, H. (2002). Honey thermal treatment effects on hydroxymethylfurfural content. *Food Chemistry*, 77(1), 71-74.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00325-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00325-9)
- Tosun, M. (2013). Detection of adulteration in honey samples added various sugar syrups with ¹³C/¹²C isotope ratio analysis method. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1629-1632. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.068>
- Tuksitha, L., Chen, Y.-L. S., Chen, Y.-L., Wong, K.-Y., & Peng, C.-C. (2018). Antioxidant and antibacterial capacity of stingless bee honey from Borneo (Sarawak). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(2), 563-570.
<https://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.03.007>
- Twomey, M., Downey, G., & McNulty, P. B. (1995). The potential of NIR spectroscopy for the detection of the adulteration of orange juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67(1), 77-84. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740670113>
- Vit, P. (2002). Effect of stinglessbee honey in selenite induced cataracts. *Apiacta*, 3, 1-2.
- Vit, P., Bogdanov, S., & Kilchenmann, V. (1994). Composition of Venezuelan honeys from stingless bees (Apidae: Meliponinae) and *Apis mellifera* L. *Apidologie*, 25(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1051/apido:19940302>
- Vit, P., Medina, M., & Enríquez, E. (2004). Quality standards for medicinal uses of Meliponinae honey in Guatemala, Mexico and Venezuela. *Bee World*, 85, 2-5.
<https://doi.org/10.1080/0005772X.2004.11099603>
- Vit, P., Persano Oddo, L., Marano, M. L., & Salas de Mejias, E. (1998). Venezuelan stingless bee honeys characterized by multivariate analysis of physicochemical properties. *Apidologie*, 29, 377-389.
- Vit, P., Roubik, D., Barth, O., Heard, T., Enríquez, E., Carvalho, C., Bôas, J., Locatelli, J., Oddo, L., Almeida-Muradian, L., & Bogdanov, S. (2006). Composición de la miel de abejas sin aguijon: Estableciendo requisitos de calidad. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, ISSN 0378-1844, Vol. 31, Nº. 12, 2006, pags. 867-875.
- Voldřich, M., Rajchl, A., Čížková, H., & Cuhra, P. (2009). Detection of Foreign Enzyme Addition into the Adulterated Honey. *Czech Journal of Food Sciences*, 27, S280-S282. <https://doi.org/10.17221/1066-CJFS>
- Wang, S., Guo, Q., Wang, L., Lin, L., Shi, H., Cao, H., & Cao, B. (2015). Detection of honey adulteration with starch syrup by high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 172, 669-674.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.044>

- Wang, Y., & Ho, C.-T. (2008). Formation of 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone through Methylglyoxal: A Maillard Reaction Intermediate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 7405-7409. <https://doi.org/10.1021/jf8012025>
- Wang, Y., Rodolfo Juliani, H., Simon, J. E., & Ho, C.-T. (2009). Amino acid-dependent formation pathways of 2-acetylfuran and 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3[2H]-furanone in the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 115(1), 233-237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.014>
- Wold, S., & Sjöström, M. (1998). Chemometrics, present and future success. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 44(1), 3-14. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(98\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(98)00075-6)
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press. <https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=es>
- Zamora, L. g., Beukelman, C. j., van den Berg, A. j. j., Aerts, P. c., Quarles van Ufford, H. c., Nijland, R., & Arias, M. I. (2017). An insight into the antibiofilm properties of Costa Rican stingless bee honeys. *Journal of Wound Care*, 26(4), 168-177. <https://doi.org/10.12968/jowc.2017.26.4.168>
- Żrałka, J., Koszkul, W., Radnicka, K., Sotelo Santos, L. E., & Hermes, B. (2014). Excavations in Nakum Structure 99: New Data on Protoclassic Rituals and Precolumbian Maya Beekeeping. *Estudios de Cultura Maya*, 44, 85-117.
- Zuccato, V., Finotello, C., Menegazzo, I., Peccolo, G., & Schievano, E. (2017). Entomological authentication of stingless bee honey by ¹H NMR-based metabolomics approach. *Food Control*, 82, 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.024>
- Zulkhairi Amin, F. A., Sabri, S., Mohammad, S. M., Ismail, M., Chan, K. W., Ismail, N., Norhaizan, M. E., & Zawawi, N. (2018). Therapeutic Properties of Stingless Bee Honey in Comparison with European Bee Honey. *Advances in Pharmacological Sciences*, 2018, e6179596. <https://doi.org/10.1155/2018/6179596>

CAPÍTULO 1.

Saberes y acciones en la producción de miel de abeja sin aguijón Pisel Nek-mej (*Scaptotrigona mexicana*) en Cuetzalan, Puebla.

ABSTRACT

The production of stingless bee honey in recent years has gained greater relevance, largely due to the recognition of its therapeutic properties; however, its production and commercialization are limited by the low yield of honey per hive base and its high sale price. The present work, through semi-structured interviews, proposed to recover in a group of producers from Cuetzalan Puebla, the knowledge and actions that they possess about stingless honey of the *Scaptotrigona mexicana*. The social and scientific recognition of the properties of honey shows the relevance of being able to influence the incorporation of innovations that lead to the improvement of production. For this, horizontal approaches are required that promote the co-construction of alternatives between producers and researchers, recognize that knowledge represents the opportunity to take advantage of successful practices, as well as culturally revalue the production and consumption of this honey. It is also necessary to incorporate organizational processes that result in improving marketing channels and contribute to minimizing unfair practices in the production and sale of genuine honey.

Objective: Provide information on the knowledge and actions of the management of stingless bees (*S. mexicana*), its form of production, commercialization, and challenges in the Cuetzalan region, México.

Design/methodology/approach: The research was carried out from a qualitative approach, using the semi-structured interview for information retrieval. The participants were determined using the snowball sampling technique, contacting informants who met the criteria of being stingless honey producers in Cuetzalan, Puebla.

Results: In the study region, the knowledge of the management of the stingless bee is transmitted from generation to generation, so its management is traditional and is seen as a symbolic cultural element. Honey is recognized for its medicinal properties, but its production is low and very expensive. Therefore, the theft of pots and the adulteration

of honey become one of the biggest problems, which generates mistrust among consumers.

Limitations on study/implications: It is necessary to expand the sample of producers interviewed and collect more evidence of the management processes to identify adulteration and be able to generate recommendations that affect other production regions in the country.

Findings/conclusions: The social and scientific recognition of the properties of stingless honey shows the relevance of being able to influence the incorporation of innovations, but it is also necessary to incorporate organizational processes that result in improving marketing channels and minimize unfair practices to production of genuine honey.

Keywords: honey, stingless bee, Cuetzalan, *Scaptotrigona mexicana*

RESUMEN

La producción de miel de abeja sin aguijón en los últimos años ha cobrado relevancia, en gran parte al reconocimiento de sus propiedades terapéuticas; sin embargo, su producción y comercialización está limitada por el bajo rendimiento de miel por base de colmena y su elevado precio de venta. El presente trabajo a través de entrevistas semiestructurados planteó recuperar en un grupo de productores de Cuetzalan, Puebla, los saberes y acciones que sobre miel de abeja sin aguijón de la especie *Scaptotrigona mexicana* poseen. El reconocimiento social y científico de las propiedades de miel da cuenta de la relevancia que tiene el poder incidir en la incorporación de innovaciones que deriven en la mejora de la producción. Para ello se requieren de planteamientos horizontales que propicien la co-construcción de alternativas entre productores e investigadores, reconocer que los saberes representan la oportunidad de aprovechar prácticas exitosas, así como revalorar culturalmente la producción y consumo de esta miel. Se hace necesario también incorporar procesos de organización que deriven en mejorar los canales de comercialización y contribuyan a minimizar prácticas desleales en la producción y venta de miel genuina.

Objetivo: Aportar información sobre los saberes y acciones del manejo de las abejas sin aguijón (*S. mexicana*), su forma de producción, comercialización y desafíos en la región de Cuetzalan, México.

Diseño/metodología/aproximación: La investigación se realizó desde un acercamiento cualitativo, utilizando la entrevista semiestructurada para la recuperación de información. Los participantes se determinaron a partir de la técnica de muestreo de bola de nieve, contactando con informantes que cumplían el criterio de ser productores de miel de abeja sin agujón en Cuetzalan, Puebla.

Resultados: En la región de estudio los saberes del manejo de la abeja sin agujón se transmiten de generación en generación, por lo que su manejo es tradicional y se ve como un elemento simbólico cultural. La miel es reconocida por sus propiedades medicinales, pero su producción es poca y de muy alto costo. Derivado de ello, el robo de mancuernas y la adulteración de la miel se convierte en unos de los mayores problemas, lo que genera desconfianza entre los consumidores.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Se requiere ampliar la muestra de productores entrevistados y recaudar mayores evidencias de los procesos de manejo para identificar la adulteración y poder generar recomendaciones que incidan en otras regiones de producción en el país.

Hallazgos/conclusiones: El reconocimiento social y científico de las propiedades de miel de abeja sin agujón da cuenta de la relevancia que tiene el poder incidir en la incorporación de innovaciones, pero también es necesario incorporar procesos de organización que deriven en mejorar los canales de comercialización y se minimicen prácticas desleales para la producción de miel genuina.

Palabras clave: miel, abeja sin agujón, Cuetzalan, *Scaptotrigona mexicana*

1.1 INTRODUCCIÓN

El inicio de la meliponicultura en México se remonta a la época prehispánica, previo a la llegada y establecimiento del dominio español (Alquisira-Ramírez, 2019; Ayala *et al.*, 2013). Las evidencias arqueológicas sugieren que los mayas practicaron la meliponicultura desde hace aproximadamente 2,000 años y que dichos organismos jugaron un papel importante en sus actividades sociales, religiosas, económicas y políticas (Christoph, 2020; Vit *et al.*, 2013). Mucha de esta información quedo resguardada en ilustraciones del Códice Tro-cortesiano (Żrałka *et al.*, 2014). Aun cuando en otras regiones de México no se cuenta con un conocimiento histórico detallado de la meliponicultura, los diversos saberes etológicos y ecológicos, que han pasado a través de muchas generaciones, son una evidencia viva del manejo de las abejas sin aguijón en otras regiones del país (Chan Mutul *et al.*, 2019). En México se aprovechan 19 especies de abejas sin aguijón de las 49 registradas (Ayala *et al.*, 2013). En la Península de Yucatán los mayas continúan manejando la especie *Melipona beecheii*, mientras que en la Sierra Norte de Puebla (Cuetzalan), las Huastecas Potosinas y el Totanacapan en Veracruz, las actividades meliponícolas se realizan con la especie *Scaptotrigona mexicana* y en la Sierra de Atoyac (Guerrero) se manejan las especies *Melipona fasciata* y *Scaptotrigona hellwegerii* (González Acereto, 2012). En Cuetzalan alrededor del año 2002 la meliponicultura vivió un momento de revalorización, debido al creciente interés por la miel virgen, retomándose las actividades meliponícolas, que languidecía en la nostalgia de unos pocos productores (Padilla-Vargas & Vásquez-Dávila, 2013). Convertirse en el mayor productor de miel de *S. mexicana* y es considerada como una de las regiones de mayor producción de miel virgen del México (Guzmán Díaz *et al.*, 2011). Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo es aportar información sobre el manejo de las abejas sin aguijón de la especie *Scaptotrigona mexicana*, su forma de producción, comercialización y desafíos en la región de Cuetzalan, México.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se empleó una metodología cualitativa y se recurrió a la entrevista para la recuperación de información a partir de una guía de 45 preguntas, organizadas en cuatro categorías. La primera da información general, la segunda referida a las prácticas empleadas en la cosecha de miel de abeja sin aguijón, la tercera sobre elementos de comercialización y la última referida a identificar la problemática de la producción. Para la selección de los informantes se estableció los criterios de ser

productores de miel de abeja sin aguijón, ser residentes de Cuetzalan y aceptar de forma libre su participación en la investigación. A través del muestreo de bola de nieve, es decir de referencia en cadena (Navarrete *et al.*, 2022) se contactó con ocho productores, quienes aceptaron la entrevista, misma que tuvo una duración promedio de 40 min. Además de las entrevistas con productores se efectuó la revisión de artículos, libros y otras comunicaciones científicas referidas con el tema de la investigación. Se realizó un análisis de tendencia a partir de seis ejes: a) Meliponicultura en Cuetzalan, b) proceso de cosecha de miel, c) propiedades medicinales, d) comercialización, e) valor cultural y ambiental y f) problemáticas que enfrenta la meliponicultura en la región de estudio.

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el municipio de Cuetzalan, ubicado en la Sierra Nororiental de Puebla (19° 57' 00" y 20° 05' 18" latitud norte, y 97° 24' 36" y 97°34' 54" longitud oeste) enclavada en la región meridional de la Sierra Madre Oriental (INEGI, 2010) (Figura 1). Predominan climas templados, pero por su cercanía con los climas tropicales del Golfo, presenta un clima semicálido subhúmedo, con lluvias todo el año, lo que, en combinación con la irregularidad topográfica, hace posible que se puedan encontrar dos tipos de vegetación, que son el bosque mesófilo de montaña y en las partes bajas, selva mediana subperennifolia (Rzedowski, 2006).



Figura 1. Localización geográfica del municipio de Cuetzalan del Progreso, Puebla.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Meliponicultura en Cuetzalan, Puebla

En la región de Cuetzalan la abeja sin aguijón *S. mexicana* es nombrada por los nahuas como *pisilnekmej* “abejas pequeñas” (Castillo Hernández, 2020) y su manejo se caracteriza por el uso de dos ollas de barro unidas por la boca, conocidas popularmente como *mancuernas* (Crane, 1999). A diferencia de la Península de Yucatán donde se emplean troncos de madera ahuecados llamados *jobones* (Christoph, 2020; Żrałka *et al.*, 2014). Dichas estrategias forman parte del legado melipónico indígena de ambas regiones, que se mantienen hasta nuestros días. Si bien en Cuetzalan se han realizado ensayos por incluir cajas de madera para mejorar la producción de miel, los intentos por introducir esta tecnología han resultado infructuosos, ya que según los meliponicultores “*las abejas suelen abandonar los nidos artificiales, pues las cajas no se adaptan a las características climáticas de la región*” (Carmen, comunicado personal, 18 de noviembre 2021). Los meliponarios son colocados bajo los salientes de las casas, evitando los rayos del sol directo o en unas estructuras techadas aledañas a las casas de los productores para que no se mojen, llamadas *casa de las abejas*, y se ubican cerca de las zonas de pecoreo. “*ponemos a las abejitas cerca de los cultivos de café, vainilla, plátano, naranja, jonote, litchi, chalahite y varias flores dulces*” (Martín, comunicado personal, 18 de noviembre 2021). Los meliponarios son fabricados de forma rústica de madera, bambú, o varillas para colocar las ollas de barro. “*Se requiere de ceniza para unir las bocas de las ollas de barro o mancuernas, pero se tiene que dejar hueco para que las abejas puedan hacer la trompeta o trompetera, esta es su puerta de entrada al nido*” (Margarita, comunicado personal, 19 de noviembre 2021). De acuerdo con cinco de los entrevistados “*el manejo de los meliponarios es fácil, aproximadamente dedicamos 15 min diarios para revisarlos por las mañanas, limpiamos el lugar donde estan para protegerlas de arañas, lagartijas, aves y hormigas grandes, que llegan a invadir las mancuernas*” (Martin, Margarita, Mateo, Julián y Carmen, comunicados personales, 18 y 19 de noviembre de 2021).

La producción de miel de abeja sin aguijón en el municipio de Cuetzalan, Puebla se lleva a cabo principalmente por meliponicultores de dos grupos indígenas, los Nahuas y Totonacos. Algunos trabajan de manera independiente, aunque en su mayoría se encuentran registrados en la Sociedad Cooperativa Agropecuaria Regional Tosepan Titaniske, organización de gran presencia e importancia en la comunidad y región.

Paredes & Rodríguez, (2014) señalan que la Tosepan surgió en 1980 para atender las necesidades de los cultivos del café y la pimienta (Garza & Garcés, 2009), pero el interés por la miel de abeja sin aguijón surgió posteriormente (Medina, 2015), lo que derivó en la fundación de la Tosepan Pisilnekmej en el 2017, dedicada exclusivamente a la miel de *S. mexicana* (Meza, 2017).

Los entrevistados manifiestan tener de 10 a 200 meliponarios, pero hay evidencia de productores con más de 400 colmenas con una experiencia de más de 40 años al cuidado de estas abejas (Castillo-Hernández, 2020). Existen diferencias en las prácticas e ideologías de manejo, por ejemplo: *“empleamos incienso antes de abrir las ollas, es un pequeño ritual donde quemamos un poco de miel, cera y propóleo como agradecimiento a pisilnekmej”* (Mateo, comunicado personal, 19 de noviembre). Esta es una práctica frecuente y que ya ha sido recuperada por autores como Dávila-Vargas, *et al.* (2014). Mientras que la cosecha se efectúa generalmente por las mañanas; sin embargo, otros productores lo hacen por las tardes o noches, *“yo, cosecho por la noche, ya que es cuando las abejitas no se sienten atraídas por la miel y también evito que las abejas grandes se lleven la miel [especie Apis]”* (Toño, comunicado personal, 17 de noviembre 2021). No obstante, los productores comparten aspectos técnicos comunes, debido a que la información y las prácticas meliponícolas en Cuetzalan, se transmite de generación en generación *“nuestros padres aprendieron de sus padres, nosotros les enseñamos a nuestros hijos, les enseñamos a las hijas antes de casarse, también aprendemos de otros campesinos y en la cooperativa Tosepan, nos dan cursos sobre el manejo de las abejas sin aguijón”* (Mateo, Carmen, Toño, Margarita, Martín. Comunicado personal, 17, 18 y 19 de noviembre 2023).

Proceso de cosecha de miel.

Las mancuernas empleadas como colmenas para *S. mexicana* en Cuetzalan, como ya se ha mencionado son dos ollas unidas por la boca (llamadas nekomit en náhuatl, nektsin =abeja y komit =olla) (Padilla-Vargas & Vásquez-Dávila, 2013), la olla de abajo funciona como cámara de cría y la de arriba para almacenar las reservas de miel y polen, y estas reservas es la miel que es cosechada en los meses de abril y junio (Guzmán Díaz *et al.*, 2011). Algunos de los productores entrevistados comentan que *“se puede realizar otra cosecha entre julio y agosto, pero no todos lo hacen, ya que se piensa que las abejas*

necesitan tener alimento y no es correcto quitarles todo” (Martín y Carmen, comunicado personal 18 de noviembre 2021).

Los meliponicultores entrevistados indicaron que suelen usar telas para protegerse el rostro, un machete o cuchillo para separar las mancuernas y ceniza o barro para sellar nuevamente las ollas después de extraer la miel, proceso que también menciona Castillo-Hernández (2020). *“Separamos las ollas, pero antes las limpiamos con un trapo, y buscamos las bolitas de miel [potes de almacenamiento] en la olla de arriba, después las exprimimos, y la miel que sacamos la filtramos con malla, así evitamos que pase polen o cera”* (María, Comunicado personal, 17 de noviembre 2021). El proceso de filtrado es relevante porque evita las impurezas que ocasionan una tonalidad ámbar oscuro y se aglomeran en la superficie de la miel, produciendo aspecto poco agradable para el consumidor. La identificación de los pots de almacenamiento es fundamental en el proceso de cosecha, al respecto los entrevistados indican que *“una manera rápida para identificar si hay miel, es que la bolita sea blandita, si es dura es que tiene polen [llamada bola de flor]”* (Margarita y Mateo, comunicado personal 19 de noviembre 2021). Dos de los entrevistados indicaron que recientemente algunos meliponicultores optan por la extracción de miel mediante jeringas para una mayor higiene y pureza, aunque esta técnica requiere de más tiempo, *“debemos lavar muy bien las manos, los utensilios, y la ropa para no ahuyentar las abejas con olores fuertes”* (Mateo y Julián, comunicado personal 18 y 19 de noviembre).

