

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CALKINÍ

**“DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MINERAL EN MIELES DE *Melipona
beecheii* DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE
EMISIÓN ATÓMICA”**

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA BIOQUÍMICA

**EGRESADO:
JOSE ABIMAEI DZIB CETZ**

**DIRECTOR Y CO-DIRECTOR:
DR. LUIS FERNANDO CUEVAS GLORY
M.C. DANIEL BOLIVAR MORENO**

Calkiní, Campeche, México 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante

Calkiní, Campeche **45932**
P/10/25/794
INGENIERÍA BIOQUÍMICA

CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

MODALIDAD: TESIS

C. JOSE ABIMAEI DZIB CETZ 7348
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA BIOQUÍMICA.
PRESENTE

Con relación a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Licenciatura, capítulo VII, fracción I, vigente en este Instituto, y una vez emitido el fallo favorable por el director DR. LUIS FERNANDO CUEVAS GLORY, y el co-director MC. DANIEL BOLIVAR MORENO, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MINERAL EN MIELES DE MELIPONA BEECHEII DE LA PENINSULA DE YUCATÁN, MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA"**.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Sabiduría, Fortaleza de Nuestra Cultura®


Dr. Jorge Alfonso Hau Puc.
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante.

C.c.p. Archivo


INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE CALKINÍ
"DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y APOYO A
ESTUDIANTES"
CLAVE: 04MSU0013P
CALKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO.



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche,
C.P. 24900 Tel. 996-8134870,
e-mail: se_dcalkini@tecnm.mx | itescam.edu.mx



DEDICATORIA

El alcanzar un logro más en esta vida no solo se debe al esfuerzo propio, sino también del apoyo de las personas que te acompañan en el proceso.

Dedico y agradezco este logro, primeramente, a Dios Padre, por darme la vida, los medios, la salud, la condición, su guía, las fuerzas y todo lo que tengo.

A mis padres, la Sra. Wendy Maribel Cetz Moo y el Sr. José Candelario Dzib Dzul, quienes han sido ejemplo de cómo vivir la vida de la mejor manera. Sus enseñanzas, regaños, consejos, guía, amor y apoyo incondicional son los frutos que hoy se cosechan. Siempre estaré agradecido por todo lo que han hecho y harán en mi vida.

A mi esposa, la Sra. Andrea Guadalupe Ku Dzul, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de estos años. Ella ha sido mi inspiración y mi fuerza desde que está a mi lado, ayudándome cada día a ser una mejor persona.

A mis hermanos Bernardo Dzib y Eduardo Dzib, por brindarme su apoyo en todo momento y por ser mis compañeros de vida.

A mis abuelos, la Sra. María Moo, el Sr. José Cetz (q.e.p.d.), el Sr. Candelario Dzib (q.e.p.d.) y la Sra. Silvia Dzul (q.e.p.d.), por el cariño y amor que me brindaron mientras estuvieron conmigo.

A todos mis amigos, con quienes he compartido momentos inolvidables a lo largo de mi vida.

Al resto de mi familia, tíos y primos por su apoyo, consejos y ayuda en los momentos difíciles.

A todos los docentes, maestros y profesores que contribuyeron a mi formación académica y moral, gracias por prepararme para ser una persona de bien.

Finalmente, a todas las personas que, de alguna manera, tuvieron un impacto en mi vida y sin las cuales no habría llegado hasta aquí. Gracias a todos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi familia y a mi esposa por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de este trabajo.

Al Instituto Tecnológico Superior de Calkiní (ITESCAM), por ofrecerme una sólida preparación académica, un entorno social adecuado y las instalaciones necesarias para formarme como Ingeniero Bioquímico.

Al Instituto Tecnológico de Mérida, a su División de Posgrado y al Laboratorio de Fermentaciones, por permitirme el acceso a sus instalaciones y facilitar el desarrollo de este proyecto.

Al Campus de Ingeniería y Ciencias Exactas de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y a sus docentes, por brindarme la oportunidad de utilizar sus espacios para el desarrollo del trabajo.

Al M.C. Daniel Bolívar Moreno, por su apoyo incondicional, sus consejos y su valiosa asesoría durante el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Yasser Chim Chi, por su orientación, mentoría y por brindarme la oportunidad de aprender de su experiencia.