Propiedades medicinales.

La miel de abeja sin aguijón fue valorada por algunas culturas precolombinas por sus propiedades medicinales (Christoph, 2020; Vit *et al.*, 2013), siendo dichas propiedades la razón por la que se cosecha y comercializa. La miel producida por *S. mexicana* en Cuetzalan es conocida debido a sus atributos medicinales. *“nuestra miel es muy buena, ayuda a quitar la tos, el dolor de anginas, el ardor de ojos, la gastritis y para la cicatrizante de heridas”* (Carmen, Martín, Mateo, Toño, comunicado personal 17,18 y 19 de noviembre). Entre los meliponicultores se tiene la idea que las propiedades medicinales de esta miel derivan de las fuentes de pecoreo, pues visitan plantas que sirven para curar (Dávila, Vargas, *et al.*, 2014).

Gran parte de las propiedades etnofarmacológicas que los meliponicultores asocian a la miel de *S. mexicana*, han sido probadas en investigaciones realizadas en miel de abeja sin aguijón de diversas especies, acreditando su actividad antiinflamatoria (Borsato *et al.*, 2014; Vit *et al.*, 2004), antioxidante (Ávila *et al.*, 2018; Biluca *et al.*, 2016), antimicrobiana (Boorn *et al.*, 2010; Kimoto-Nira & Amano, 2008; Zamora *et al.*, 2017), cicatrizante (Jalil *et al.*, 2017); además sus cualidades en la curación de cataratas (Pedraza *et al.*, 2015) y úlceras del pie ocasionadas por la diabetes (Grajales-Conesa *et al.*, 2018).

En general dichas cualidades terapéuticas se deben no solo a su alto contenido de azúcares, acidez, la presencia de peróxido de hidrógeno (Mandal & Mandal, 2011), vitaminas y minerales, sino también a los compuestos fenólicos (Abu Bakar *et al.*, 2017; Jalil *et al.*, 2017), responsables de la actividad antioxidante (Aljadi & Kamaruddin, 2004). Entre los compuestos fenólicos que se han identificado están los ácidos fenólicos, como salicílico, p-cumárico (Biluca *et al.*, 2016, 2020), ferúlico, elágico; flavonoides como mirecetina, catequina, rutina (Sousa *et al.*, 2016), aromadrina y taxifolina (Biluca *et al.*, 2020).

Comercialización.

En la Sierra Norte de Puebla, en la década de 1980 el valor de la miel de abeja sin aguijón comprendía tan solo una tercera parte del costo de la miel de *Apis mellifera* (Medina, 2015), en cambio, actualmente la miel de abeja sin aguijón o miel virgen como también se le conoce a esta miel en Cuetzalan tiene mejor pago a su venta,... “ahora ha aumentado el valor de compra de nuestra miel, pues la quieren muchas personas, ya que ahora se conoce más sus usos medicinales” (Julián, Carmen, Toño, comunicado personal, 18 y 19 de noviembre 2021). Lo cual ha motivado el cuidado de *S. mexicana* por parte de la comunidad (Escobedo Ávila, 2021) dado que es un ingreso extra de las familias de la comunidad.

Un frasco de 250 mililitros de miel se comercializa en \$250.00 pesos y de forma general en \$800.00 a \$1000.00 pesos el litro; el costo puede variar, ya que “algunos productores bajan el precio cuando los compradores llegan directamente a sus casas, y aquellos que venden a la cooperativa se tiene que ajustar al precio de compra que se establece” (María, Toño, comunicado personal 17 de noviembre 2021). No obstante, los

entrevistados comentan que cuando la cooperativa vende la miel a un precio más elevado que al que les compraron, a ellos como productores les dan “*unos pesos más*”. Aun con lo anterior, no se puede comparar el precio de venta actual con el de otros países como Malasia, donde la miel de abeja sin aguijón tiene un valor de compra de hasta \$100 dólares por kilogramo (Shadan *et al.*, 2017).

Considerando que el precio de la miel de abeja sin aguijón es notoriamente elevado, los meliponicultores comentan que los clientes se ven renuentes a adquirir este producto, al compararlo con el costo de la miel de *A. mellifera*. Por otro lado, la comercialización se ve frenada por la baja producción por base de colmena de las abejas sin aguijón, que puede ser inferior a un litro por año (Chuttong *et al.*, 2014; González-Acereto *et al.*, 2006). Debido a esto en Cuetzalan la meliponicultura se ve como una actividad económica complementaria, que suele combinarse principalmente con actividades agrícolas, de jornaleros (Guzmán Díaz *et al.*, 2011) y de comerciantes y artesanos que llevan sus productos a las plazas y mercadillos. Por otro lado, la meliponicultura ha abierto la posibilidad de una fuente alterna de empleo, “*pues los que tenemos mayor experiencia prestamos nuestros servicios para la cosecha de miel a los nuevos productores o aquellos que no disponen el tiempo para cosechar*” (Mateo, comunicado personal, 19 de noviembre).

Valor cultural y ambiental.

Se entiende por meliponicultura a la práctica de criar abejas sin aguijón en nidos artificiales a fin de obtener algunos productos como miel, cera (Lemlin, 2020), polen o propóleo (Guzmán Díaz *et al.*, 2011). Adicionalmente en Cuetzalan, la cría de abejas sin aguijón también puede verse como un elemento simbólico cultural, ya que algunos meliponicultores tienen la creencia que “*las abejas se quedan en las casas donde hay amor*”, o que “*si en el hogar no hay armonía, dejan de cuidar a las abejas y entonces las abejas se van*” (Carmen, Martín, comunicado personal, 18 de noviembre 2021). De esta forma los meliponicultores consideran que estas abejas pueden percibir el equilibrio en el hogar. Estas ideas forman parte de la visión cultural de la región, son la herencia de sus ancestros, por lo que las abejas sin aguijón y su manejo, van más allá del aprovechamiento económico.

Las abejas sin aguijón son organismos que ayudan a la subsistencia de agricultores y contribuyen a garantizar la seguridad alimentaria, al brindar servicios de polinización (Alquisira-Ramírez, 2019; Castillo Hernández, 2020). Estas abejas llevan una larga historia evolutiva con las plantas y cultivos de sus zonas de origen, por lo que su papel como polinizadores de cultivos nativos es considerando un beneficio en el rendimiento que no se pueden ignorar (Christoph, 2020; Vit *et al.*, 2013).

Por otro lado, las abejas sin aguijón enfrentan diversos problemas como la presencia de pesticidas, la competencia con especies exóticas (como el caso de *A. mellifera*) y quizás una de las más importantes la tala y fragmentación de los bosques y selvas de donde estos organismos se alimentan y construyen sus colmenas de forma natural. En Cuetzalan al igual que muchas regiones de México los ecosistemas naturales (bosque mesófilo de montaña y la selva mediana subperennifolia) se han visto fragmentados, debido al cambio de uso de suelo producido por las actividades agrícolas, quedando solo relictos de la vegetación original (INEGI, 1996).

El cultivo de producción predominante en Cuetzalan es el café de la variedad arábica, para el cual los productores utiliza sombra de plantas como el plátano (*Musa sapientum*), limón (*Citrus limón*), naranja (*Citrus sinensis*) o Lichi (*Litchi chinensis*) como también lo indica Benítez-García *et al.* (2015), que curiosamente según lo observado por los meliponicultores, son algunas de las plantas que la abeja *S. mexicana* visita de forma regular, además de la pimienta (*Pimenta dioica* (L.) Merr.), guacamaya (*Heliconia rostrata* Ruiz & Pav.), chamaqui (*Heliconia bihai* (L.) L.), albahacar (*Ocimum* spp.), bugambilia (*Bougainvillea spectabilis* Willd.), huichin (*Verbesina persicifolia* DC.), sauco (*Sambucus canadensis* L.), chalahuite (*Inga vera* subsp. *Spuria* (Willd.) J. Leon), zapote (*Diospyros nigra* (J.F. Gmel.) Perrier), mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) y capulín agrio (*Ardisia compressa* Kunth). (Dávila, Vargas, *et al.*, 2014), canela (*Cinnamomum* sp.), bayetilla (*Hamelia patens*), jonote (*Heliocarpus appendiculatus*), y algunas flores silvestres de color amarillo (*Bidens* sp.), entre otros. Desafortunadamente las fuentes de pecoreo antes expuestas no sustituyen a la vegetación original, por lo que los meliponicultores han visto como de las generaciones anteriores a esta la producción de miel ha disminuido llegándose a obtener por mancuerna hasta menos de un cuarto de litro, en tiempos de baja floración, lo cual representa una problemática para los productores.

Problemas que enfrenta la melipolicultura

Un problema derivado de la baja producción de miel es la adulteración, los meliponicultores mencionan que la miel de abeja virgen puede ser adulterada con piloncillo (también conocido como panela), agua, “miel de abeja grande” (*Apis mellifera*), azúcar de caña, aunque esta última tiene la peculiaridad que con el tiempo el azúcar se precipita al fondo. Los meliponicultores señalan que estas adulteraciones hacen que la miel se “eche a perder más rápido” y genera la desconfianza de los consumidores. Esta problemática se acrecienta debido a la falta de regulación oficial y estándares de calidad como lo indica Ávila *et al.* (2018).

Por otro lado, se tiene el robo de mancuernas, en Cuetzalan existen meliponicultores que ven a las ollitas como una herencia para los hijos o nietos y otros cuyo interés reciente por esta actividad los ha llevado a comprar el pie de cría (Padilla-Vargas & Vásquez-Dávila, 2013). Es debido a esta demanda de pie de cría que propicia el robo y venta clandestina de mancuernas. Algunos productores comentan que *“las mancuernas comercializadas de esta manera tienen un costo de entre \$400.00 y \$500.00 pesos mexicanos, mientras que de la forma “derecha” pueden llegar a costar hasta los \$1000.00 pesos”* (Toño, comunicado persona, 17 de noviembre 2021). Al ser una actividad bien conocida, varios meliponicultores optan por tener en secreto el número de colonias que poseen, la ubicación de estas o poner perros como guardianes de las colmenas.

Adicionalmente la falta de apoyos de gobierno limita el crecimiento de la meliponicultura. Muchos meliponicultores comentan que *“La meliponicultura en Cuetzalan necesita apoyos, necesita que el gobierno voltee a ver a los pequeños productores de miel virgen”*, pues esta actividad que lleva tantos años vigente y que lucha por despuntar, requiere apoyos para que los productores puedan vender a buen precio, o que los ayuden a conseguir mercado de venta. Y de existir estos apoyos es necesario considerar que muchos meliponicultores no tienen acceso a computadoras o celulares con internet, por lo que se ven limitados a la información que se lleva de boca en boca.

Además de lo anterior actualmente la comercialización de miel virgen en Cuetzalan se enfrenta a un desafío imprevisto, la pandemia causada por COVID-19 en 2020 conocida por los nahuas como kokolis uejueyinemamaualis kaxtol uan nauti, “enfermedad del 19 que contagia” por cuyas restricciones de salud y el aislamiento que se vivió de forma generalizada en el país, disminuyó dramáticamente la llegada de turistas a la zona (Castillo Hernández, 2021), provocando un estancamiento en la venta de miel, ya que los turistas son quienes mayoritariamente adquieren este producto. Sin embargo, los meliponicultores se muestran optimistas y esperan que la llegada de turismo se normalice pronto.

1.4 CONCLUSIÓN

La meliponicultura se encuentra ligada con la cultura indígena de Cuetzalan, representando no solo una forma de obtener ingresos económicos adicionales, sino como un elemento simbólico, que forma parte del legado histórico en la región. Legado que no ha permanecido inmutable, pues la meliponicultura abarca conocimientos y creencias que cambian y se reinterpretan a través del tiempo. Cuetzalan se encuentra en un momento de gran interés en la producción de miel de abeja sin aguijón; sin embargo, enfrenta varias dificultades y requiere del apoyo a los pequeños productores de las comunidades indígenas que luchan por hacer de la meliponicultura una digna actividad comercial.

El reconocimiento social y científico de las propiedades de miel da cuenta de la relevancia que tiene el poder incidir en la incorporación de innovaciones que deriven en la mejora de la producción y para ello se requieren de planteamientos horizontales que propicien la co-construcción de alternativas entre productores e investigadores, reconocer los saberes representa la oportunidad de aprovechar prácticas exitosas, así como revalorar culturalmente la producción de esta miel, por lo que también se hace necesario incorporar procesos de organización que deriven en mejorar los canales de comercialización de la miel y se minimizan prácticas desleales de adulteración para la producción genuina de la miel.

1.5 Agradecimientos

Se agradece el apoyo de los productores de miel de abeja sin aguijón para contestar el cuestionario; así como personal del Colegio de Postgraduados para llegar a la comunidad de Cuetzalan, Puebla.

1.6 LITERATURA CITADA

- Abu Bakar, M. F., Babaji Sanusi, S., Abu Bakar, F. I., Jin Cong, O., & Mian, Z. (2017). Short communication physicochemical and antioxidant potential of raw unprocessed honey from Malaysian stingless bees. *Pakistan Journal of Nutrition*, 16(1):888-894. <https://doi.org/DOI: 10.3923/pjn.2017.888.894>
- Aljadi, A. M., & Kamaruddin, M. Y. (2004). Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honey. *Food Chemistry*, 85(4):513-518. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00596-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00596-4)
- Alquisira-Ramírez, E. V. (2019). La importancia de la meliponicultura en México Retos y oportunidades. En *Prácticas agropecuarias como estrategias de seguridad alimentaria* (Primera edición, p. 217). Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Ávila, S., Beux, M., Ribani, R., & Zambiasi, R. (2018). Stingless bee honey: Quality parameters, bioactive compounds, health-promotion properties, and modification detection strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 81:37-50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.002>
- Ayala, R., González, V. H., & Engel, M. S. (2013). Mexican Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae): Diversity, Distribution, and Indigenous Knowledge. En P. Vit, S. R. M. Pedro, & D. Roubik (Eds.), *Pot-Honey: A legacy of stingless bees* (pp. 135-152). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4960-7_9
- Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, S., & Mora-Flores, S. (2015). Caracterización de la producción y del comercio de café en el Municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 12(2): 181-198
- Biluca, F. C., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Physicochemical profiles, minerals, and bioactive compounds of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 50:61-69. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.007>
- Biluca, F. C., da Silva, B., Caon, T., Mohr, E. T. B., Vieira, G. N., Gonzaga, L. V., Vitali, L., Micke, G., Fett, R., Dalmarco, E. M., & Costa, A. C. O. (2020). Investigation of phenolic compounds, antioxidant, and anti-inflammatory activities in stingless bee honey (Meliponinae). *Food Research International*, 129:108756. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108756>
- Boorn, K. L., Khor, Y.-Y., Sweetman, E., Tan, F., Heard, T. A., & Hammer, K. A. (2010). Antimicrobial activity of honey from the stingless bee *Trigona carbonaria* determined by agar diffusion, agar dilution, broth microdilution, and time-kill methodology. *Journal of Applied Microbiology*, 108(5):1534-1543. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04552.x>

- Borsato, D. M., Prudente, A. S., Döll-Boscardin, P. M., Borsato, A. V., Luz, C. F. P., Maia, B. H. L. N. S., Cabrini, D. A., Otuki, M. F., Miguel, M. D., Farago, P. V., & Miguel, O. G. (2014). Topical anti-Inflammatory activity of a monofloral honey of *Mimosa scabrella* Provided by *Melipona marginata* during winter in Southern Brazil. *Journal of Medicinal Food*, 17(7): 817-825. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0024>
- Castillo Hernández, M. A. (2020). Estudio transdisciplinario de meliponicultu-ra en la región de Cuetzalan, Puebla. Análisis etnocientífico, etnoarqueológico y etnobiológico de la producción de miel virgen (Primera, Vol. 1). UNAM.
- Castillo Hernández, M. A. (2021). La vida de la abeja nativa en Cuetzalan, Puebla. *Voces y saberes*, 3 (13):28-40.
- Chan Mutul, G. A., Vera Cortés, G., Aldasoro Maya, E. M., Sotelo Santos, L. E., Chan Mutul, G. A., Vera Cortés, G., Aldasoro Maya, E. M., & Sotelo San-tos, L. E. (2019). Retomando saberes contemporáneos. Un análisis del pano-rama actual de la meliponicultura en Tabasco. *Estudios de cultura maya*, 53:289-326. <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2019.53.947>
- Christoph, G. (2020). *Stingless Bees. Their Behaviour, Ecology, and Evolu-tion*. Springer. ISBN: 978-3-030-60090-7
- Crane, E. (1999). *The world history of beekeeping and honey hunting*. Tay-lor and Francis Group.
- Dávila, M. A. V., Vargas, P. P., García Guerra, T. G., & Albores González, M. L. (2014). Pisilnekmej: Una mirada a la cosmovisión, conocimientos y prácti-cas nahuas sobre *Scaptotrigona mexicana* en Cuetzalan, Puebla, México. *Et-noecológica*, 10(10): 1-4.
- Escobedo Ávila, S. D. Y. (2021). La meliponicultura en Cuetzalan del Pro-greso, Puebla: Una práctica biocultural y alternativa agroecológica. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Tesis de Maes-tría.
- Garza, M. E. S. de la, & Garcés, D. C. M. (2009). Integralidad en la res-ponsabilidad social empresarial: Caso de la cooperativa TOSEPAN TITATA-NISKE. *Otra Economía*, 3(4);4-5. <https://doi.org/10.4013/1128>
- González Acereto, J. A. (2012). La importancia de la meliponicultura en México, con énfasis en la Península de Yucatán. *Bioagrobiencias*, 5(1):34-41
- Grajales-Conesa, J., Ibarias-Toledo, C., Ruíz-Toledo, J., & Sánchez, D. (2018). Honey of stingless bees for the treatment of diabetic foot ulcers. *Salud Publica De Mexico*, 60(1):102-104. <https://doi.org/10.21149/8604>
- Guzmán Díaz, M., Balboa Aguilar, C., Vandame, R., Albores González, M. L., & González Acereto, J. A. (2011). Manejo de las abejas nativas sin aguijón en México, *Melipona beecheii* y *Scaptotrigona mexicana*. Manual técnico (Pri-mera edición). El Colegio de la Frontera Sur.

- INEGI. (1996). Cuetzalan, Estado de Puebla. Cuaderno Estadístico Municipal.
- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010, Cuetzalan del Progreso, Puebla. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21043.pdf
- INEGI. (2015). 20151231 información estadística general del municipio de Cuetzalan del Progreso (2010). Datos Abiertos Puebla. <https://datos.puebla.gob.mx/datos/informacion-estadistica-general-municipio-cuetzalan-del-progreso-20151231-csv#{}>
- Jalil, M. A. A., Kasmuri, A. R., & Hadi, H. (2017). Stingless bee honey, the natural wound healer: a review. *skin pharmacology and physiology*, 30(2):66-75. <https://doi.org/10.1159/000458416>
- Kimoto-Nira, H., & Amano, K. (2008). Antimicrobial activity of honey produced by stingless honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 47:325-327. <https://doi.org/10.1080/00218839.2008.11101484>.
- Lemelin, R. H. (2020). Entomotourism and the stingless bees of Mexico. *Journal of Ecotourism*, 19(2):168-175. <https://doi.org/10.1080/14724049.2019.1615074>
- Mandal, M. D., & Mandal, S. (2011). Honey: Its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2):154-160. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60016-6).
- Meza, A. (2017). La Tosepan formaliza la constitución de la novena cooperativa: Tosepan Pisilnekmej - Puebla. *La Jornada de Oriente*. <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/la-tosepan-formaliza-la-constitucion-la-novena-cooperativa-tosepan-pisilnekmej/>
- Medina, C. M. (2015). Algunos cambios y perspectivas sobre meliponicultura en México. VIII Congreso Mesoamericano de Abejas Nativas: biología, cultura y uso sostenible, 26 al 31 de agosto de 2013: 148-
- Navarrete, M., Adrian, C. y Bachelet, V. (2022). Respondent-driven sampling: ventajas e inconvenientes de un método de muestreo. *Medwave*. 22 (1). DOI 10.5867/medwave.2022.01.002528
- Padilla-Vargas, P. J., & Vásquez-Dávila, M. A. (2013). Corpus y praxis náhuatl de *Scaptotrigona mexicana* en Cuetzalan del Progreso, Puebla, México. En 4to. Encuentro de investigadores “para la convivencia y divulgación de la investigación” (Primera Edición Electrónica, p. 2013).
- Paredes, Y. M., & Rodríguez, E. (2014). “Tosepan titataniske regional agricultural cooperative society” as a sustainable model for northeastern Sierra of Puebla rural communities. *ICERI2014 Proceedings*, 6331-6337.
- Pedraza, L., Suarez, A., Bozzo, A., Pucciarelli, A., Roberto, G., Guillermo, B., De Luca, José M., & Alustiza, F. (2015). Efectos de la miel de meliponas en el tratamiento

- de cataratas en un modelo murino diabético. *Revista Veterinaria Argentina*, 32, 1-15.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ra. Edición digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Shadan, A. F., Mahat, N. A., Wan Ibrahim, W. A., Ariffin, Z., & Ismail, D. (2017). Provenance establishment of stingless bee honey using multi-element analysis in combination with chemometrics techniques. *Journal of Forensic Sciences*, 63(1): 80-85. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13512>
- Sousa, J. M., de Souza, E. L., Marques, G., Meireles, B., de Magalhães Cordeiro, Â. T., Gullón, B., Pintado, M. M., & Magnani, M. (2016). Polyphenolic profile and antioxidant and antibacterial activities of monofloral honey produced by Meliponini in the Brazilian semiarid region. *Food Research International*, 84:61-68. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.012>
- Vit, P., Medina, M., & Enríquez, E. (2004). Quality standards for medicinal uses of Meliponinae honey in Guatemala, Mexico, and Venezuela. *Bee World*, 85:2-5. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2004.11099603>
- Vit, P., Pedro, S. R. M., & Roubik, D. W. (2013). *Pot-Honey: A legacy of stingless bees*. Springer Science & Business Media.
- Zamora, L. G., Beukelman, C. J., Van den Berg, A.J. J., Aerts, P. C., Quarles van Ufford, H. C., Nijland, R., & Arias, M. I. (2017). An insight into the anti-biofilm properties of Costa Rican stingless bee honey. *Journal of Wound Care*, 26(4):168-177. <https://doi.org/10.12968/jowc.2017.26.4.168>
- Żrałka, J., Koszkuł, W., Radnicka, K., Sotelo Santos, L. E., & Hermes, B. (2014). Excavations in Nakum structure 99: New data on Protoclassic rituals and Precolumbian Maya beekeeping. *Estudios de Cultura Maya*, 44(44):85-117. [https://doi.org/10.1016/S0185-2574\(14\)71396-6](https://doi.org/10.1016/S0185-2574(14)71396-6)

CAPITULO 2.

Evaluación de la miel de abeja sin aguijón (*Scaptotrigona mexicana*): detección de adulteración.

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el cambio en los parámetros físicos y químicos que ocurren cuando se realiza una adulteración intencionada con sacarosa, fructosa, glucosa, y miel de *Apis mellifera*, en concentraciones del 10 al 60%, a la miel de abeja sin aguijón de la especie *Scaptotrigona mexicana*. La espectroscopia infrarroja FTIR fue utilizada para obtener la caracterización estructural de muestras de miel adulteradas intencionalmente, de mieles puras y de miel comercial adquirida en mercadillos de las regiones de estudio. Los resultados mostraron que la humedad, los °Brix, el HMF y la conductividad eléctrica, resultan alterados de forma significativa de acuerdo con el adulterante empleado y su concentración, en comparación con el control; mientras que los parámetros para diferenciar, entre mieles puras fueron la humedad y los °Brix. El FTIR en combinación con PCA fueron herramientas de análisis eficientes para la detección de adulterantes en miel de abeja sin aguijón *S. mexicana* comerciales y se logro identificar mieles comerciales adulteradas en la región de estudio.

Palabras clave: miel, *Scaptotrigona mexicana*, adulteración, FTIR

ABSTRACT

In the present study, the change in the physical and chemical parameters that occur when an intentional adulteration with sucrose, fructose, glucose, and *Apis mellifera* honey is carried out, in concentrations of 10 to 60%, to stingless bee honey was evaluated. of the species *Scaptotrigona mexicana*. FTIR infrared spectroscopy was used to obtain the structural characterization of honey samples intentionally adulterated, pure honey and commercial honey purchased in markets in the study regions. The results showed that moisture, °Brix, HMF and electrical conductivity are significantly altered according to the adulterant used and its concentration, compared to the control; while the parameters to differentiate between pure honeys were humidity and °Brix. The FTIR in combination with PCA were efficient analysis tools for the detection of adulterants in commercial stingless bee *S. mexicana* honey and it was possible to identify adulterated commercial honeys in the study region.

Keywords: honey, *Scaptotrigona mexicana*, adulteration, FTIR

2.1 INTRODUCCIÓN

Las abejas sin aguijón pertenecientes a la tribu Meliponini son organismos eusociales, que agrupan a más de 500 especies (Michener, 2013), distribuidas a lo largo de las franjas tropicales y subtropicales del mundo (Christoph, 2020). América es el continente con mayor diversidad de abejas sin aguijón, albergando alrededor de 400 especies (Michener, 2013). Los meliponinos son conocidos por la ausencia de un aguijón funcional, una escasa venación de las alas posteriores (Quezada Euán, 2005) y el uso de vasijas elipsoidales hechas de cerumen para almacenar miel y polen (Vit *et al.*, 2004).

En México se han llegado a aprovechar 19 especies de abejas sin aguijón, de las cuales *Melipona beecheii*, *Scaptotrigona hellwegeri*, *Scaptotrigona mexicana* y *Tetragonisca angustula*, son las más comúnmente manejadas (Ayala *et al.*, 2013). El manejo y cuidado de las abejas sin aguijón se conoce como meliponicultura (Nogueira-Neto, 1997). De dicha actividad se obtiene polen, propóleo (Guzmán Díaz *et al.*, 2011), servicios de polinización (Ayala & Ortega, 2018), cerumen y principalmente miel (Ayala *et al.*, 2013).

La miel de abeja sin aguijón es un importante producto meliponicola, consumido y valorado por sus propiedades medicinales (Ocampo Rosales, 2013). Sin embargo, debido a que el conocimiento que se tiene actualmente sobre la miel de abeja sin aguijón es limitado, no se cuenta con estándares de calidad establecidos por organismos internacionales, como el Codex Alimentarius (Biluca *et al.*, 2016). Si consideramos además la baja producción de miel por base de colmena, que puede ser inferior a un litro por año (Chuttong *et al.*, 2014; González-Acereto *et al.*, 2006) y su alto valor de compra (Medina, 2015; Shadan *et al.*, 2017), se genera incertidumbre sobre la autenticidad de la misma (Se *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2006).

La forma más común de adulteración en la miel, es la adición de edulcorantes y otras sustancias disponibles en el mercado cuyo precio es más económico, como azúcares de caña y de remolacha (Cordella *et al.*, 2005; da Silva *et al.*, 2016; Se *et al.*, 2018), jarabes de maíz, arroz, remolacha, fructosa, sacarosa, glucosa y maltosa (da Silva *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2020; Rios-Corripio *et al.*, 2011; Se *et al.*, 2018), harinas de maíz, trigo o plátano, además de melaza y agua (Damto, 2019). En el caso particular de la miel de abeja sin aguijón se ha documentado la adición de miel de *Apis mellifera* (Souza *et al.*, 2006; Zuccato *et al.*, 2017); además esta última también puede emplearse como base para la fabricación de imitaciones, cuyas características sensoriales son muy semejantes a la miel de abeja sin aguijón auténtica (Medina, 2015).

Los principales adulterantes de la miel son azúcares o jarabes que se asemejan mucho a los componentes naturales de la miel y no son detectables fácilmente, por lo que se han desarrollado diversas técnicas que permiten dilucidar entre mieles auténticas de aquellas adulteradas (Naila *et al.*, 2018). Las técnicas incluyen la Espectrometría de masa de relación isotópica de carbón estable (EA-IRMS) (Guler *et al.*, 2014; Tosun, 2013), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Wang *et al.*, 2015), cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento con detección amperométrica pulsada (HPAEC-PAD) (Morales *et al.*, 2008), la espectroscopía Raman (Li *et al.*, 2012), y la resonancia magnética nuclear de protones (^1H NMR) (Zuccato *et al.*, 2017). Sin embargo, dichas técnicas presentan algunos inconvenientes, como el empleo de una cantidad considerable de muestras, la necesidad de tratamientos previos a la muestra o el uso de reactivos costosos. Mientras que la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en combinación con quimiometría, permite la detección rápida de adulterantes, sin requerir una preparación laboriosa de la muestra, siendo además un método económico y no invasivo (Rios-Corripio *et al.*, 2011; Se *et al.*, 2018).

En este estudio se propuso la espectroscopia FTIR en combinación con quimiometría (PCA), para la discriminación y clasificación entre mieles de *Scaptotrigona mexicana* puras y aquellas adulteradas; empleando como adulterantes, estándares de sacarosa, fructosa, glucosa y miel de *Apis mellifera*, y su posterior comparación con mieles obtenidas en puntos de comercialización.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Miel de abeja sin aguijón multifloral de la especie *Scaptotrigona mexicana* se recolectó directamente de productores de las regiones de Cuetzalan Pue. y Córdoba, Ver., a fin de garantizar la pureza de la miel y adicionalmente se obtuvieron muestras de miel de abeja sin aguijón provenientes de puntos de comercialización (mercadillos y tiendas de artesanías) de la región de estudio. Las muestras se colocaron en frascos color ámbar, se etiquetaron y se almacenaron sin refrigeración a una temperatura de $26^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, en el laboratorio del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, hasta su análisis.

Las muestras de miel pura se utilizaron para obtener los parámetros físicos y químicos y comparar entre regiones productoras. Además, la miel pura de *S. mexicana* de la región de Córdoba se utilizó como base para realizar la adulteración intencionada.

Posteriormente estos resultados se compararon con el análisis de las muestras de miel de los puntos de comercialización.

2.2.1 Adulteración intencionada

Para la adulteración intencional se utilizaron cuatro adulterantes: sacarosa (grado reactivo) D-fructosa, D-glucosa y miel de *Apis mellifera*. Cada uno de los adulterantes se diluyeron en agua destilada, hasta ajustar a 70 °Brix. La solución adulterante se adiciono en proporciones del 10, 20, 30, 40, 50 y 60% a la miel de *S. mexicana* pura.

2.2.2 Análisis fisicoquímico

La humedad se determinó según la NMX-F-083-1986 (2006), con algunas modificaciones, se pesaron 3 g de miel en una charola a peso constante y se colocó en una estufa (MERMMERT 100-800) a 60°C por 24 h, el porcentaje de humedad se obtuvo por diferencia de peso. Los sólidos solubles (°Brix) se determinaron con un refractómetro digital (Hanna Instruments, modelo HI 96801) (ICUMSA, 1964a). El hidroximetilfurfural (HMF) se determinó utilizando un refractómetro digital (Reflectoquant) y tiras reactivas. Las tiras reactivas se sumergieron en una solución de miel homogenizada con agua destilada. El resultado se calculó multiplicando el valor de la medición por el factor de dilución, descrito por Bogdanov et al. (1997) (Bogdanov et al., 1997). La conductividad eléctrica (CE) se midió en una solución de 10 g de miel en 75 mL de agua destilada, con un conductímetro digital (Hanna Instruments, modelo HI 98303) (Alves et al., 2005). El color se midió con un colorímetro digital (Hanna Honey color photometer modelo HI 96785) (ICUMSA, 1964b). El pH se midió en una solución empleada para medir la CE, con un potenciómetro (Orion star 3 Thermoscientific) (AOAC International, 2005). Todas las lecturas se realizaron por triplicado.

2.2.3 Análisis FTIR

Para la caracterización estructural de la miel se utilizó un espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) (Bruker, Vertex, Wisconsin, EE.UU.) mediante el método de muestreo de Reflectancia Total Atenuada (ATR). Los espectros se obtuvieron por triplicado y se promediaron. Se utilizaron 64 barridos con una resolución de 4 cm⁻¹ en la región espectral de 4000-400 cm⁻¹. Para el análisis de los espectros se utilizó el programa Origin 6.1 (OriginLab Corporation, EE.UU.).

2.2.4 Análisis estadístico.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, con un factor a seis niveles de tratamiento, con tres repeticiones por nivel. Los factores corresponden a dos tipos de mieles puras provenientes de Córdoba y Cuetzalan y cuatro tipos de adulterantes adicionados a la miel pura de Córdoba en seis proporciones (10-60%). Se realizó un análisis de varianza para determinar el efecto de los tipos de adulterantes en las características fisicoquímicas de las mieles, y así poder detectar adulteración en las mieles puras. Para los análisis se utilizó el software Minitab 19, y la comparación de medias se hizo con la prueba de Dunnett con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. A partir de los datos de las variables fisicoquímicas tanto de las mieles puras como adulteradas, se realizó un dendrograma donde se formaron conglomerados de observaciones y sus niveles de similitud a través del método de centroide. Además, se usó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ para realizar una comparación entre las mieles puras. Por otra parte, se llevó a cabo el análisis de componentes principales (PCA) a los espectros FTIR de las muestras puras y adulteradas, con el programa Origin 6.1, para describir los diferentes tratamientos y las principales variables respuesta a través de nuevas variables no correlacionadas.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Mieles puras

El análisis fisicoquímico de la miel pura de *S. mexicana* se muestra en la Tabla 1, donde se observa que la miel de ambas regiones es similar, sin diferencias significativas en la mayoría de los parámetros evaluados, debido a que proceden de la misma especie y presentan fuentes de pecoreo similares, como es el caso del cultivo de café (Benítez-García *et al.*, 2015; Fowler-Salamini, 2013), como se ratifica con los espectros FTIR de dichas muestras (Figura 1). Este resultado permitió utilizar la miel pura de Córdoba como base para realizar el análisis de adulteración intencionada.

La Figura 1 muestra los espectros FTIR de 20 muestras de miel pura de *S. mexicana* adquiridas directamente con meliponicultores de los municipios de Córdoba y Cuetzalan. Todas las muestras presentan bandas de absorción similares en la región espectral del mediano infrarrojo (MIR) que va de 4000 a 650 cm^{-1} . Dos bandas de absorción que corresponden al agua se observan a 3273 cm^{-1} (estiramiento O-H) y 1643

cm^{-1} (deformación O-H) (Anjos *et al.*, 2015). Mientras que las bandas de absorción características que corresponden a vibraciones de los enlaces de los monosacáridos (fructosa y glucosa) y disacáridos (sacarosa) en la miel se encuentran entre los 1500 cm^{-1} y 700 cm^{-1} (Gallardo-Velázquez *et al.*, 2009).

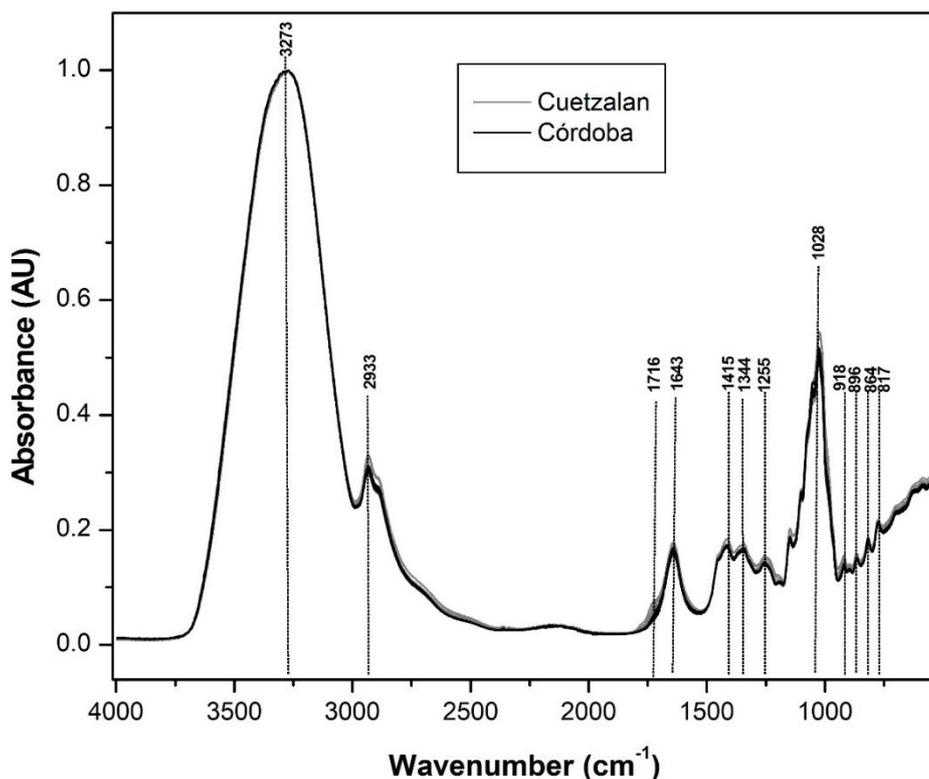


Figura 1. Espectros FTIR de miel pura de *Scaptotrigona mexicana* de Córdoba, Ver. y Cuetzalan, Pue.

2.3.2 Adulteración intencionada de la miel de abeja sin agujón

Los parámetros fisicoquímicos de la miel de abeja sin agujón *S. mexicana* adulterada intencionalmente por la adición de sacarosa, fructosa, glucosa y miel de *A. mellifera* se muestra en la Tabla 1.

Cuadro 1. Análisis fisicoquímico de muestras de mieles puras de *S. mexicana*, miel adulterada intencionalmente y muestras comerciales de las regiones productoras de Cuetzalan, Puebla y Córdoba, Veracruz.