Al Dr. Luis Fernando Cuevas Glory, por su guía, tiempo, apoyo y consejos, así como por la oportunidad de trabajar en su laboratorio y aprender de su trabajo.

Al I.B.Q. Sergio Eduardo Tun Paredes, por su amistad, compañerismo y la ayuda brindada durante la realización de esta tesis.

A todos los que, de una u otra forma, contribuyeron al logro de este proyecto, mi más sincero agradecimiento.

INDICE

Resumen	10
I. - Introducción	11
II.- Marco teórico.....	13
2.1.- Antecedentes	13
2.2.- Marco Teórico	16
2.2.1.- Abejas	16
2.2.2.- Abejas sin aguijón	16
2.2.3.- <i>Meliponinos</i> en la península de Yucatán.....	18
2.2.4.- <i>Melipona beecheii</i> (Xunaan Kaab).....	19
2.2.5.- Meliponicultura.....	21
2.2.5.- Miel	24
2.2.6.- Miel de abeja sin aguijón	24
2.2.7.- Composición bioquímica de la miel.....	24
2.2.8.- Parámetros fisicoquímicos usados para el análisis de la miel	25
2.2.8.1- Color.....	25
2.2.8.2.- Humedad.....	26
2.2.8.3.- Acidez.....	26
2.2.8.4.- Azúcares reductores.....	26
2.2.8.5.- Enzimas	27
2.2.8.6.- Cenizas	27
2.2.9.- Elementos minerales	27
2.2.9.1.- Macroelementos	28
2.2.9.1.1.- Sodio	28
2.2.9.1.2.- Potasio	28
2.2.9.1.3.- Cloro.....	29
2.2.9.1.4.- Fosforo	29
2.2.9.1.5.- Calcio	30
2.2.9.1.6.- Magnesio.....	30
2.2.9.2.- Microelementos.....	31

2.2.9.2.1.- Cobre	31
2.2.9.2.2.- Hierro	32
2.2.9.2.3.- Zinc	32
2.2.9.2.4.- Manganeseo.....	32
2.2.9.2.5.- Aluminio.....	33
2.2.9.3.- Metales pesados.....	33
2.2.9.3.1.- Plomo	34
2.2.9.3.2.- Cadmio.....	34
2.10 Contenido mineral de la miel.....	34
2.11 Cuantificación de minerales en mieles	35
2.11.1.- Métodos espectrométricos.....	35
2.11.1.1.- Espectrofotometría de absorción atómica (AAS).....	36
2.11.1.2.- Espectrofotometría de emisión atómica (AES)	37
2.11.1.3.- Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	37
III.- Justificación.....	38
IV.- Objetivos	39
4.1.- Objetivo general.....	39
4.2.- Objetivos específicos	39
V.- Materiales y métodos	40
5.1.- Estrategia de trabajo.....	40
5.2.- Metodología	41
5.2.1.- Determinación de cenizas totales.....	41
5.2.2 Determinación de los minerales de la miel	43
5.2.3.- Condiciones analíticas	44
5.2.4.- Cálculos estadísticos.....	45
VI.- Resultados y discusión	46
6.1.- Cenizas totales en Miel de abeja sin aguijón	46
6.2.- Contenido mineral.....	47
VII.- Conclusiones	51
VIII.- Referencias.....	52

Índice de tablas

Tabla 1. Especies de <i>meliponinos</i> en la península de Yucatán y su nombre maya.	18
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la abeja <i>Melipona Beecheii</i>	20
Tabla 3. Lugar de origen, <i>meliponario</i> y numero de mieles de <i>Melipona beecheii</i>	40
Tabla 4. Longitudes de onda (nm) de los minerales que se evaluaron.....	45
Tabla 5. Cenizas totales obtenidas de la miel de <i>Melipona beecheii</i>	46
Tabla 6. Contenido mineral de las mieles de <i>M. beecheii</i> en mg/kg de miel (ppm)	48