Muestra de miel	Nivel de inclusión (%)	Humedad (%)	Sólidos solubles (°Brix)	HMF (mg/Kg)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Color (pFund)	pH
<i>S. mexicana</i> pura (Córdoba)		21.97 ± 0.44 A a	73.05 ± 0.87 A a	10.20 ± 0.11 A a	0.467 ± 0.106 A a	67.13 ± 28.46 A a	3.76 ± 0.38 A a

<i>S. mexicana</i> comercial (Córdoba)		18.83 ± 4.13	73.20 ± 2.63	12.06 ± 4.07	0.478 ± 0.089	73.46 ± 26.30	3.70 ± 0.19
<i>S. mexicana</i> pura (Cuetzalan)		22.55 ± 0.80 B b	70.94 ± 1.65 B b	8.86 ± 0.11 A b	0.896 ± 0.379 A b	59.70 ± 11.03 A a	3.54 ± 0.08 A a
<i>S. mexicana</i> comercial (Cuetzalan)		20.60 ± 4.08	71.71 ± 4.38	13.35 ± 20.09	0.653 ± 0.309	61.36 ± 17.07	3.54 ± 0.22
Estándar de sacarosa		12.15 ± 0.44	70.60 ± 0.10	12.16 ± 0.05	0.007 ± 1.00	45.66 ± 3.05	6.27 ± 0.00
Miel de <i>S. mexicana</i> adulterada con el estándar de sacarosa	10	20.22 ± 0.26 b	73.33 ± 0.05 a	11.63 ± 0.15 a	0.500 ± 0.003 a	72.00 ± 1.00 a	3.79 ± 0.01 a
	20	19.75 ± 0.11 b	73.43 ± 0.05 a	12.00 ± 0.10 b	0.450 ± 0.001 a	69.33 ± 0.57 a	3.80 ± 0.00 a
	30	19.35 ± 0.14 b	73.53 ± 0.05 b	10.83 ± 0.15 b	0.402 ± 0.000 a	66.00 ± 1.00 a	3.71 ± 0.05 a
	40	18.87 ± 0.33 b	73.63 ± 0.05 b	10.03 ± 0.30 b	0.351 ± 0.003 a	63.00 ± 1.00 a	3.81 ± 0.00 a
	50	18.30 ± 0.10 b	73.76 ± 0.05 b	9.43 ± 0.05 a	0.304 ± 0.008 a	59.66 ± 0.57 a	3.83 ± 0.00 a
	60	17.89 ± 0.24 b	73.86 ± 0.05 b	9.03 ± 0.15 b	0.250 ± 0.004 b	57.00 ± 1.00 a	3.82 ± 0.00 a
Estándar de fructosa		20.66 ± 0.21	70.36 ± 0.05	7.23 ± 0.11	0.001 ± 0.570	1.00 ± 0.00	5.63 ± 0.01
Miel de <i>S. mexicana</i> adulterada con el estándar de fructosa	10	20.03 ± 0.14 b	73.56 ± 0.05 b	12.10 ± 0.00 b	0.473 ± 0.006 a	71.33 ± 0.57 a	3.94 ± 0.00 b
	20	20.16 ± 0.31 b	73.46 ± 0.05 a	12.23 ± 0.05 b	0.471 ± 0.044 a	68.00 ± 1.00 a	4.06 ± 0.07 b
	30	20.36 ± 0.08 b	73.36 ± 0.11 a	12.43 ± 0.05 b	0.451 ± 0.002 a	65.00 ± 1.00 a	3.97 ± 0.00 b
	40	20.41 ± 0.11 b	73.23 ± 0.05 a	12.63 ± 0.05 b	0.447 ± 0.032 a	61.00 ± 1.00 a	3.94 ± 0.01 b
	50	20.46 ± 0.14 b	73.13 ± 0.05 a	12.26 ± 0.05 b	0.424 ± 0.023 a	58.00 ± 1.00 A	3.74 ± 0.01 a
	60	20.59 ± 0.17 b	72.96 ± 0.05 a	12.36 ± 0.05 b	0.413 ± 0.004 a	53.33 ± 0.57 a	3.82 ± 0.00 a
Estándar de glucosa		13.44 ± 0.37	70.76 ± 0.05	20.76 ± 0.15	0.003 ± 0.001	84.00 ± 0.00	5.22 ± 0.00
Miel de <i>S. mexicana</i> adulterada con el estándar de glucosa	10	18.05 ± 0.56 b	73.36 ± 0.05 a	12.20 ± 0.17 b	0.391 ± 0.003 a	72.33 ± 0.57 a	3.80 ± 0.00 a
	20	16.82 ± 0.68 b	73.33 ± 0.05 a	12.23 ± 0.05 b	0.372 ± 0.003 a	70.00 ± 1.00 a	3.94 ± 0.00 b
	30	16.10 ± 0.12 b	73.43 ± 0.05 a	12.40 ± 0.00 b	0.358 ± 0.003 a	67.00 ± 1.00 a	3.92 ± 0.02 b
	40	14.97 ± 0.14 b	73.56 ± 0.05 b	12.10 ± 0.00 b	0.302 ± 0.005 a	64.33 ± 0.57 a	3.88 ± 0.09 b
	50	13.75 ± 0.57 b	73.66 ± 0.05 b	11.80 ± 0.00 b	0.245 ± 0.002 b	62.00 ± 1.00 a	3.80 ± 0.01 b
	60	13.36 ± 0.35 b	73.76 ± 0.11 b	12.00 ± 0.00 b	0.196 ± 0.004 b	59.33 ± 1.15 b	3.82 ± 0.00 B
Estándar de <i>A. mellifera</i>		22.80 ± 0.27	70.26 ± 0.15	13.73 ± 0.20	0.606 ± 1.520	70.33 ± 0.57	4.09 ± 0.01
Miel de <i>S. mexicana</i> adulterada con el estándar de <i>A. mellifera</i>	10	19.42 ± 0.13 b	73.56 ± 0.05 b	12.46 ± 0.05 b	0.521 ± 0.015 b	53.66 ± 0.57 b	3.78 ± 0.01 b
	20	19.77 ± 0.16 b	73.40 ± 0.00 a	12.93 ± 0.15 b	0.532 ± 0.051 b	57.33 ± 0.57 b	3.78 ± 0.00 B
	30	19.78 ± 0.30 b	73.26 ± 0.05 a	13.06 ± 0.15 b	0.530 ± 0.006 b	62.66 ± 0.57 b	3.80 ± 0.00 b
	40	19.81 ± 0.32 b	73.13 ± 0.05 a	12.53 ± 0.11 b	0.554 ± 0.003 b	66.00 ± 1.00 b	3.99 ± 0.00 b
	50	19.83 ± 0.33 b	72.90 ± 0.10 a	11.86 ± 0.05 b	0.575 ± 0.003 b	74.33 ± 2.08 b	3.91 ± 0.00 b
	60	20.05 ± 0.41 b	72.73 ± 0.05 b	12.10 ± 0.00 b	0.583 ± 0.001 b	83.66 ± 0.57 b	3.92 ± 0.00 b

Los resultados se expresan como la media n=10 para las mieles puras, n=22 para las mieles comerciales y n=3 para las adulteradas, seguido de ± SD. Las medias seguidas de letras mayúsculas diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (p<0.5) según la prueba de Tukey. Las medias de cada tratamiento, seguidas una letra minúscula diferente en la misma columna, implica diferencia significativa (p<0.5) según la prueba de Dunnett.

El porcentaje de humedad de la muestra de miel de *S. mexicana* pura es de 21.97%, en tanto en las muestras adulteradas con sacarosa y glucosa se observa una disminución del contenido de humedad a 17.87% y 13.43% respectivamente, mientras que en la miel adulterada con fructosa y miel de *A. mellifera* el contenido de humedad se encuentra cercano al de la miel pura, 20.59% y 20.05% respectivamente. Siendo todas las muestras adulteradas significativamente diferentes de la miel pura de *S. mexicana* respecto al contenido de humedad, por lo que este parámetro se convierte en un buen candidato para detectar adulteración en las mieles de *S. mexicana*.

La concentración de °Brix se encuentra asociado directamente con el contenido de azúcares presentes en la miel (Habib *et al.*, 2014) (Tabla 1). Se puede observar que la miel pura de *S. mexicana* tiene una mayor concentración de °Brix (73.05) y a medida que aumenta la concentración de los adulterantes, fructosa y *A. mellifera* la concentración de °Brix disminuye. Además, hubo diferencia significativa para las muestras adulteradas con sacarosa del 30 al 40%; fructosa al 10%; en glucosa del 30 al 60% y en miel de *A. mellifera* en proporciones del 10 y 60%. Por lo anterior se puede considerar que además de la humedad, los °Brix también es un parámetro que puede ayudar a discriminar entre mieles puras y adulteradas.

El HMF es un compuesto que se forma como producto intermedio en la reacción de Maillard (Wang *et al.*, 2009), debido al calentamiento o prolongados periodos de almacenamiento (da Silva *et al.*, 2016). El HMF se asocia a la presencia de azúcares simples como fructosa y glucosa en la miel (Sousa *et al.*, 2016). El contenido de HMF de la miel de *S. mexicana* pura fue de 10.20 mg/Kg, en cuanto a las muestras adulteradas se observó un ligero aumento de HMF (12.00) con sacarosa al 20%, para después disminuir de forma constante hasta 9.03 mg/Kg. Por su parte con los adulterantes fructosa, glucosa y miel de *A. mellifera* se mostró un incremento con los adulterantes en una concentración entre el 30 y 40%, para posteriormente disminuir la concentración de HMF, e incrementar nuevamente cuando el adulterante alcanza una concentración del 60%. Las muestras presentan una diferencia significativa en la mayoría de los tratamientos con respecto al control, excepto en las muestras adulteradas con sacarosa en concentraciones del 10 y 50%.

La CE se encuentra directamente relacionado con la concentración de minerales disueltos en la miel (Solayman *et al.*, 2016), los cuales se encuentran de forma constante sin importar el tiempo o las condiciones de almacenamiento (da Silva *et al.*, 2016). La CE en la miel pura es de 0.467 mS/cm, mientras que en las muestras adulteradas se observó un incremento en la CE (0.583 mS/cm), en las muestras adulteradas con miel de *A. mellifera*, y una disminución de la CE de 0.250 mS/cm, 0.413 mS/cm y 0.196 mS/cm para las muestras adulteradas con sacarosa, fructosa y glucosa respectivamente. Se encontraron diferencias significativas, en todas las muestras adulteradas con *A. mellifera*, sacarosa al 60% y glucosa al 50 y 60%. Por lo que la CE puede ser un factor de identificación de adulteración con *A. mellifera* y otros adulterantes en altas concentraciones.

El color en la muestra de miel pura es de 67.13 mm en la escala de Pfund, en las muestras adulteradas el color varía de acuerdo con el adulterante empleado, disminuyendo a 57.00 y 53.33 mm en las muestras a las que se les adicionaron sacarosa y fructosa respectivamente, y aumentando a 59.33 mm y 83.66 mm en las muestras adulteradas con glucosa y miel de *A. mellifera*. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y el control.

El pH 3.76 corresponde a la muestra de miel pura, mientras que, todas las mieles adulteradas, muestran un patrón similar al del HMF, exhibiendo inicialmente un incremento de pH, para después disminuir cuando el adulterante se encuentra en una concentración entre el 30 y 40%. En las muestras adulteradas con sacarosa, fructosa al 50 y 60% y glucosa al 10% no fueron significativamente diferentes al control.

De acuerdo con el dendrograma de la Figura 2 se puede observar que los parámetros de humedad y CE forman un conglomerado, por lo que se asume que tanto la humedad como la CE tienen un desempeño similar para ayudar a discriminar indistintamente entre mieles puras y adulteradas. También se observa la estrecha relación entre las variables °Brix y HMF, por lo que, si buscamos discriminar entre mieles puras y adulteradas, estas dos variables tendrían un desempeño similar en la detección de adulterantes. Por lo que para discriminar entre mieles puras y adulteradas empleando análisis fisicoquímicos se pueden utilizar estos grupos de pruebas fisicoquímicas y sus posibles combinaciones, por ejemplo, es factible utilizar Humedad y °Brix, Humedad y HMF, y así

sucesivamente. La combinación de estos parámetros responde a su agrupamiento y a la accesibilidad con la que se cuenta para la realización de las pruebas de adulteración de las mieles basadas en las combinaciones de estas variables fisicoquímicas.

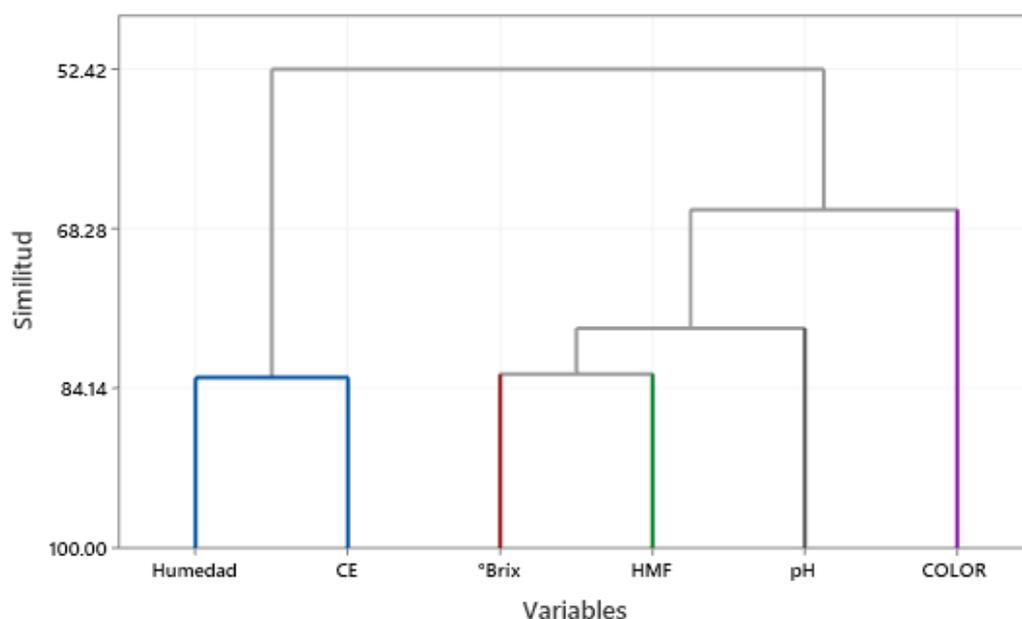


Figura 2. Dendrograma, análisis de variables de conglomerados: Humedad, °Brix, hidroximetilfurfural (HMF), conductividad eléctrica (CE), color y pH de muestras de miel *Scaptotrigona mexicana* adulterada intencionalmente con con estándares de sacarosa, fructosa, glucosa y miel de *A. mellifera*.

La Figura 3 muestra los espectros FTIR de muestras de miel de *S. mexicana* adulteradas intencionalmente con sacarosa, fructosa, glucosa y miel de *A. mellifera* en proporciones del 10 al 60%, así como el estándar de los adulterantes en la región 1250 cm^{-1} a 750 cm^{-1} . En la Figura 3a se puede apreciar un incremento en la absorción en las bandas en 991 cm^{-1} y 923 cm^{-1} que son características en sacarosa; esto sucede conforme se va aumentando la concentración del adulterante respecto a la miel pura. Similar comportamiento se presentó en la Figura 3b en donde las bandas en absorción en 1184 cm^{-1} , 1053 cm^{-1} , 866 cm^{-1} y 817 cm^{-1} se incrementaron en intensidad al aumentar la adulteración con fructosa. Para la adulteración con glucosa se observó el incremento de la absorción en las bandas a 1020 cm^{-1} y 989 cm^{-1} (Figura 3c). Por otro lado, en las muestras adulteras con miel de *A. mellifera*, solo se observó un ligero aumento en la absorción en la banda a 1026 cm^{-1} (Figura 3d) con respecto a la miel pura.

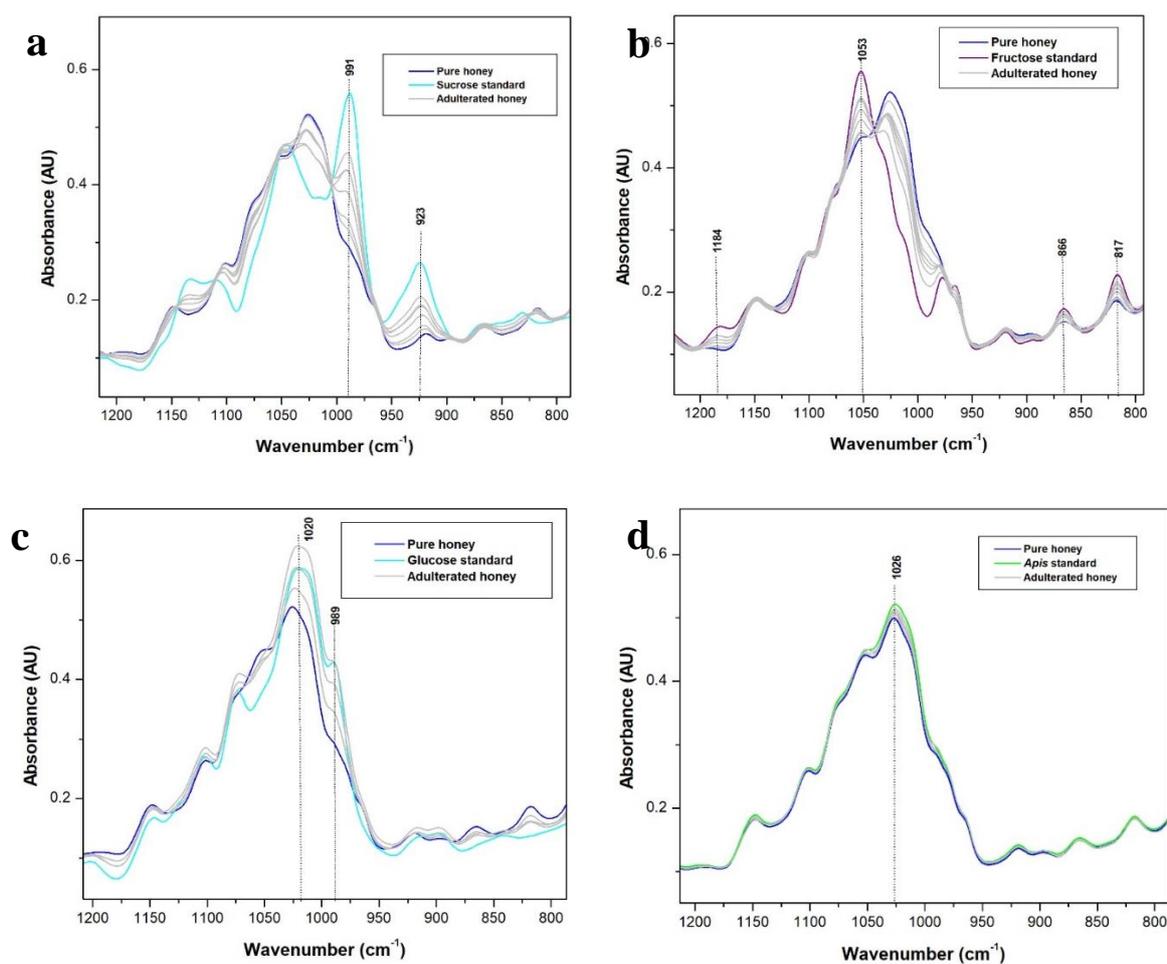


Figura 3. Espectros FTIR de muestras de miel de abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana* adulterada intencionalmente con estándares de (a) sacarosa, (b) fructosa, (c) glucosa y (d) *A. mellifera* en la región de 1250 a 750 cm^{-1} .

2.3.3 Clasificación de la miel pura y adulterada

De acuerdo con Wang *et al.* (2010) la región espectral entre los 800 y 1500 cm^{-1} cubre la mayoría de las bandas de absorción de los azúcares, sin embargo, en el presente estudio, las principales variaciones en los espectros FTIR de las muestras adulteradas para la región de los azúcares, se encontraron en el rango de 1200 a 800 cm^{-1} . Por lo que se seleccionó dicha región espectral como matriz de datos para realizar el análisis de componentes principales (PCA), y de esta forma obtener los graficos de puntaje. En la Figura 4 se observa el grafico de puntajes PCA para los primeros 3 componentes principales, se aprecia claramente la distribución espacial entre mieles de *S. mexicana* puras compradas directamente con meliponicultores, de aquellas mieles comerciales y

las que se adulteraron intencionalmente. Donde cada muestra se representa como un punto dentro del gráfico. Las contribuciones obtenidas para los primeros tres componentes principales en las muestras de miel adulterada son: PC1 (0.484), PC2 (0.331) y PC3 (0.166), dando un valor acumulativo de 0.981 para los tres componentes principales. Es posible observar en la Figura 4a y 4b que las mieles puras tanto de Córdoba como la de Cuetzalan se concentran en el centro del gráfico, y en el caso de las mieles adulteradas, en medida que se incrementan las concentraciones de los adulterantes se van distanciando de las mieles puras.

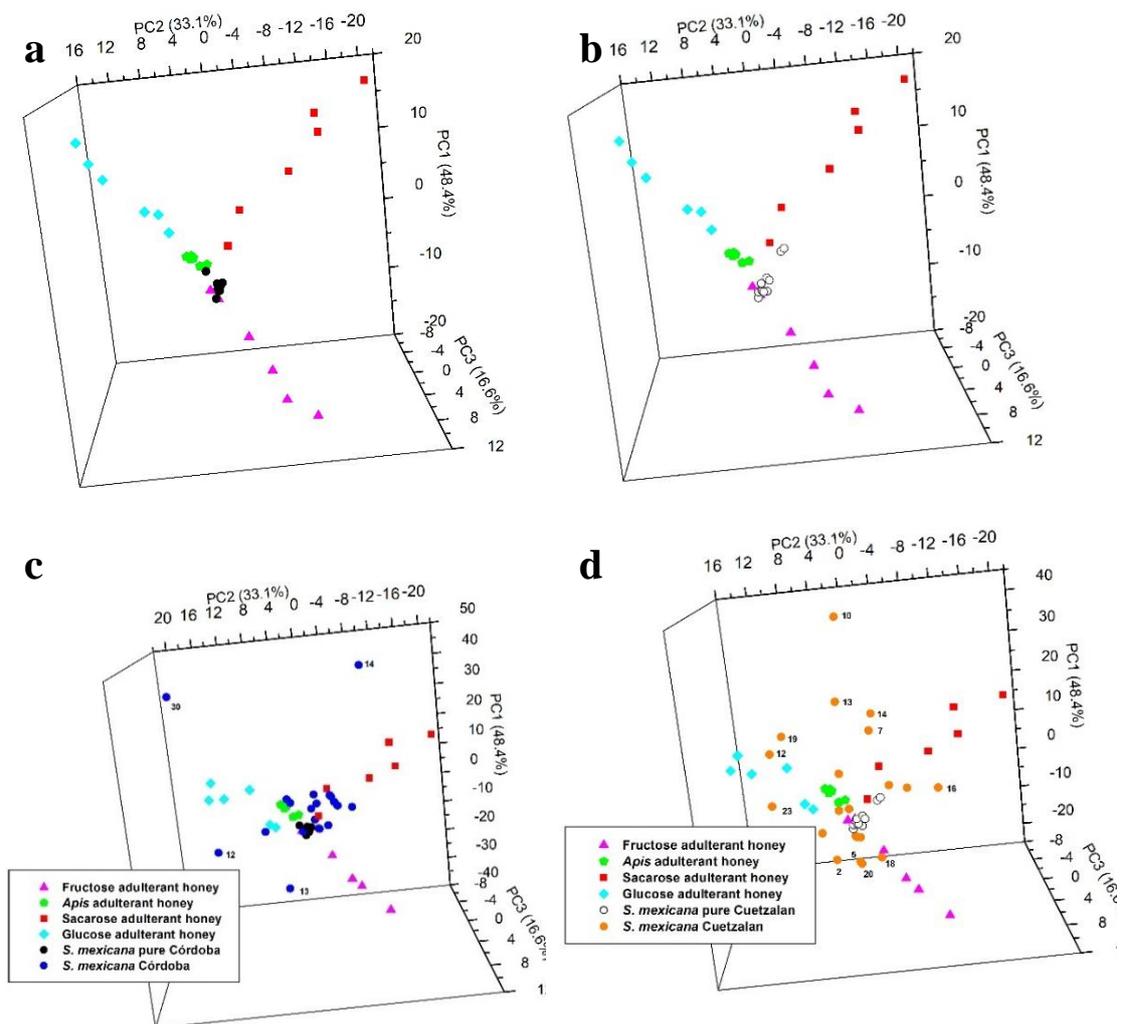


Figura 4. Gráficos de puntajes PCA (3D), de muestras de miel de *S. mexicana* puras de Córdoba (a), Cuetzalan (b), en contraste con mieles comerciales de Córdoba (c) y Cuetzalan (d), y muestras adulteradas con los estándares de sacarosa, fructosa, glucosa y miel de *A. mellifera*.

2.4 DISCUSIÓN

2.4.1 Mieles puras

Si bien se observó en la Figura 1, que las mieles puras de *S. mexicana* de Córdoba y Cuetzalan presentan bandas de absorción similares, las muestras de Cuetzalan presentan un ligero incremento en la absorción en las bandas 1716 cm^{-1} que corresponde a la flexión N – H (amida I) asociado a proteínas y 2933 cm^{-1} que corresponden a la banda de estiramiento NH₃ de los aminoácidos libres (Gallardo-Velázquez *et al.*, 2009; Sivakesava & Irudayaraj, 2001) y al estiramiento C– H de los ácidos carboxílicos (Movasaghi *et al.*, 2008). Este incremento en las bandas se ve reflejado en el aumento de la CE de las muestras de Cuetzalan en la Tabla 1, ya que la CE se asocia con el contenido de ácidos orgánicos y proteínas (da Silva *et al.*, 2016; Jimenez *et al.*, 2016), aunque en el análisis fisicoquímico esta diferencia en el valor de la CE no sea significativa.

2.4.2 Adulteración intencionada de la miel de abeja sin aguijón

La cantidad de humedad en la miel de abeja sin aguijón se presenta como una de sus características distintivas (Biluca *et al.*, 2016), pues suele ser superior al 20% que es el límite máximo establecido para *A. mellifera* (Vit *et al.*, 2004). El contenido de humedad mínimo observado para las muestras de miel adulteradas con glucosa (13.43%), el cual es similar al observado para muestras de *Melipona sp.* (13.86%) provenientes de Nigeria (Nweze *et al.*, 2017) y de *Trigona sp.* de Tailandia (13.26%). Mientras que el valor más alto de humedad (20.27%), producto de la adulteración con miel de *A. mellifera* está por debajo de lo reportado por Jiménez *et al.* (2016) (23.94%), y Espinoza-Toledo *et al.* (2017) (37.43%) para miel de *S. mexicana*. Si bien un aumento en el contenido de humedad en la miel puede ser un indicativo de adulteración (Julika *et al.*, 2020), los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que esto más bien depende del adulterante empleado y su concentración, siendo los adulterantes sacarosa y glucosa los que reducen el porcentaje de humedad en las muestras, pues estos azúcares en una alta concentración, integran las moléculas de agua a su estructura de cristalización reduciendo así la humedad en la muestra (Mathlouthi & Genotelle, 1998; Zamora & Chirife, 2006). Por su parte la concentración de glucosa al 40% inician con procesos de cristalización, debido a que, al aumentar la concentración de glucosa por arriba de la fructosa en la miel, esta tiende a cristalizar con mayor facilidad, ya que la glucosa es menos soluble en el agua (Escuredo *et al.*, 2014).

Por otra parte, los °Brix se asocian directamente con el contenido de azúcares presentes en la miel, un aumento considerable de este parámetro puede ser evidencia de una adulteración (Habib *et al.*, 2014). Sin embargo, en el presente trabajo se observó una disminución de este parámetro, para las muestras adulteradas con fructosa y *A. mellifera*, esto se debe a su mayor contenido de agua y por lo tanto menor contenido de azúcares disueltos. El valor mínimo de °Brix obtenidos de los adulterantes (72.73°Brix con el adulterante *A. mellifera*) es similar a lo obtenido por Sousa *et al.* (2016) en miel de *Melipona subnitida* (72.55°Brix) y por Jimenez *et al.* (2016) para miel de *S. mexicana* (72.76°Brix). En cuanto al valor máximo con la adulteración con sacarosa (73.86 °Brix) es similar a lo observado por Cardona *et al.* (2019) (73.77 °Brix) en miel de *Tetragonisca angustula*. Es importante destacar que una alta concentración de sacarosa en la miel, pueden deberse a una sobrealimentación con este disacárido (Anklam, 1998).

Un valor elevado de HMF puede considerarse como indicativo de adulteración, ya sea que se produzca por una adulteración asociada con un tratamiento térmico, como el calentamiento para disolver un azúcar a fin de formar un jarabe (Gebremariam & Brhane, 2014) o que el HMF se forme rápidamente al disolver cristales de azúcar en presencia de un ácido y el jarabe resultante adicionarlo a la miel (Chernetsova & Morlock, 2012; Singh & Singh, 2018). Los valores de HMF observados para las muestras adulteradas con estándares de sacarosa, fructosa y *A. mellifera* quedan dentro de los valores reportados por Grajales-Conesa *et al.* (2018) para *S. mexicana* en un rango de 8.33 mg/Kg a 16.4 mg/Kg; mientras que en las muestras adulteradas con glucosa el valor de HMF queda muy por debajo del valor más alto reportado de 78.5 mg/Kg para *Melipona solani* por este mismo autor. En el presente estudio no se pudo determinar las causas por las que el HMF tienda a oscilar; sin embargo, de acuerdo con Biluca *et al.* (2014) la miel de abeja sin aguijón es menos susceptible a la formación de HMF que la miel de *A. mellifera*, siendo necesario considerar otros factores como, el tipo de azúcar predominante, tiempo de almacenamiento, el pH, y el contenido de agua (Wang *et al.*, 2009).

El valor de la CE se asocia con el contenido de minerales, ácidos orgánicos y proteínas (da Silva *et al.*, 2016). La CE se modificó de acuerdo con el adulterante empleado, disminuyendo con los adulterantes sacarosa, fructosa y glucosa; esto se debe a que los azúcares son componentes no iónicos que provocan una disminución de la CE (Castro

et al., 2003). Los resultados obtenidos con los tres adulterantes mencionados concuerda con las observaciones reportadas por Gebremariam & Brhane, (2014) y Nikolova *et al.* (2012). Por su parte, el incremento de la CE al adulterar la miel con el estándar de *A. mellifera* se puede deber a que este adulterante le transfieren sus minerales y ácidos orgánicos a la miel empleada como base de la adulteración. Los valores de CE reportados en el presente estudio están en el intermedio de los reportados por Espinoza-Toledo *et al.* (2017), para *S. mexicana* (0.114 mS/cm a 1.211 mS/cm).

De acuerdo con lo observado en este estudio el color de la miel puede ser modificado en función del adulterante empleado. La variación del color en este estudio paso del ámbar (miel pura) al ámbar extra claro al emplear el estándar de la sacarosa y fructosa, aunque con el paso del tiempo la primera se precipito al fondo, tal como fue observado por Gameda & Negera (2017). Mientras que al adulterar con glucosa las muestras pasaron a ámbar claro. Cabe destacar que los colores ámbar extra claro o blanco solo se ha observado en mieles de abeja sin aguijón peruanas (Rodríguez-Malaver *et al.*, 2009) y tailandesas (Shamsudin *et al.*, 2019). Por su parte el color ámbar oscuro resultado de adicionar el estándar de miel *A. mellifera*, se ha observado en mieles peruanas (Rodríguez-Malaver *et al.*, 2009).

Los valores de pH tendieron a volverse básicos, lo cual concuerda con los trabajos realizados por Ribeiro *et al.* (2014) y Gebremariam & Brhane (2014). Este efecto probablemente se deba a que los ácidos orgánicos se diluyeron al adicionar los adulterantes. Mientras que las oscilaciones en los valores de pH concuerdan con lo observado por El-Biale & Sorour (2011), dicha oscilación puede deberse a que algunos componentes como ácidos orgánicos y proteínas se desnaturalicen a un determinado valor de pH. Independientemente de lo anterior, ninguno de los valores observados en las muestras adulteradas supera los valores reportados por Espinoza Toledo *et al.* (2017) para mieles de *S. mexicana* (pH 4.05).

Las bandas de absorción de la Figura 3 más intensas observadas en la región 1150 a 900 cm^{-1} corresponden a los modos de estiramiento C – O y C – C de los carbohidratos (Pataca *et al.*, 2007). El pico 991 cm^{-1} (Figura 3a) se asignó a los enlaces glucosídicos de la sacarosa (Vasko *et al.*, 1971). Mientras que el pico 1053 cm^{-1} (Figura 3b) se asocia con el estiramiento del enlace C – OH de la fructosa (Se *et al.*, 2018). Por su parte las

bandas de absorción características de la glucosa 1020 cm^{-1} y 989 cm^{-1} (Figura 3c), y el ligero incremento en la intensidad del pico 1026 cm^{-1} en las muestras adulteradas con miel de *A. mellifera* (Figura 3d) se pueden asociar al estiramiento C – OH y C – C de la glucosa (Kędzierska-Matysek *et al.*, 2018). Por consiguiente, los espectros FTIR de cada adulterante muestran bandas características, que son fácilmente identificables, con excepción de las muestras adulteradas con miel de *A. mellifera*, pues, aun cuando el adulterante procede de una especie de abeja distinta, ambas mieles pertenecen a la misma región geográfica.

2.4.3 Clasificación de la miel pura y adulterada

En la Figura 4 se observa claramente una dirección espacial propia para las muestras de miel adulteradas con sacarosa, fructosa y glucosa, donde las muestras con la mayor adulteración (60%), se encuentran más alejadas de la zona central, donde se ubican las muestras de miel de *S. mexicana* puras de ambas regiones (Córdoba y Cuetzalan) (Figura 4a y 4b). Es decir, las muestras adulteradas se alejan más de la zona central mientras aumenta la adulteración. También se puede observar que dos muestras puras de Cuetzalan se orientan hacia las muestras adulteradas con sacarosa, con ello se puede suponer una alimentación intencionada de las abejas con este disacárido. En cuanto a la adulteración realizada con *A. mellifera*, se observa una orientación hacia las muestras adulteradas con glucosa, esto probablemente de deba a que el contenido de este monosacárido es más alto en comparación con la miel de *S. mexicana*, cuyo contenido de fructosa es dominante (Rao *et al.*, 2016; Ávila *et al.*, 2018). El aumento en la concentración de glucosa también puede observarse en la Figura 3d. Por otro lado, las muestras comerciales de Córdoba número 12, 13, 14 y 30 se alejan de la región central y del patrón general de las muestras de dicha región, por lo que podemos suponer una posible adulteración. Con base en los adulterantes probados, podemos suponer que a la muestra 12 se le adiciono un edulcorante con una concentración más alta de glucosa, mientras que a la muestra 13 una proporción más alta de fructosa; la muestra 14 con un edulcorante cuya composición predomine glucosa y sacarosa, y la muestras 30 probablemente fue adulterada con una alta concentración de glucosa.

Por otro lado, las muestras comerciales adquiridas en los mercadillos muestran una dispersión considerable y lejana con respecto a las muestras puras de la misma región. Debido a que no podemos descartar una posible variabilidad natural en las mieles de esta

región, se consideró como muestras posiblemente adulteradas aquellas que sobrepasaron los primeros tres puntos de las muestras adulteradas intencionalmente, es decir aquellas muestras que sobrepasen el 30% de adición de los estándares de adulterantes. Dicho lo anterior las muestras 7, 10, 12, 13, 14, y 19 posiblemente fueron adulteradas con edulcorantes con proporciones variables de sacarosa y glucosa. Mientras que la muestra 16 pudiera estar adulterada con sacarosa y la muestra 18 con fructosa. En tanto las muestras 2, 5, 6, 20 y 23, es probable que contengan edulcorantes con diferentes proporciones de fructosa y glucosa. Con base en lo anterior PCA tiene un importante potencial para discriminar entre mieles de *S. mexicana* puras y aquellas adulteradas.

2.5 CONCLUSIONES

En el presente estudio, se mostró el potencial de la espectroscopia FTIR en combinación con PCA para detectar adulteraciones en mieles de abeja sin aguijón *S. mexicana*, con azúcares estándar como sacarosa, fructosa y glucosa, o de diversos tipos de edulcorantes, con combinaciones de estos azúcares, de los cuales se puede inferir su composición, de acuerdo con la ubicación espacial de los puntos dentro del gráfico, aunque no se logró identificar el edulcorante exacto. Por lo que PCA es un análisis cualitativo que permite discriminar y clasificar mieles de *S. mexicana* puras de aquellas adulteradas. En cuanto a las variaciones en los parámetros físicos y químicos la humedad, °Brix, CE y HMF son los que mejor pueden clasificar mieles adulteradas, mientras que los parámetros para diferenciar mieles de distintos orígenes geográficos son humedad y °Brix.

2.6 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por brindar el apoyo para el desarrollo de mi maestría y de la presente investigación. Al Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, al Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada - IPN Tlaxcala y a al Programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable del Campus Córdoba.

2.7 LITERATURA CITADA

Alves, R. M. de O., Carvalho, C. A. L. de, Souza, B. de A., Sodré, G. da S., & Marchini, L. C. (2005). Características físico-químicas de amostras de mel de *Melipona mandacaia* Smith (Hymenoptera: Apidae). *Food Science and Technology*, 25(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400004>

- Anjos, O., Campos, M. G., Ruiz, P. C., & Antunes, P. (2015). Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey. *Food Chemistry*, *169*, 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.138>
- Anklam, E. (1998). A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chemistry*, *63*(4), Art. 4. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00057-0)
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th edition, Vol. 1). AOAC International.
- Ayala, R., Gonzalez, V. H., & Engel, M. S. (2013). Mexican Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae): Diversity, Distribution, and Indigenous Knowledge. En P. Vit, S. R. M. Pedro, & D. Roubik (Eds.), *Pot-Honey: A legacy of stingless bees* (pp. 135-152). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4960-7_9
- Ayala, R., & Ortega, M. (2018). Declive de las abejas nativas en la región maya (2018). In Xolalpa et al. *Meliponicultura Liderazgo, Territorio y Tradición*. En *Ier coloquio de meliponicultura: Liderazgo, territorio y tradición* (pp. 55-69). Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo.
- Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, S., & Mora-Flores, S. (2015). Caracterización de la producción y del comercio de café en el Municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, *12*(2), 181-198.
- Biluca, F. C., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Physicochemical profiles, minerals and bioactive compounds of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*, *50*, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.007>
- Biluca, F. C., Della Betta, F., de Oliveira, G. P., Pereira, L. M., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2014). 5-HMF and carbohydrates content in stingless bee honey by CE before and after thermal treatment. *Food Chemistry*, *159*, 244-249. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.016>
- Bogdanov, S., Martin, P., & Lullmann, C. (1997). *Harmonised methods of the European Honey Commission*. *28*, 1-59.
- Castro, I., Teixeira, J. a., Salengke, S., Sastry, S. k., & Vicente, A. a. (2003). The influence of field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products. *Journal of Food Process Engineering*, *26*(1), 17-29. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2003.tb00587.x>
- Chernetsova, E. S., & Morlock, G. E. (2012). Assessing the capabilities of direct analysis in real time mass spectrometry for 5-hydroxymethylfurfural quantitation in honey. *International Journal of Mass Spectrometry*, *314*, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2012.01.012>
- Christoph, G. (2020). *Stingless Bees Their Behaviour, Ecology and Evolution*. Springer.