Índice de figuras

Figura 1. Morfología de abeja obrera del género <i>Melipona</i> (Paredes, 2021).	17
Figura 2. Abeja sin aguijón <i>Melipona beecheii</i>	19
Figura 3. Meliponario <i>Chankakab</i>	21
Figura 4. División de colmena entre a) <i>Apis mellifera</i> y b) abejas sin aguijón (Arnold <i>et al.</i> , 2018).	22
Figura 5. <i>Jobon</i> tradicional de <i>Melipona beecheii</i>	23
Figura 6. Cosecha de colmena moderna (Caja) de <i>Melipona beecheii</i>	23
Figura 7. Distribución geográfica de los <i>meliponarios</i> dentro del sur-este de México. ..	41
Figura 8. a) Antes de la carbonización, b) después de la carbonización de las muestras de miel.	42
Figura 9. Preparación de mufla (Isotemp Muffle Furnace).....	42
Figura 10. a) muestras calcinadas, b) crisoles en atemperación.....	43
Figura 11. Espectrómetro de emisión atómica, Campus de Ingeniería y Ciencias Exactas, UADY.	44

Resumen

La *meliponicultura* es una práctica ancestral encontrada en distintas regiones de la Península de Yucatán, que contribuye grandemente al valor cultural y ecológico de la cultura maya. Esta práctica se centra en la crianza y reproducción de abejas sin aguijón, siendo la más común la abeja nativa *Melipona beecheii* (*Xunáan Kab*). Sin embargo, la disminución de colmenas y la falta de normativas oficiales sobre la calidad de su miel han limitado su aprovechamiento. El presente estudio tuvo como objetivo la determinación del contenido mineral de mieles de *Melipona beecheii* recolectadas en distintos *meliponarios* de Suroeste de México.

Las mieles fueron sometidas a métodos de calcinación que permitieron la determinación del contenido de cenizas totales, posteriormente se realizó la cuantificación mediante espectrofotometría de emisión atómica (AES) de los minerales Na, K, Ca, Mg, Fe, Al y los metales pesados Pb y Cd.

Los resultados indicaron que el porcentaje de cenizas presento una variación de entre 0.02% y 0.39%, cumpliendo con los límites establecidos en la norma mexicana NMX-F-036-1981 para mieles de *Apis mellifera*. El potasio fue el mineral predominante, alcanzando concentraciones de hasta 1785 mg/kg en algunas muestras. El sodio, magnesio, calcio y hierro mostraron variaciones menores, mientras que el aluminio presentó valores relativamente altos (3.94 y 10.32 mg/kg). La presencia de plomo fue detectada en concentraciones bajas en algunas muestras, el cadmio no fue posible su cuantificación por este método.

Las muestras de miel analizada de *Melipona beecheii* cumple con parámetros aceptables de calidad y presenta un perfil mineral característico que puede contribuir a la autenticación de su origen geográfico y botánico.

I. - Introducción

La humanidad tiene una relación estrecha con la salud del planeta en el que habitamos; distintos factores son los que intervienen para poder tener una buena calidad de vida. La supervivencia humana depende de gran manera de distintas especies tanto animales, como vegetales (Guiomar, 2005). Un tercio de los alimentos que se consumen a diario se encuentran disponibles gracias a los polinizadores y son las abejas las responsables de cumplir aproximadamente la mitad del trabajo que se realiza en la polinización. Se sabe además, que las distintas especies de abejas cumplen un papel fundamental en la preservación de la vida en el planeta (O'Toole, 1993).

Las abejas son descritas como insectos con alas pertenecientes a la familia *Apoidea*, orden *Hymenoptera*. Aproximadamente existen más de 20,000 especies alrededor del mundo (Michener, 2007). La apifauna de México cuenta con alrededor de 2,000 especies. Existe una especie clasificada como Himenópteros, que habita en diversas regiones de los trópicos, comunmente conocidos como *Meliponinos* o abejas sin aguijón (Ayala, 1999).

Las características especiales de los *meliponinos* es que cuenta con un aguijón atrofiado no útil para defenderse de depredadores. Son abejas altamente sociales (Michener, 2007) y se conocen aproximadamente más de 400 especies (Camargo *et al.*, 2007). En México se reportan 46 especies de abejas sin aguijón y en la península de Yucatán podemos encontrar alrededor de 17 ellas, los productos elaborados por estas abejas son miel, cera o cerumen, polen y propóleo (Arnold *et al.*, 2018).

La miel es una sustancia que se elabora a partir del néctar que producen las flores y transforman las abejas. Esta transformación se da mediante un proceso sistematizado y complejo, que se resume en la descomposición enzimática de los néctares obtenidos y su maduración en los pozos del nido (Arnold *et al.*, 2018). Los principales componentes de la miel de abejas son: agua, diferentes azúcares, minerales, sustancias nitrogenadas, enzimas, fitonutrientes y vitaminas (Barceló, 2006; Belitz *et al.*, 1997).

Este trabajo tiene la finalidad de determinar el contenido mineral en las mieles de abejas sin aguijón de la especie *Melipona beecheii*, recolectadas en distintitos puntos geográficos de la península de Yucatán. Los resultados obtenidos son una aportación al

conocimiento para la creación de estándares de calidad para este tipo de mieles, que permitan a los productores ofrecer productos caracterizados correctamente para el consumo, garantizando su procedencia y autenticidad.

II.- Marco teórico

2.1.- Antecedentes

En el año 2002, Mendieta Carrillo, llevó a cabo análisis fisicoquímicos de distintas mieles colectadas en Honduras de tres especies de abejas: *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* y *Melipona beecheii*. Entre los análisis realizados se destacaron: humedad, pH, acidez, minerales, proteína, azúcares reductores y sacarosa. El objetivo del estudio fue comparar la composición química de las mieles de las abejas sin aguijón con respecto a las de *Apis mellifera*. Los resultados de los análisis realizados presentaron una mayor cantidad de azúcares reductores en la miel de *Apis mellifera* (69.58%). La miel de *Tetragonisca angustula* presentó valores de acidez de 123.33 meq/kg, humedad de 26.08% y contenido de cenizas (minerales) de 0.56%. Estos valores fueron más altos con respecto a los valores obtenidos en las mieles de *Apis mellifera*. La miel de *Melipona beecheii* presentó menor cantidad de proteína (0.17%) y sacarosa aparente (0.28%). Las diferencias encontradas en la composición de las mieles se atribuyeron a la forma y necesidad de nutrición de cada especie de abeja.

En Honduras y en muchos países del centro y sur del continente americano existe un interés por introducir al mercado la miel de las abejas sin aguijón; Sin embargo, por el poco conocimiento sobre las propiedades de estas mieles limita la posibilidad de hacer una comercialización sustentada en normas, debido a su inexistencia. Brasil, México y Costa Rica lideran investigaciones encausadas en este sentido para generar la mayor información que permita considerar establece alguna norma para las mieles de *Meliponinos*.

Yavuz Bağcı, *et al.* en el 2007, tuvieron como objetivo la determinación del contenido de minerales de 43 muestras de miel procedentes de las provincias de Yozgat, Çorum y Konya en la región central de Turquía. Las muestras fueron deshidratadas e introducidas en una mufla a 550 °C de 4-5 horas, las cenizas obtenidas se suspendieron en ácido clorhídrico al 3.3%. La determinación de los elementos fue mediante Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES). Los resultados revelaron que la concentración de los elementos más abundantes en las mieles analizadas fue entre 40.13 y 189.69 mg/kg para el calcio, 161.01 y 598.62 mg/kg para el potasio, 9.34 y 45.9 mg/kg para el sodio, y 460.11 y 3776.96 mg/kg para el fósforo. El

análisis de conglomerados de los datos de la miel reveló que el contenido mineral de las mieles de Çorum y Konya era similar, ya que formaban un conglomerado con un nivel de similitud del 60 %.

Bolívar (2014), se centró en la determinación del contenido mineral en la miel producida por la abeja sin aguijón *Melipona beecheii* en la región de la península Yucateca. El trabajo tuvo como objetivo la aportación de información científica, que permitiera comprender mejor la composición nutricional de esta miel nativa y la valoración de su calidad para el impulso de la meliponicultura en la península. Los análisis de minerales esenciales tales como; calcio, potasio, magnesio, hierro y zinc se realizaron mediante espectroscopía de emisión de plasma (ICP-400, Perkin-Elmer, Norwalk, Connecticut. Se observó que la miel de *M. beecheii* contiene una diversidad mineral significativa, con valores que varían según la procedencia y las condiciones ambientales de recolección. La miel de Celestún, Yucatán presento un mayor contenido de Mo (3.12 mg/kg), Cd (0.47 mg/kg), Pb (7.25 mg/kg), Fe (17.23 mg/kg), Cr (0.62 mg/kg) y Cu (0.65 mg/kg). En otra muestra de este mismo origen geográfico, se destacó la presencia de Mn (2.07 mg/kg) y K (733.60 mg/kg). Las muestras con mayor presencia de P (272.71 mg/kg) y Mg (32.46 mg/kg) fueron de Calkiní, Campeche. Mientras que la miel de Yaxcanha, Yucatán presentó un mayor contenido de Na (74.83 mg/kg) y la muestra de Temozón Norte, Yucatán de Ca (74.29).