- Chuttong, B., Chanbang, Y., & Burgett, M. (2014). Meliponiculture. Stingless Bee Beekeeping In Thailand. *Bee World*, 91(2), 41-45. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2014.11417595>
- Cordella, C. B. Y., Militão, J., Clément, M.-C., Drajnudel, P., & Cabrol-Bass, D. (2005). Detection and quantification of honey adulteration via direct incorporation of sugar syrups or bee-feeding: Preliminary study using high-performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD) and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 531, 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.10.018>
- da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
- Damto, T. (2019). *A Review on Effect of Adulteration on Honey Properties* (SSRN Scholarly Paper ID 3359494; Número ID 3359494). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3359494>
- El-Biale, N. M., & Sorour, M. A. (2011). Effect of adulteration on honey properties. *International Journal of Applied Science and Technology*, 1(6), 122-133.
- Escuredo, O., Dobre, I., Fernández-González, M., & Seijo, M. C. (2014). Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. *Food Chemistry*, 149, 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.097>
- Espinoza Toledo, C., Vázquez-Ovando, A., Torres de Los Santos, R., López-García, J., Albores Flores, V., & Grajales Conesa, J. (2017). Miel de abejas nativas del Soconusco, Chiapas. En *La investigación universitaria y sus contribuciones en Mesoamérica* (pp. 41-56). <https://doi.org/10.2307/j.ctvtwx269.6>
- Fowler-Salamini, H. (2013). *Working Women, Entrepreneurs, and the Mexican Revolution: The Coffee Culture of Córdoba, Veracruz*. (Segunda edición). University of Nebraska Press.
- Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., Loa, M. Z., & Rivera-Espinoza, Y. (2009). Application of FTIR-HATR spectroscopy and multivariate analysis to the quantification of adulterants in Mexican honeys. *Food Research International*, 42(3), 313-318. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.11.010>
- Gebremariam, T., & Brhane, G. (2014). Determination Of Quality And Adulteration Effects Of Honey From Adigrat And Its Surrounding Areas. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, 2(10), 71-76.
- Gemeda, M., & Negera, T. (2017). Assessing the Effect of Adulteration on Honey and Beeswax Quality and Designing Way of Identification in Oromia. *International Journal of Research Studies in Biosciences*, 5(8), 34-39.

- González-Acereto, J., Quezada-Euan, J. J., & Medina-Medina, L. (2006). New perspectives for stingless beekeeping in the Yucatan: Results of an integral program to rescue and promote the activity. *Journal of Apicultural Research*, 47, 234-239. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.45.4.14>
- Grajales-Conesa, J., Ibarias-Toledo, C., Ruíz-Toledo, J., & Sánchez, D. (2018). Honey of stingless bees for the treatment of diabetic foot ulcers. *Salud Publica De Mexico*, 60(1), 102-104. <https://doi.org/10.21149/8604>
- Guler, A., Kocaokutgen, H., Garipoglu, A. V., Onder, H., Ekinci, D., & Biyik, S. (2014). Detection of adulterated honey produced by honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies fed with different levels of commercial industrial sugar (C₃ and C₄ plants) syrups by the carbon isotope ratio analysis. *Food Chemistry*, 155, 155-160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.033>
- Guzmán Díaz, M., Balboa Aguilar, C., Vandame, R., Albores González, M. L., & González Acereto, J. A. (2011). *Manejo de las abejas nativas sin aguijón en México, Melipona beecheii y Scaptotrigona mexicana. Manual técnico* (Primera edición). El Colegio de la Frontera Sur.
- Habib, H. M., Al Meqbali, F. T., Kamal, H., Souka, U. D., & Ibrahim, W. H. (2014). Physicochemical and biochemical properties of honeys from arid regions. *Food Chemistry*, 153, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.048>
- Huang, F., Song, H., Guo, L., Guang, P., Yang, X., Li, L., Zhao, H., & Yang, M. (2020). Detection of adulteration in Chinese honey using NIR and ATR-FTIR spectral data fusion. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 235, 118297. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118297>
- ICUMSA. (1964a). Chapter 5—Determination of Dry Substance: (Total Solids). En *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* (p. 166: 41-45). Elsevier Publishing Company.
- ICUMSA. (1964b). Chapter 7—Determination of colour and Turbidity. En *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* (p. 166: 55-59). Elsevier Publishing Company.
- Jimenez, M., Beristain, C. I., Azuara, E., Mendoza, M. R., & Pascual, L. A. (2016). Physicochemical and antioxidant properties of honey from *Scaptotrigona mexicana* bee. *Journal of Apicultural Research*, 55(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1205294>
- Kędzierska-Matysek, M., Matwiczuk, A., Florek, M., Barłowska, J., Wolanciuk, A., Matwiczuk, A., Chruściel, E., Walkowiak, R., Karcz, D., & Gładyszewska, B. (2018). Application of FTIR spectroscopy for analysis of the quality of honey. *BIO Web of Conferences*, 10, 02008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002008>

- Li, S., Shan, Y., Zhu, X., Zhang, X., & Ling, G. (2012). Detection of honey adulteration by high fructose corn syrup and maltose syrup using Raman spectroscopy. *Journal of Food Composition and Analysis*, 28(1), 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.07.006>
- Mathlouthi, M., & Genotelle, J. (1998). Role of water in sucrose crystallization Presented at the Second International Meeting of the Portuguese Carbohydrate Chemistry Group.1. *Carbohydrate Polymers*, 37(3), 335-342. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00079-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00079-4)
- Medina, C. M. (2015). Algunos cambios y perspectivas sobre meliponicultura en México. *VIII Congreso Mesoamericano de Abejas Nativas: Biología, Cultura y uso Sostenible, 26 al 31 de agosto de 2013*, 148-159.
- Michener, C. D. (2013). The Meliponini. En *Pot-Honey: A legacy of stingless bees* (pp. 3-17). Springer.
- Morales, V., Corzo, N., & Sanz, M. L. (2008). HPAEC-PAD oligosaccharide analysis to detect adulterations of honey with sugar syrups. *Food Chemistry*, 107(2), 922-928. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.050>
- Movasaghi, Z., Rehman, S., & ur Rehman, Dr. I. (2008). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy of Biological Tissues. *Applied Spectroscopy Reviews*, 43(2), 134-179. <https://doi.org/10.1080/05704920701829043>
- Naila, A., Flint, S. H., Sulaiman, A. Z., Ajit, A., & Weeds, Z. (2018). Classical and novel approaches to the analysis of honey and detection of adulterants. *Food Control*, 90, 152-165. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.02.027>
- Nikolova, K., Panchev, I., Sainov, S., Gentscheva, G., & Ivanova, E. (2012). Selected Physical Properties of Lime Bee Honey in Order to Discriminate Between Pure Honey and Honey Adulterated with Glucose. *International Journal of Food Properties*, 15(6), 1358-1368. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.521965>
- NMX-F-083-1986. (2006). *Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios*. studylib.es. <https://studylib.es/doc/5465578/nmx-f-083-1986.-alimentos.-determinación-de-humedad-en>
- Nogueira-Neto, P. (1997). *Vida e Criação de Abelhas Indígenas Sem Ferrão*. Nogueirapis.
- Nweze, J. A., Okafor, J. I., Nweze, E. I., & Nweze, J. E. (2017). Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of two stingless bee honeys: A comparison with *Apis mellifera* honey from Nsukka, Nigeria. *BMC Research Notes*, 10, 566. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2884-2>
- Ocampo Rosales, G. R. (2013). Medicinal Uses of Melipona beecheii Honey, by the Ancient Maya. En *Pot-Honey: A legacy of stingless bees* (pp. 229-240). Springer.
- Pataca, L. C. M., Borges Neto, W., Marcucci, M. C., & Poppi, R. J. (2007). Determination of apparent reducing sugars, moisture and acidity in honey by

- attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectrometry. *Talanta*, 71(5), 1926-1931. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.08.028>
- Quezada Euán, J. J. (2005). *Biología y uso de las abejas sin aguijón de la península de Yucatán, Mexico (Hymenoptera: Meliponini)*. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Ribeiro, R. de O. R., Mársico, E. T., Carneiro, C. da S., Monteiro, M. L. G., Júnior, C. C., & Jesus, E. F. O. de. (2014). Detection of honey adulteration of high fructose corn syrup by Low Field Nuclear Magnetic Resonance (LF 1H NMR). *Journal of Food Engineering*, 135, 39-43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.009>
- Rios-Corripio, M. A., Ríos-Leal, E., Rojas-López, M., & Delgado-Macuil, R. J. (2011). FTIR characterization of Mexican honey and its adulteration with sugar syrups by using chemometric methods. *Journal of Physics: Conference Series*, 274, 012098. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/274/1/012098>
- Rodríguez-Malaver, A., Rasmussen, C., Gutierrez, M., Gil, F., Nieves, B., & Vit, P. (2009). Properties of Honey from Ten Species of Peruvian Stingless Bees. *Natural product communications*, 4, 1221-1226. <https://doi.org/10.1177/1934578X0900400913>
- Se, K. W., Ghoshal, S. K., Wahab, R. A., Ibrahim, R. K. R., & Lani, M. N. (2018). A simple approach for rapid detection and quantification of adulterants in stingless bees (*Heterotrigona itama*) honey. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 105, 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.012>
- Shadan, A. F., Mahat, N. A., Wan Ibrahim, W. A., Ariffin, Z., & Ismail, D. (2017). Provenance Establishment of Stingless Bee Honey Using Multi-element Analysis in Combination with Chemometrics Techniques. *Journal of Forensic Sciences*, 63(1), 80-85. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13512>
- Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., A.R., S. B., Jambari, N. N., & Khatib, A. (2019). A Comparative Characterization of Physicochemical and Antioxidants Properties of Processed *Heterotrigona itama* Honey from Different Origins and Classification by Chemometrics Analysis. *Molecules*, 24(21), Art. 21. <https://doi.org/10.3390/molecules24213898>
- Singh, I., & Singh, S. (2018). Honey moisture reduction and its quality. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), Art. 10. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3341-5>
- Sivakesava, S., & Irudayaraj, J. (2001). Prediction of Inverted Cane Sugar Adulteration of Honey by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Science*, 66(7), 972-978. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb08221.x>
- Solayman, Md., Islam, Md. A., Paul, S., Ali, Y., Khalil, Md. I., Alam, N., & Gan, S. H. (2016). Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy

- Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 219-233. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12182>
- Sousa, J. M. B. de, Souza, E. L. de, Marques, G., Benassi, M. de T., Gullón, B., Pintado, M. M., & Magnani, M. (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.058>
- Souza, B., Roubik, D., Barth, O., Heard, T., Enríquez, E., Carvalho, C., Villas-Bôas, J., Marchini, L., Locatelli, J., Persano-Oddo, L., Almeida-Muradian, L., Bogdanov, S., & Vit, P. (2006). Composition of stingless bee honey: Setting quality standards. *Interciencia*, 31(12), 867-875.
- Tosun, M. (2013). Detection of adulteration in honey samples added various sugar syrups with ¹³C/¹²C isotope ratio analysis method. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1629-1632. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.068>
- Vasko, P. D., Blackwell, J., & Koenig, J. L. (1971). Infrared and raman spectroscopy of carbohydrates: Part I: Identification of O-H and C-H-related vibrational modes for D-glucose, maltose, cellobiose, and dextran by deuterium-substitution methods. *Carbohydrate Research*, 19(3), 297-310. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)86160-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)86160-1)
- Vit, P., Medina, M., & Enríquez, E. (2004). Quality standards for medicinal uses of Meliponinae honey in Guatemala, Mexico and Venezuela. *Bee World*, 85, 2-5. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2004.11099603>
- Wang, J., Kliks, M. M., Jun, S., Jackson, M., & Li, Q. X. (2010). Rapid Analysis of Glucose, Fructose, Sucrose, and Maltose in Honeys from Different Geographic Regions using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Multivariate Analysis. *Journal of Food Science*, 75(2), C208-C214. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01504.x>
- Wang, S., Guo, Q., Wang, L., Lin, L., Shi, H., Cao, H., & Cao, B. (2015). Detection of honey adulteration with starch syrup by high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 172, 669-674. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.044>
- Wang, Y., Rodolfo Juliani, H., Simon, J. E., & Ho, C.-T. (2009). Amino acid-dependent formation pathways of 2-acetylfuran and 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3[2H]-furanone in the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 115(1), 233-237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.014>
- Zamora, M. C., & Chirife, J. (2006). Determination of water activity change due to crystallization in honeys from Argentina. *Food Control*, 17(1), 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.09.003>

Zuccato, V., Finotello, C., Menegazzo, I., Peccolo, G., & Schievano, E. (2017). Entomological authentication of stingless bee honey by ¹H NMR-based metabolomics approach. *Food Control*, 82, 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.024>

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Conclusiones

La meliponicultura sigue formando parte del legado indígena en algunas zonas del país, tal es el caso de Cuetzalan del Progreso en Puebla, donde se maneja la especie de abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana*.

Cuetzalan se encuentra en un momento de revalorización de la meliponicultura debido al interés en la producción de miel de *S. mexicana*. No obstante, se enfrenta a un desafío que merma la confianza de los consumidores, la adulteración; tema que es conocido por varios meliponicultores de dicha región.

La adulteración intencionada de miel de la especie *S. mexicana* modifica de forma significativa algunos parámetros fisicoquímicos como la humedad, °Brix, HMF y CE, que definen el grado de adulteración de la miel, pero no identifican en su totalidad el adulterante.

Los cambios en los parámetros fisicoquímicos dependerán del adulterante empleado.

La espectroscopia FTIR permite observar las diferencias entre los espectros de mieles puras de *S. mexicana* y aquellas adulteradas, pues presentan variaciones en la intensidad de los picos de absorción característicos para los azúcares, en la región MIR de 1200 a 800 cm^{-1} .

La espectroscopia FTIR en combinación con PCA permite la clasificación y discriminación entre mieles puras de *S. mexicana* de aquellas adulteradas, con estándares de sacarosa, fructosa y glucosa, aunque no discrimina de forma evidente aquellas adulteradas con miel de *A. mellifera*.

Se identificó adulteración de la miel de abeja sin aguijón de *Scaptotrigona mexicana* en la región de estudio.

Recomendaciones

- Se recomienda un estudio transdisciplinario que permita comprender la meliponicultura de Córdoba, Ver. y Cuetzalan, Pue., México desde un enfoque holístico.
- Se recomienda utilizar otros diferentes edulcorantes comerciales, como los jarabes, para analizar el efecto de estos en la composición fisicoquímica de la miel de abeja sin aguijón *S. mexicana*, como se hace en miel de *Apis mellifera*.

- Se recomienda utilizar otras regiones del espectro del mediano infrarrojo para realizar el análisis de componentes principales (PCA), y discriminar de forma evidente, la miel pura de *S. mexicana* de aquellas adulteradas con miel de *A. mellifera*.
- Se recomienda realizar un estudio de análisis de mínimos cuadrados parciales (PLS) a los espectros de miel pura y adulterada para estimar la concentración de los principales azúcares dentro de la miel y su comportamiento.
- Se recomienda emplear la cromatografía líquida de alta resolución para validar los resultados obtenidos por FTIR y PLS.

ANEXOS

Anexo 1 del capítulo 2

A 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de *S. mexicana* colectadas.

Cuadro A1.1 Análisis fisicoquímicos de muestras puras de *A. mellifera* de Córdoba.

Muestra de miel puras <i>A. mellifera</i> Córdoba							
Zona	Fecha	Humedad	°Brix	HMF	CE	Color	pH
Atoyaquillo	Sep-21	15.44	79.23	17.90	1.161	87.00	4.51
Atzacan	Sep-21	14.86	78.46	16.10	1.325	87.66	4.20
Cañada Blanca	Sep-21	15.36	78.70	13.36	0.571	65.33	4.02
COLPOS	Sep-21	20.37	77.66	9.53	0.563	76.66	4.37
Ojo de Agua	Sep-21	14.45	78.86	13.06	0.574	55.33	4.38
Tezonapa	Sep-21	14.12	79.13	13.90	0.678	47.66	4.25
Cañada Blanca	Jun-22	12.48	87.66	13.10	0.655	81.36	4.35
Ojo de Agua	Jun-22	13.25	107.66	12.06	0.637	78.86	4.34
COLPOS	Jun-22	12.42	82.10	16.30	0.505	115.33	4.40
Córdoba	Jun-22	13.02	70.66	19.30	0.685	80.23	4.08
	Promedio	14.57	82.01	14.46	0.735	77.54	4.29
	DS	2.32	9.92	2.91	0.276	18.79	0.15

Cuadro A1.2 Análisis fisicoquímicos de muestras puras de *S. mexicana* de Córdoba.