En 2016, Biluca *et al.*, realizaron el estudio de las propiedades fisicoquímicas, contenido mineral prioritario, compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de la miel de abeja sin aguijón. Se analizaron treinta y tres muestras de diez especies; *Melipona bicolor*, *Scaptotrigona bicunctata*, *Melipona quadriasciata*, *Melipona marginata*, *Tetragonisca angustula*, *Melipona mondury*, *Melipona rufivestris mondory*, *Tetragona clavipes*, *Melipona scutellaris* y *Trigona fuscipennis*. La determinación de minerales fue realizada mediante electroforesis capilar (capillary electrophoresis, CE) con detección indirecta a 215 nm. Con los resultados obtenidos se concluyó que la miel de las abejas sin aguijón contenían elementos minerales tales como el potasio (límite de cuantificación, LOQ a 448 mg 100 g⁻¹) como el más predominante en todas las mieles analizadas, calcio (1.12 a 35.2 mg 100 g⁻¹), sodio (0.730 a 30.4 mg 100 g⁻¹), magnesio (0.410 a 17.3 mg 100 g⁻¹) y manganeso (0.110 mg 100 g⁻¹).

El estudio realizado por Agus, Sahlan y Agussalim (2021) se enfocó en el análisis del contenido de minerales y cenizas en las mieles producidas por las abejas sin aguijón de la especie *Tetragonula laeviceps*, recolectadas en tres regiones de Indonesia (Lombok, Magelang y Purworejo). El método empleado para la determinación de los minerales: Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, K, Zn y Al fue mediante espectrometría de absorción atómica (AAS). Los resultados evidenciaron que la miel de Lombok presentó mayores niveles de Cu (12.2 ppm), Fe (45.4 ppm), Mg (2,389.65 ppm), Al (1,120.71 ppm), Mn (33.9 ppm), Na (1,142.87 ppm) y K (20,110.80 ppm), en comparación con el resto de las mieles de las otras regiones estudiadas, teniendo una relación directa con el mayor contenido de cenizas obtenidos para estas mieles de 0.88 g/100g. Las mieles de Magelang presentaron un mayor contenido de Zn (23.5 ppm), mientras que las mieles de Purworejo un mayor contenido de Ca (3,239.19 ppm). Después del análisis de resultados se concluyó que la composición mineral de la miel dependió de factores tales como la flora disponible, las condiciones edáficas y la procedencia geográfica. Por otra parte, el estudio menciona que el contenido mineral influye en las características sensoriales de la miel, como el color y el sabor, haciendo referencia que una miel con la mayor concentración de minerales es más oscura y con sabor más intenso. De esta manera, la investigación aportó evidencias sobre la importancia de la diversidad geográfica en la calidad de la miel de abejas sin aguijón, estableciendo bases relevantes para la meliponicultura y el control de calidad en la producción de miel.

2.2.- Marco Teórico

2.2.1.- Abejas

Las abejas son insectos con alas de la familia *Apoidea*, dentro del orden *Hymenoptera* (Figueroa, 2016). Se tiene registro de la existencia de aproximadamente 20,000 especies de abejas en todo el mundo (Michener, 2007; Nogueira, 1997), Las abejas provienen de un linaje de avispas florícolas que abandonaron el hábito de suministrar presas a sus nidos, en su lugar, nutren a sus larvas con polen, néctar o secreciones glandulares de origen floral (Michener, 1974).

Aproximadamente 20 mil especies de abejas a nivel mundial se encuentran agrupadas en 7 familias, una de esas es nombrada *Apidae* y contiene a la subfamilia *Apinae*, en donde se ubican diferentes tribus, como la de las abejas sin aguijón (*Meliponini*), los abejorros (*Bombini*), abejas melíferas (*Apini*), abejas de las orquídeas (*Euglossini*) y otras que son menos conocidas (Arnold *et al.*, 2018).