Muestras de miel pura <i>S. mexicana</i> Córdoba							
Zona	Fecha	Humedad	°Brix	HMF	CE	Color	pH
Cañada Blanca	Nov-21	21.46	73.63	11.06	0.453	23.33	3.81
COLPOS	Nov-21	21.76	71.90	10.60	0.525	55.00	4.24
Ojo de agua	Nov-21	21.44	71.86	8.76	0.409	47.00	3.77
COLPOS	Ago-22	22.41	72.80	11.26	0.476	48.66	3.74
Ojo de agua	Ago-22	21.93	73.70	12.93	0.573	86.33	3.86
Amatlan	Ago-22	20.86	73.23	9.00	0.544	99.00	3.46
Amatlan	Ago-22	22.03	74.10	8.10	0.194	95.00	3.78
Colpos	Ago-22	21.06	76.60	9.56	0.538	22.00	3.62
Ojo de Agua	Ago-22	21.91	72.56	8.06	0.406	110.33	3.62
Cañada Blanca	Ago-22	24.84	70.13	10.76	0.550	84.66	3.75
Promedio		21.97	73.05	10.20	0.467	67.13	3.76
DS		1.10	1.70	1.57	0.112	31.94	0.20

Cuadro A.1.3 Análisis fisicoquímicos muestras comerciales *S. mexicana* Córdoba

Muestras de miel comercial <i>S. mexicana</i> Córdoba							
Zona	Fecha	Humedad	°Brix	HMF	CE	Color	pH
Ojo de Agua	Ago-22	20.69	74.73	7.36	0.532	48.66	3.71
Ojo de Agua	Ago-22	21.21	72.70	11.90	0.471	37.00	3.63
Córdoba	Ago-22	20.00	72.20	8.36	0.540	60.66	3.87
El Otate	Ago-22	23.63	69.30	21.30	0.472	33.66	3.90
Córdoba	Ago-22	20.78	73.40	9.16	0.586	70.00	3.88
COLPOS	Ago-22	20.15	73.33	9.80	0.417	68.33	3.76
Cañada Blanca	Ago-22	13.29	68.60	9.60	0.532	74.66	3.32
Amatlan	Ago-22	25.62	68.66	13.96	0.666	82.00	3.51
Córdoba	Ago-22	11.20	79.36	15.33	0.505	151.00	4.21
Córdoba	Ago-22	18.05	75.40	17.00	0.262	78.33	3.74
COLPOS	Ago-22	17.74	75.43	11.03	0.546	89.33	3.73
Ojo de Agua	Ago-22	21.71	72.10	11.63	0.412	113.66	3.64
Cañada Blanca	Ago-22	21.55	71.90	9.93	0.443	70.33	3.47
Ojo de Agua	Ago-22	20.88	70.13	10.76	0.550	84.66	3.75
Amatlan	Ago-22	21.99	75.33	12.33	0.503	79.33	3.64
Amatlan	Ago-22	15.06	74.26	7.56	0.502	94.33	3.65
El Otate	Ago-22	22.35	73.46	10.30	0.474	51.66	3.65
Amatlan	Ago-22	21.04	71.10	18.33	0.410	61.66	3.36
Amatlan	Ago-22	19.86	73.06	13.46	0.561	94.66	3.73
Córdoba	Ago-22	13.43	74.46	20.10	0.361	73.33	3.82
Córdoba	Ago-22	12.71	75.26	7.26	0.383	50.66	3.85
Córdoba	Ago-22	11.47	76.23	8.96	0.387	48.33	3.78
Promedio		18.83	73.20	12.06	0.478	73.46	3.70
SD		4.13	2.63	4.07	0.089	26.30	0.19

Cuadro A1.4 Análisis fisicoquímicos de muestras puras de *S. mexicana* de Cuetzalan, Puebla.

Muestras de miel puras <i>S. mexicana</i> Cuetzalan							
Zona	Fecha	Humedad	°Brix	HMF	C. E.	Color	pH
Cuetzalan centro	Nov-22	21.19	74.40	13.10	0.444	53.00	3.63
San Andrés Tzicuilan	Nov-22	23.37	70.60	6.90	0.523	44.00	3.43
San Andrés Tzicuilan	Nov-22	23.33	68.00	15.80	0.493	52.00	3.43
San Miguel Tzinacapan	Nov-22	22.13	71.60	7.10	0.821	55.00	3.56
San Miguel Tzinacapan	Nov-22	21.83	72.10	7.20	0.575	52.00	3.47

Yohualichan	Nov-22	22.86	69.70	7.20	1.336	63.00	3.58
Yohualichan	Nov-22	21.91	71.20	8.60	1.356	62.00	3.63
Yohualichan	Nov-22	22.21	70.80	7.80	1.256	75.00	3.65
Yohualichan	Nov-22	23.49	70.30	8.60	1.279	80.00	3.61
Yohualichan	Nov-22	23.23	70.70	6.30	0.884	61.00	3.47
Promedio		22.555	70.94	8.86	0.896	59.70	3.54
DS		0.80	1.65	3.09	0.379	11.03	0.08

Cuadro A1.5 Análisis fisicoquímicos de muestras comerciales de *S. mexicana* de Cuetzalan, Puebla.

Muestras comerciales <i>S. mexicana</i> Cuetzalan							
Zona	Fecha	Humedad	°Brix	HMF	CE	Color	pH
Tosepan zona Nahuatl 2021	Nov-22	22.78	71.10	6.20	0.961	60.00	3.56
Tosepan zona Nahuatl 2018	Nov-22	23.28	71.30	37.10	0.668	59.00	3.57
Tosepan zona Totonaka 2021	Nov-22	23.20	56.80	6.40	0.456	67.00	3.67
Chicahuaxtla	Nov-22	22.47	71.00	8.00	0.606	92.00	3.81
Cuetzalan	Nov-22	25.57	69.40	41.80	0.546	66.00	3.22
Cuetzalan	Nov-22	24.39	68.10	7.20	1.041	62.00	3.01
San Miguel Tzinacapan	Nov-22	20.59	74.40	7.60	0.330	40.00	3.51
San Miguel Tzinacapan	Nov-22	23.32	67.10	7.10	0.996	56.00	3.55
San Miguel Tzinacapan	Nov-22	22.02	70.90	6.70	0.708	57.00	3.49
Xiloxochico de Rafael Ávila	Nov-22	14.28	78.80	9.50	0.601	57.00	3.56
Yohualichan	Fecha	23.19	71.20	7.60	1.232	79.00	3.56
Santiago Yancuitalpan	Nov-22	22.99	70.30	7.70	0.823	66.00	3.41
Tenango Zacatipan	Nov-22	15.08	79.20	9.50	0.315	47.00	3.79
Tenango Zacatipan	Nov-22	14.96	78.20	8.70	0.308	47.00	3.77
Tenango Zacatipan	Nov-22	14.23	79.30	8.60	0.299	46.00	3.54
Reyeshogpan	Nov-22	22.34	71.70	8.20	0.881	46.00	3.56
Pinahuista	Nov-22	21.32	70.80	6.10	0.719	50.00	3.39
Tepetzingo	Nov-22	22.93	70.80	6.40	0.566	57.00	3.38
Xalcuahuta	Nov-22	21.99	71.00	7.70	0.001	61.00	3.77
Tixapan	Nov-22	22.33	69.90	7.20	0.747	64.00	3.20
Tacuapan	Nov-22	12.37	68.30	7.30	1.004	70.00	3.78
Puebla	Nov-22	17.60	78.10	71.20	0.559	101.00	3.87
Promedio		20.60	71.71	13.35	0.653	61.36	3.54
DS		4.08	4.38	20.09	0.309	17.07	0.22

ANEXO 2.

Cuadro A2.1 Parametros fisicoquímicos de la miel de abeja sin aguijón por especie.

Especie	N.	Humedad (g/100g)	Acidez libre (mEq/Kg)	pH	HMF (mg/Kg)	Cenizas (g/100g)	País	Referencia
<i>Cephalotrigona capitata</i>	1	27.00	31.50	3.62	3.40	0.52	Brasil	Almeida & Marchini, 2004
<i>Frieseomelitta aff varia</i>	7	19.90	73.00		1.10	0.76	Venezuela	Vit <i>et al.</i> 1994
<i>Geniotrigona thoracica</i>	1	28.17		3.36			Malasia	Abu Bakar <i>et al.</i> 2017
<i>Geniotrigona thoracica</i>	1	26.40					Malasia	Julika <i>et al.</i> , 2020
<i>Heterotrigona itama</i>	1	28.43		3.32		0.438	Malasia	Abu Bakar <i>et al.</i> 2017
<i>Heterotrigona itama</i>	1	30.30					Malasia	Julika <i>et al.</i> , 2020
<i>Heterotrigona itama</i>	3					0.08	Malasia	Kek <i>et al.</i> 2017
<i>Heterotrigona itama</i>	3	23.75	176.67	3.15	0.04		Malasia	S. Shamsudin, Selamat <i>et al.</i> , 2019
<i>Homotrigona fimbriata</i>	1	41.00	528.00	3.30	46.00	1.00	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Hypotrigona sp.</i>	3	17.50	35.57	3.75	16.58		Nigeria	Nweze <i>et al.</i> , 2017
<i>Lepidotrigona doipaensis</i>	2	31.50	197.50	3.50	2.30	0.512	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lepidotrigona flavibasis</i>	4	28.00	168.00	3.70	8.50	0.51	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lepidotrigona terminata</i>	1	30.00	194.00	3.50		0.245	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016

<i>Lisotrigona furva</i>	2	28.00	53.00	3.60	0.215	0.183	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona asilvai</i>	11	29.50	41.60	3.27	2.40		Brasil	Souza <i>et al.</i> , 2004
<i>Melipona beecheii</i>	8	28.62	41.52	3.20	9.23	0.46	Cuba	Alvarez-Suarez <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona beecheii</i>	1	26.51		4.26			Nigeria	Onyenso <i>et al.</i> , 2011
<i>Melipona beecheii</i>	1	24.00	28.00	4.50	64.80		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Melipona beecheii</i>	2	37.06	29.89	3.04	Nd		México	Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona beecheii</i>	1	27.00	5.90	4.18	5.40		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Melipona bicolor</i>	5	34.68	91.62	3.766	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> 2016
<i>Melipona capixaba</i>	9	30.51	79.28	3.62			Brasil	Lage <i>et al.</i> , 2012
<i>Melipona compressipes</i>	2	26.70	23.88	3.74			Brasil	Almeida-Muradian <i>et al.</i> , 2007
<i>Melipona compressipes</i>	7	22.47	28.16	4.01		0.11	Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona compressipes</i>	1	22.30	25.10	3.65	35.80		Brasil	Gonnet <i>et al.</i> , 1964
<i>Melipona compressipes</i>	8	24.60	39.00	3.46	1.20	0.22	Brasil	Villas <i>et al.</i> , 2004
<i>Melipona compressipes</i>	1	25.00	45.80	4.06	30.50		Brasil	Souza <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona compressipes</i>	5	23.40	48.40		1.00	0.30	Venezuela	Vit <i>et al.</i> 1994
<i>Melipona crinita</i>	2	28.80					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona ebúrnea</i>	1	23.80					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona fasciculata</i>	20	25.45	29.05	4.35		0.32	Brasil	Fernandes <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona fasciculata</i>	4	29.03	18.91	4.56	17.81		Brasil	Lemos <i>et al.</i> , 2017

<i>Melipona favosa</i>	7	25.04	40.46	3.59	9.38	0.14	Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona favosa</i>	14	25.20	62.90		1.20	0.29	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994
<i>Melipona favosa</i>	6	24.20	36.80		17.10	0.15	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona flavolineata</i>	4	35.11	143.67	3.41	34.62		Brasil	Lemos <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona fuscipes</i>	7	26.75	34.13	3.71		0.17	Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona grandis</i>	5	27.50					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona ilota</i>	1	28.00					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona lateralis kangarumensis</i>	3	28.80	40.70		3.90	0.11	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona mandacaia</i>	20	28.80	43.50	3.27	5.80		Brasil	Alves <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona marginata</i>	6	32.65	79.82	3.67	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona mondury</i>	11		61.51	4.19			Brasil	Lage <i>et al.</i> , 2012
<i>Melipona mondury</i>	2	29.75	61.10	5.19	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona mondury</i>	3	29.97	37.89	3.50	51.38	0.25	Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Melipona paraensis</i>	4	26.40	30.40	4.29	3.40	0.14	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1	56.27	66.90	3.71	0.60	0.48	Brasil	Avila <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona quadrifasciata</i>	12	32.47	42.53	3.71	5.20		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1	25.20	6.25	6.64	1.27	0.393	Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1	30.00	28.00	3.74	1.45	0.146	Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1	34.00	16.50	4.52	1.00	0.54	Brasil	Almeida & Marchini, 2004

<i>Melipona quadrifasciata</i>	4	36.89	35.00	3.18	42.63	0.16	Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Melipona quadrifasciata anthidioides</i>	1	41.90	103.30	3.35	31.50		Brasil	Gonnet <i>et al.</i> , 1964
<i>Melipona rufiventris</i>	7		42.00	4.24			Brasil	Lage <i>et al.</i> , 2012
<i>Melipona rufiventris mondury</i>	1	27.70	38.20	4.21	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona scutellaris</i>	1	23.40	28.70	4.52	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona scutellaris</i>	2	28.00	40.38	3.55	1.77	0.181	Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona scutellaris</i>	1	25.30	28.30	4.66	18.90	0.17	Brasil	Evangelista <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona scutellaris</i>	6	28.40	8.90	3.15	0.40	0.01	Brasil	Marchini <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona scutellaris latrelle</i>	12	25.50	42.75	3.83		0.165	Brasil	Sousa <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona seminigra</i>	2	30.40	26.54	3.78			Brasil	Almeida-Muradian <i>et al.</i> , 2007
<i>Melipona seminigra</i>	8	26.00	79.00	3.53	0.80	0.15	Brasil	Villas <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona solani</i>	1	25.00	85.00	4.00	78.50		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Melipona solani</i>	3	36.83	52.92	3.49	1.67		México	Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona sp.</i>	16	38.70	35.70	3.60	8.60	0.38	Brasil	Do Vale <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona sp.</i>	9	24.46		3.24		0.098	Brasil	Gomes <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona sp.</i>	3	13.86	12.59	4.21	5.50		Nigeria	Nweze <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona subnitida</i>	24	24.80	32.49		7.56	0.02	Brasil	Almeida-Muradian <i>et al.</i> , 2013
<i>Melipona subnitida ducke</i>	12	26.40	42.65	3.95		0.198	Brasil	Sousa <i>et al.</i> , 2016

<i>Melipona trinitatis</i>	4	25.70	24.20		1.30	0.12	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994
<i>Nannotrigona melanocera</i>	1	33.40					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Nannotrigona sp.</i>	5	30.20	61.50	3.99		0.25	Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Partamona epiphytophila</i>	1	45.80					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Partamona sp.</i>	1	34.10	23.70	3.42	2.40		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Pleibeia droryana</i>	1	31.00	52.00	3.38	7.60	1.18	Brasil	Almeida & Marchini, 2004
<i>Ptilotrigona lurida</i>	1	35.20					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Scaptotrigona bicuntata</i>	2	23.95	48.95	4.48	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Scaptotrigona depilis</i>	3	<25	98.43	3.40	27.75	0.18	Brasil	Oliveira <i>et al.</i> 2013
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	12	23.94		3.75	12.61	0.499	México	Jimenez <i>et al.</i> 2016
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	4	37.43	89.14	4.05	0.77		México	Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	4	24.70	76.70	4.05	42.00		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Scaptotrigona pachysoma</i>	1	26.90	6.60	3.94	1.10		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Scaptotrigona polystica</i>	1	33.00					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Scaptotrigona postica</i>	1	26.50	83.70	3.40	18.90		Brasil	Gonnet <i>et al.</i> , 1964
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	3	29.84	28.78	3.58	58.27	0.21	Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Scaptotrigona sp.</i>	5	31.01	43.64	3.67	4.01	0.07	Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Scaptotrigona sp.</i>	3	30.22	60.98	3.89	24.71		Brasil	Lemos <i>et al.</i> , 2017

<i>Scaura latitarsis</i>	1	20.80					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetragona carbonaria</i>	8	26.50	128.90	4.00	1.20	0.48	Australia	Oddo <i>et al.</i> , 2008
<i>Tetragona clavipes</i>	1	25.20	91.20	4.28	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonilla collina</i>	1	28.00	25.00	3.90	5.90	0.245	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonisca angustula</i>	28	24.00	79.00	3.72			Argentina	Puciarelli <i>et al.</i> , 2014
<i>Tetragonisca angustula</i>	20	24.37	45.23	4.10	9.39	0.39	Brasil	Anacleto <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetragonisca angustula</i>	1	28.90					Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetragonisca angustula</i>	3	23.20	48.30		9.80	0.38	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Tetragonisca angustula</i>	5	26.00			5.00		Brasil	Rodrigues <i>et al.</i> , 1998
<i>Tetragonisca angustula</i>	1	25.50	26.00	3.69	8.10	0.32	Brasil	Almeida & Marchini, 2004
<i>Tetragonisca angustula</i>	1	26.70	7.70	3.88	4.30		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Tetragonisca angustula</i>	25	23.70	109.00	3.80		0.45	Brasil	Denadai <i>et al.</i> , 2002
<i>Tetragonisca angustula</i>	4	23.20	57.50	4.35	39.10		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Tetragonisca angustula</i>	4	25.99	27.00	4.08	27.99	0.33	Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Tetragonula fuscobalteata</i>	2	26.00	96.50	3.70	22.00	0.67	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonula laeviceps</i>	19	26.98	81.37	3.62	1.07	0.27	Tailandia	Suntiparapop <i>et al.</i> , 2012
<i>Tetragonula laeviceps-pagdeni complex</i>	10	28.00	76.00	3.60	5.40	0.22	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016

<i>Tetragonula testaceitarsis</i>	2	30.50	70.50	3.60	2.95	0.205	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetrigona apicalis</i>	2	42.00	495.00	3.20	0.26	1.40	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetrigona melanoleuca</i>	1	43.00	592.00	3.40	28.00	3.10	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Trigona angustula</i>	5	24.59	45.66	4.12		0.42	Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Trigona angustula latreille</i>	44	24.30	39.20	4.20	1.30	0.205	Colombia	Fuenmayor <i>et al.</i> , 2012
<i>Trigona fuscipennis</i>	1	34.40	46.70	3.44	<0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Trigona nigra</i>	5	28.18	35.11	3.30	8.76	0.84	Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Trigona sp.</i>	1	13.26	78.14	3.35	3.18	0.20	Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
<i>Trigonalaeviceps Smith</i>	1	15.73	50.83	3.44	3.32	0.14	Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
<i>Trigonapagdenis Schwarz</i>	1	14.66	20.00	4.01	3.97	0.22	Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
PROMEDIO	592	28.20	70.22	3.80	12.04	0.38		
Desviación estándar		6.22	93.48	0.51	16.81	0.44		

Fuente: modificado de Nordin *et al.*, 2018.

Cuadro A2.2 Complemento parametros fisicoquímicos de la miel de abeja sin aguijón por especie.

Especie	N.	Diastasa (DN)	Invertasa (IU)	Cenizas (g/100g)	CE (mS/cm)	Color (pFund)	País	Referencia
<i>Cephalotrigona capitata</i>	1			0.52			Brasil	Almeida & Marchini, 2004
<i>Frieseomelitta aff varia</i>	7	7.80		0.76			Venezuela	Vit <i>et al.</i> 1994

<i>Geniotrigona thoracica</i>	1	5.87					Malasia	Julika <i>et al.</i> , 2020
<i>Heterotrigona itama</i>	1			0.438			Malasia	Abu Bakar <i>et al.</i> 2017
<i>Heterotrigona itama</i>	1	5.85					Malasia	Julika <i>et al.</i> , 2020
<i>Heterotrigona itama</i>	3			0.08			Malasia	Kek <i>et al.</i> 2017
<i>Heterotrigona itama</i>	3					28.18	Malasia	S. Shamsudin, Selamat <i>et al.</i> , 2019
<i>Homotrigona fimbriata</i>	1			1.00	2.60		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Hypotrigona sp.</i>	3				0.303		Nigeria	Nweze <i>et al.</i> , 2017
<i>Lepidotrigona doipaensis</i>	2	1.60		0.512	1.193		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lepidotrigona flavibasis</i>	4	3.10		0.51	1.30		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lepidotrigona terminata</i>	1	0.29		0.245	0.78		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lisotrigona furva</i>	2			0.183	0.345		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona beecheii</i>	8	1.30		0.460	0.58		Cuba	Alvarez-Suarez <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona beecheii</i>	1				0.55		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Melipona beecheii</i>	2	3.74			0.121		México	Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona beecheii</i>	1				0.66		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Melipona bicolor</i>	5	<3.00			0.576		Brasil	Biluca <i>et al.</i> 2016
<i>Melipona compressipes</i>	7	3.22		0.11	0.35		Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona compressipes</i>	8	7.90		0.22			Brasil	Villas <i>et al.</i> , 2004
<i>Melipona compressipes</i>	1				8.77		Brasil	Souza <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona compressipes</i>	5	1.10		0.30			Venezuela	Vit <i>et al.</i> 1994
<i>Melipona crinita</i>	2					88.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona ebúrnea</i>	1					103.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona fasciculata</i>	20			0.32			Brasil	Fernandes <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona favosa</i>	7	2.12		0.14	0.44		Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona favosa</i>	14	0.90		0.29			Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994
<i>Melipona favosa</i>	6	2.90	90.10	0.15	2.06		Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998

<i>Melipona fuscipes</i>	7	4.52		0.17	0.56		Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona grandis</i>	5					38.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona ilota</i>	1					26.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona lateralis kangarumensis</i>	3	2.80	58.90	0.11	1.65		Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona mandacaia</i>	20				3.52		Brasil	Alves <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona marginata</i>	6	<3.00			0.437		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona mondury</i>	2	13.50			0.69		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona mondury</i>	3	22.43		0.25	0.51		Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Melipona paraensis</i>	4	2.90	19.80	0.14	1.37		Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1			0.48			Brasil	Avila <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona quadrifasciata</i>	12	<3.00			0.335		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1	1.40		0.393	0.596		Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1	2.14		0.146	0.217		Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona quadrifasciata</i>	1			0.54			Brasil	Almeida & Marchini, 2004
<i>Melipona quadrifasciata</i>	4			0.16	0.58		Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Melipona rufiventris mondury</i>	1	<3.00			0.25		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona scutellaris</i>	1	<3.00			0.15		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona scutellaris</i>	2	2.59		0.181	0.268		Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona scutellaris</i>	1			0.17			Brasil	Evangelista <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona scutellaris</i>	6			0.01	3.39		Brasil	Marchini <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona scutellaris latrelle</i>	12			0.165	0.524	74.83	Brasil	Sousa <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona seminigra</i>	8	5.00		0.15			Brasil	Villas <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona solani</i>	1				0.62		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Melipona solani</i>	3	6.83			0.28		México	Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona sp.</i>	16	15.63		0.38	0.392		Brasil	Do Vale <i>et al.</i> , 2017

<i>Melipona sp.</i>	9			0.098			Brasil	Gomes <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona sp.</i>	3				0.238		Nigeria	Nweze <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona subnitida</i>	24			0.02	0.102	70.00	Brasil	Almeida-Muradian <i>et al.</i> , 2013
<i>Melipona subnitida ducke</i>	12			0.198	0.514	60.23	Brasil	Sousa <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona trinitatis</i>	4	1.00		0.12			Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994
<i>Nannotrigona melanocera</i>	1					150.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Nannotrigona sp.</i>	5	3.78		0.25	0.78		Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Partamona epiphytophila</i>	1					78.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Partamona sp.</i>	1				0.81		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Pleibeia droryana</i>	1			1.18			Brasil	Almeida & Marchini, 2004
<i>Ptilotrigona lurida</i>	1					120.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Scaptotrigona bicuntata</i>	2	4.34			0.63		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Scaptotrigona depilis</i>	3			0.18			Brasil	Oliveira <i>et al.</i> , 2013
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	12			0.499	0.285		México	Jimenez <i>et al.</i> , 2016
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	4	3.51			0.728		México	Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	4				0.76		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Scaptotrigona pachysoma</i>	1				0.49		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Scaptotrigona polystica</i>	1					128.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Scaptotrigona postica</i>	1		24.60				Brasil	Gonnet <i>et al.</i> , 1964
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	3	0.62		0.21	0.62		Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Scaptotrigona sp.</i>	5	3.16		0.07	0.19		Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Scaura latitarsis</i>	1					130.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetragona carbonaria</i>	8	0.40	5.70	0.48	1.64	84.60	Australia	Oddo <i>et al.</i> , 2008
<i>Tetragona clavipes</i>	1	19.10			1.01		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016

<i>Tetragonilla collina</i>	1	0.34		0.245	0.435		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonisca angustula</i>	28						Argentina	Puciarelli <i>et al.</i> , 2014
<i>Tetragonisca angustula</i>	20	32.28		0.39	0.134		Brasil	Anacleto <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetragonisca angustula</i>	1					150.00	Peru	Rodriguez <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetragonisca angustula</i>	3	23.00	50.1	0.38	7.32		Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Tetragonisca angustula</i>	5	17.90					Brasil	Rodrigues <i>et al.</i> , 1998
<i>Tetragonisca angustula</i>	1			0.32			Brasil	Almeida & Marchini, 2004
<i>Tetragonisca angustula</i>	1				0.78		México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Tetragonisca angustula</i>	25			0.45			Brasil	Denadai <i>et al.</i> , 2002
<i>Tetragonisca angustula</i>	4				1.10		México	Grajales <i>et al.</i> , 2001
<i>Tetragonisca angustula</i>	4	22.43		0.33	0.72		Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Tetragonula fuscobalteata</i>	2	4.70		0.67	1.35		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonula laeviceps</i>	19			0.27	0.62		Tailandia	Suntiparapop <i>et al.</i> , 2012
<i>Tetragonula laeviceps-pagdeni complex</i>	10	0.63		0.22	0.587		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonula testaceitarsis</i>	2	0.22		0.205	0.59		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetrigona apicalis</i>	2	4.90		1.40	2.60		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetrigona melanoleuca</i>	1	0.15		3.10	2.80		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Trigona angustula</i>	5	13.13		0.42	0.80		Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Trigona angustula latreille</i>	44	16.70		0.205	0.658		Colombia	Fuenmayor <i>et al.</i> , 2012
<i>Trigona fuscipennis</i>	1	<3.00			0.31		Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Trigona nigra</i>	5	2.57		0.84	1.84		Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Trigona sp.</i>	1	16.67		0.20	0.57		Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
<i>Trigonalaeviceps Smith</i>	1	13.64		0.14	0.57		Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
<i>Trigonapagdenis Schwarz</i>	1	11.11		0.22	0.45		Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013

PROMEDIO	5.30	6.58	41.53	0.38	1.04	88.59		
Desviación estándar		7.30	30.91	0.44	1.45	41.06		

Fuente: modificado de Nordin *et al.*, 2018.

Cuadro A2.3 Perfil de azúcares de la miel de abeja sin aguijón por especie.

Especie	N.	°Brix	Azúcares reductores (g/100g)	Fructosa (g/100g)	Glucosa (g/100g)	Maltosa (g/100g)	Sacarosa (g/100g)	País	Referencia
<i>Frieseomelitta aff varia</i>	7		61.00				4.80	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994
<i>Geniotrigona thoracica</i>	1		29.64	12.01	17.63	35.30		Malasia	Tukshita <i>et al.</i> , 2018
<i>Geniotrigona thoracica</i>	1		71.52					Malasia	Abu Bakar <i>et al.</i> , 2017
<i>Geniotrigona thoracica</i>	1		27.20	15.03	12.17		<0.01	Malasia	Julika <i>et al.</i> , 2020
<i>Heterotrigona itama</i>	1		40.50	19.50	21.00	33.70		Malasia	Tukshita <i>et al.</i> , 2018
<i>Heterotrigona itama</i>	1		70.74					Malasia	Abu Bakar <i>et al.</i> , 2017
<i>Heterotrigona itama</i>	1		35.50	17.50	16.00		<0.01	Malasia	Julika <i>et al.</i> , 2020
<i>Heterotrigona itama</i>	3		24.99	15.77	9.22		32.33	Malasia	Kek <i>et al.</i> , 2017
<i>Heterotrigona itama</i>	3		72.16	22.13	22.04	0.89	27.71	Malasia	S. Shamsudin, Selamat <i>et al.</i> , 2019
<i>Heterotrigona erythrogastra</i>	1		27.20	12.30	14.90	45.20		Malasia	Tukshita <i>et al.</i> , 2018

<i>Homotrigona fimbriata</i>	1		22.00	7.40	15.00			Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Hypotrigona sp.</i>	3		60.49				1.83	Nigeria	Nweze <i>et al.</i> , 2017
<i>Lepidotrigona doipaensis</i>	2		38.50	12.00	11.90			Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lepidotrigona flavibasis</i>	4		68.00	16.00	13.00	39.00		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lepidotrigona terminata</i>	1		66.00	8.10	4.90	53.00		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Lisotrigona furva</i>	2		62.50	33.50	26.50	0.60		Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona asilvai</i>	11		68.90				4.70	Brasil	Souza <i>et al.</i> , 2004
<i>Melipona beecheii</i>	1		69.21				1.60	Nigeria	Onyenso <i>et al.</i> , 2011
<i>Melipona beecheii</i>	1		68.00				1.60	México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Melipona beecheii</i>	2		69.64						Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona bicolor</i>	5	64.56	60.14	32.84	27.22		< 0.074	Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona capixaba</i>	9	68.23							Lage <i>et al.</i> , 2012
<i>Melipona compressipes</i>	2			31.38	29.02		0.15	Brasil	Almeida-Muradian <i>et al.</i> , 2007
<i>Melipona compressipes</i>	7	76.48						Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona compressipes</i>	8		65.30				3.50	Brasil	Villas <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona compressipes</i>	5		75.70				1.60	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994
<i>Melipona fasciculata</i>	20		51.35					Brasil	Fernandes <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona fasciculata</i>	4		70.57				2.17	Brasil	Lemos <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona favosa</i>	7		72.98					Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona favosa</i>	14		72.10				1.50	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994

<i>Melipona favosa</i>	6		70.30				2.00	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona flavolineata</i>	4		59.31				5.52	Brasil	Lemos <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona fuscipes</i>	7	71.74						Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Melipona lateralis kangarumensis</i>	3		64.80				1.10	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona mandacaia</i>	20		74.80				2.90	Brasil	Alves <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona marginata</i>	6	66.32	64.49	36.25	28.24		< 0.074	Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona mondury</i>	2	69.35						Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona mondury</i>	11	68.09							Lage <i>et al.</i> , 2012
<i>Melipona mondury</i>	3		67.77				0.85	Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Melipona paraensis</i>	4		60.8				1.20	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Melipona quadrfasciata</i>	1		48.32				1.78	Brasil	Avila <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona quadrfasciata</i>	12	66.43	61.77	34.71	27.42			Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona quadrfasciata</i>	2		60.24				1.30	Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona quadrfasciata</i>	4		71.63				0.85		Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Melipona rufiventris</i>	7	74.12							Lage <i>et al.</i> , 2012
<i>Melipona rufiventris mondury</i>	1	71.70	65.60	35.60	30.10		< 0.074	Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona scutellaris</i>	1	75.80	62.70				< 0.074	Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona scutellaris</i>	2		55.45				2.14	Brasil	Carvalho <i>et al.</i> , 2009
<i>Melipona scutellaris latrelle</i>	12	73.15	67.38	54.30	42.43		2.40	Brasil	Sousa <i>et al.</i> , 2016

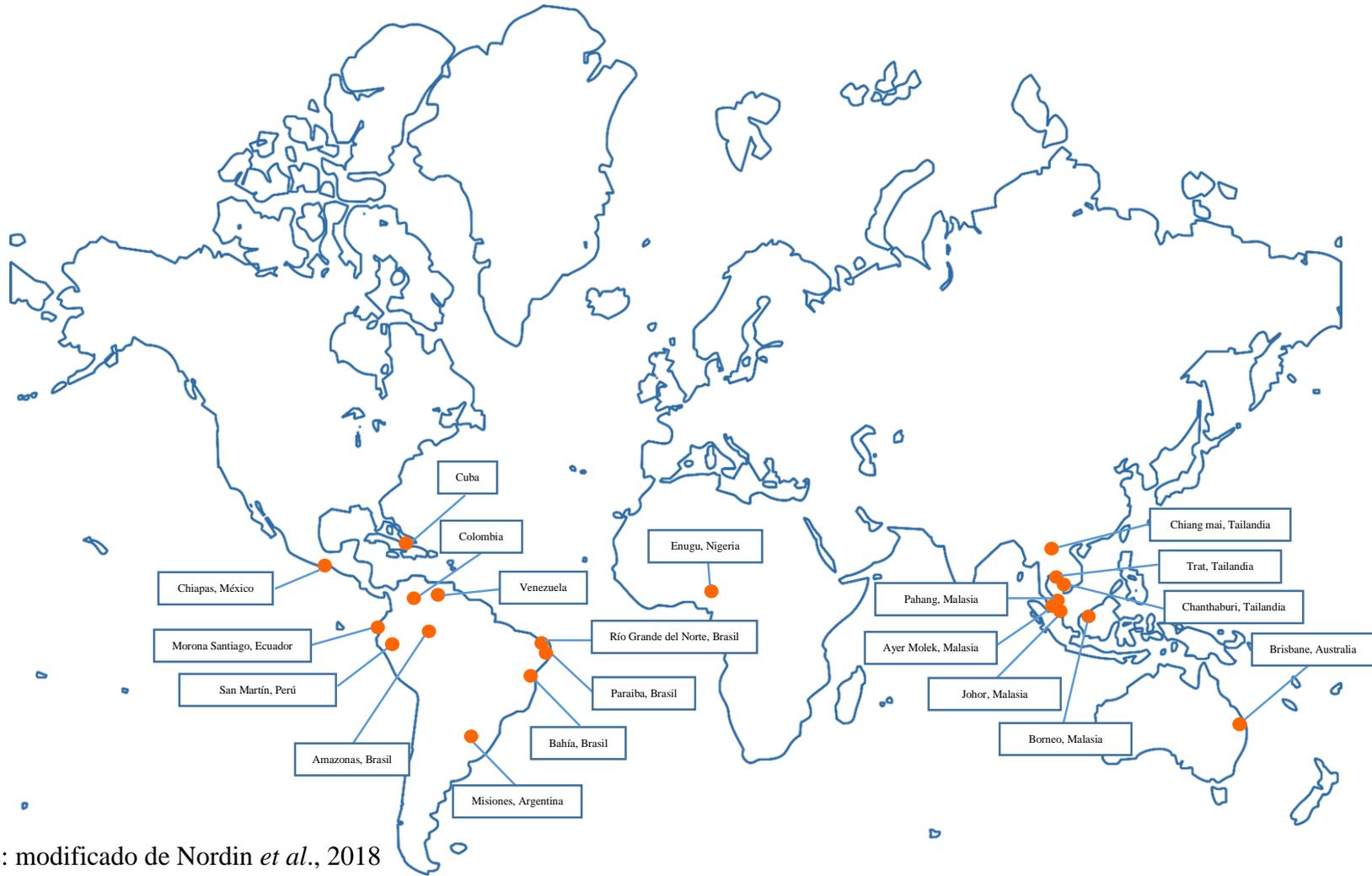
<i>Melipona seminigra</i>	2			31.84	29.60		0.18	Brasil	Almeida-Muradian <i>et al.</i> , 2007
<i>Melipona seminigra</i>	8		65.40				3.00	Brasil	Villas <i>et al.</i> , 2005
<i>Melipona solani</i>	3		60.10						Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Melipona sp.</i>	16		49.40				3.80	Brasil	Do Vale <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona sp.</i>	9		59.21					Brasil	Gomes <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona sp.</i>	3		75.64				5.06	Nigeria	Nweze <i>et al.</i> , 2017
<i>Melipona subnitida</i>	24			29.21	21.76		4.86	Brasil	Almeida <i>et al.</i> , 2013
<i>Melipona subnitida ducke</i>	12	72.55	67.63	54.38	42.73		1.85	Brasil	Sousa <i>et al.</i> , 2016
<i>Melipona trinitatis</i>	4		73.70				1.50	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1994
<i>Nannotrigona sp.</i>	5	68.27						Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Partamona sp.</i>	1		62.50				1.10	México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Scaptotrigona bicuntata</i>	2	75.10	62.95	35.65	27.20		< 0.074	Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Scaptotrigona depilis</i>	3		65.30					Brasil	Oliveira <i>et al.</i> , 2013
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	4		53.96					México	Espinoza-Toledo <i>et al.</i> , 2018
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	12	72.57	56.48					México	Jimenez <i>et al.</i> , 2016
<i>Scaptotrigona pachysoma</i>	1		70.10				2.00	México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Scaptotrigona sp.</i>	5	66.47						Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Scaptotrigona sp.</i>	3		62.34				4.83	Brasil	Lemos <i>et al.</i> , 2017
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	3		66.32				1.22	Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Tetragona carbonaria</i>	8			17.50	24.50	20.3	1.80	Australia	Oddo <i>et al.</i> , 2008

<i>Tetragona clavipes</i>	1	73.40	48.60	40.20	8.21		0.074	Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonilla collina</i>	1		52.00	26.00	26.00			Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonisca angustula</i>	28			24.00	19.00			Argentina	Puciarelli <i>et al.</i> , 2014
<i>Tetragonisca angustula</i>	5	73.77						Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Tetragonisca angustula</i>	20		55.46				0.95	Brasil	Anacleto <i>et al.</i> , 2009
<i>Tetragonisca angustula</i>	3		65.90				2.10	Venezuela	Vit <i>et al.</i> , 1998
<i>Tetragonisca angustula</i>	5		58.70					Brasil	Rodrigues <i>et al.</i> , 1998
<i>Tetragonisca angustula</i>	1		70.00				2.40	México	Santiesban-Hernandez <i>et al.</i> , 2003
<i>Tetragonisca angustula</i>	25		58.00				2.40	Brasil	Denadai <i>et al.</i> , 2002
<i>Tetragonisca angustula</i>	4		66.75				0.82	Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2015
<i>Tetragonula fuscobalteata</i>	2		32.50	21.00	31.50			Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonula laeviceps</i>	19		47.87	27.08	20.80		19.15	Tailandia	Suntiparapop <i>et al.</i> , 2012
<i>Tetragonula laeviceps-pagdeni complex</i>	10		29.00	17.00	12.00	37	0.025	Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetragonula testaceitarsis</i>	2		41.00	22.00	19.00			Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetrigona apicalis</i>	2		12.50	6.75	5.90			Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Tetrigona melanoleuca</i>	1		15.00	6.00	8.90			Tailandia	Chuttong <i>et al.</i> , 2016
<i>Trigona angustula latreille</i>	44			23.50	30.10			Colombia	Fuenmayor <i>et al.</i> 2012

<i>Trigona fuscipennis</i>	1	64.50	56.60	36.22	20.40		< 0.074	Brasil	Biluca <i>et al.</i> , 2016
<i>Trigona nigra</i>	5	69.30						Colombia	Cardona <i>et al.</i> , 2019
<i>Trigona sp.</i>	1		29.34					Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
<i>Trigonalaeviceps Smith</i>	1		27.37					Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
<i>Trigonapagdenis Schwarz</i>	1		41.64					Tailandia	Issaro <i>et al.</i> , 2013
PROMEDIOS	547	70.57	56.49	24.55	21.07	29.44	3.24		
Desviación estándar		3.71	15.94	12.38	9.45	18.49	6.18		

Fuente: modificado de Nordin *et al.*, 2018

ANEXO 3. Figura A3.1. Regiones del mundo donde se han realizado investigaciones en la miel de abeja sin aguijón.



Fuente: modificado de Nordin *et al.*, 2018