Michener (2000), menciona que la morfología permite poder distinguir al insecto de otros con una apariencia similar, señalando que la abeja tiene un tamaño de entre 2 y 39 mm de longitud. Entre sus características distintivas se encuentra un cuerpo robusto, pelos plumosos, dos pares de alas, partes bucales succionadoras, diseñadas para recolectar el néctar de las flores y estructuras especializadas para el acarreo de polen (Arnold *et al.*, 2018).

2.2.2.- Abejas sin aguijón

Estas abejas, las cuales carecen de aguijón, son de la tribu *Meliponini* o *meliponinos* pertenecientes al orden *Hymenoptera* de la familia *Apidae* (Michener, 2000; Ayala, 1999). Se pueden encontrar en regiones tropicales y subtropicales de América, África, Asia y Australia (Arnold *et al.*, 2018). En el continente americano, las abejas sin aguijón se distribuyen en una gran extensión de territorio desde México hasta Argentina (Sakagami, 1982; Ayala, 1999).

Los *meliponinos* comprenden más de 500 especies, teniendo la mayor diversidad en la región Neotropical de América con 417 especies (De-Menezes, 2014). Un total de 46 especies de abejas sin aguijón son las que se han registrado en México, agrupadas en 16 géneros.

La característica principal respecto a la anatomía de la abeja es la ausencia de un aguijón funcional, la débil venación en sus alas, uñas simples no bifurcadas, una línea de pelos gruesos a modo de peine en el margen distal interno de las tibias posteriores llamado *penicillium* y el basitarso con crecimiento de aurícula (Wille, 1983)

En la Figura 1 se observan las características morfológicas de la especie de abeja sin aguijón *Melipona* (Paredes, 2021).

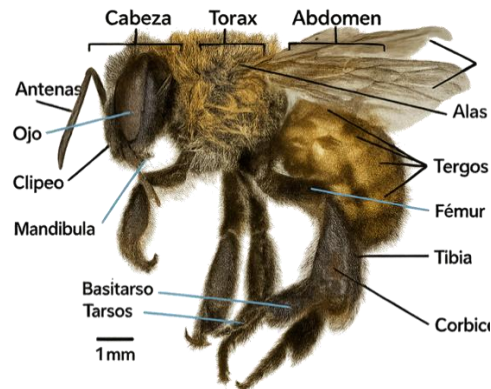


Figura 1. Morfología de abeja obrera del género *Melipona* (Paredes, 2021).

Los *meliponinos* sufrieron la pérdida parcial y en algunos casos total de elementos vestigiales. Por ejemplo, la glándula del ácido y el lugar donde se almacena ha desaparecido completamente, ya que el aguijón está atrofiado (Kerr y Lello, 1962; Lello, 1976). Aunque estas abejas no cuentan con un aguijón para defenderse, han desarrollado distintos mecanismos que les permite protegerse de depredadores, tales como mandíbulas robustas y, en algunas especies un diente capaz de cortar en dos a otros insectos. Además, producen sustancias con un olor y sabor desagradables, lo que actúa como un eficaz disuasivo ante posibles agresores. Su defensa se basa en el ataque en conjunto, crean entradas estrechas para evitar la entrada de más de una abeja a la vez e intrusos, junto con enmascaramiento de su entrada y su cierre al anochecer (Kerr y Lello, 1962).

Estos insectos tienen una gran importancia en la preservación de la vida, no solo se habla de los productos que pueden ofrecer, sino de beneficios importantes que proporcionan, siendo la polinización de la flora silvestre y de muchas especies vegetales cultivadas (Kerr, 1999; Slaa *et al.*, 2006). Ramírez (2019) menciona la contribución de los

Meliponinos en la conservación del germoplasma de poblaciones de plantas silvestres y cultivadas, por su eficaz polinización, ayudan en un 50% y hasta 70% a estas.

2.2.3.- *Meliponinos* en la península de Yucatán

México es un país donde se tiene registro de por lo menos 46 especies de abejas sin aguijón pertenecientes a 15 géneros que se distribuyen a lo largo del país, esta distribución se encuentra mayormente en el sur (Ayala, 1999). En la península de Yucatán se han confirmado la presencia de diversas especies de abejas sin aguijón, en el estado de Quintana Roo 19 especies, en Yucatán 13 y en Campeche 11 (Arnold *et al.*, 2018).

La península de Yucatán, situada en el sur de México fue un importante centro para la cría de abejas sin aguijón y para el comercio de sus productos a otros sitios de Mesoamérica hace aproximadamente 1000-3000 años (Quezada-Euán *et al.*, 2001). La presencia de abejas sin aguijón en la península de Yucatán es diversa, sin embargo, no se descarta la posibilidad de la presencia de otras especies en esta región (Arnold *et al.*, 2018).

En la tabla 1 se muestran las especies de abejas sin aguijón que se reportan en la península de Yucatán, según Arnold *et al.* (2018).

Tabla 1. Especies de *meliponinos* en la península de Yucatán y su nombre maya.

Especie	Nombre maya
<i>M. beecheii</i> Bennett	Xunaan-Kab, Colel-Kab y Pool-Kab
<i>M. yucatanica</i>	Tsets
<i>Cephalotrigona zexmeniae</i>	Tajkab, Ejool
<i>Lestrimelitta niitkib</i>	Niitkib, Limón kab
<i>Partamona bilineata</i>	Chooch, Xnuk
<i>Scaptotrigona pectoralis</i>	Kantsak
<i>Nannotrigona perilampoides</i>	Mehenbol, Bol
<i>Trigona (Frieseomelitta) nigra nigra</i>	Sak Xik, Xic
<i>T. (Trigona) fulviventris</i>	Muul Kab
<i>T. (Trigona) fuscipennis</i>	Kuris-Kab
<i>T. (Trigona) corvina</i>	Kuris kab

<i>Plebeia (Plebeia) frontalis</i>	Us kab, Yaaxich
<i>P. (Plebeia) moureana</i>	Us kab, Yaaxich
<i>P. (Plebeia) parkeri</i>	Us kab, Yaaxich
<i>P. (Plebeia) pulchra</i>	Us kab, Yaaxich
<i>T. (Trigonisca) maya</i>	Puup, Chachem
<i>T. (Trigonisca) pipioli</i>	Puup, Chachem

Las características climáticas y uniformidad de la Península permiten que los *meliponinos* estén presentes en esta región, situándose en la llamada distribución tropical y subtropical (Ayala, 1999).

2.2.4.- *Melipona beecheii* (Xunaan Kaab)

Cuando hablamos de *meliponinos*, la abeja *Melipona beecheii* es una de las mayores investigadas y caracterizadas. Podemos describirla como una abeja sin aguijón de color negro, presenta marcas visibles de color amarillo, rojo o negro en las patas, cuenta con una longitud corporal de aproximadamente 9.7 a 10.7 mm. La superficie dorsal superior del tórax suele estar cubierta de pelos de color naranja/ amarillo y su superficie inferior está cubierta de densos pelos de color rojo anaranjado en fuerte contraste con el resto del escudo, el abdomen es negro con bandas amarillas bien definidas (Figura 2) (Quezada-Euán, 2018).



Figura 2. Abeja sin aguijón *Melipona beecheii*.

El conocimiento de la taxonomía de las abejas nos permite conocer exactamente la información y división en donde se debe posicionar a este ejemplar, por ejemplo, el de la abeja *Melipona beecheii* (Tabla 2) (Hellmuth, 2024).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la abeja *Melipona Beecheii*

<i>Melipona beecheii</i>	
Reino:	Animal
Filo:	Artrópodos
Subfilo:	Hexapoda
Clase:	Insecta
Orden:	Hymenoptera
Familia:	Apidae
Tribu	Meliponini
Género:	Melipona
Especie:	<i>Melipona beecheii</i> (Bennett, 1831)

La especie de abeja *Melipona beecheii* Bennett, fue una de las principales abejas sin aguijón explotada para el arte de la meliponicultura en la península de Yucatán, volviéndose una de las fuentes de ingresos y producción de las civilizaciones Mayas (Quezada-Euán *et al.*, 2001). La conservación de las abejas *Melipona beecheii* en Yucatán y zonas aledañas en México, es deplorable, probablemente a punto de desaparecer de la región, a causa de potenciales negatividades, como la pérdida de variabilidad genética en las colonias manejadas dentro de las colmenas (meliponario) (Quezada-Euán *et al.*, 2001; Villanueva-G *et al.*, 2005; González-Acereto, 2012; Pat *et al.*, 2016).

En la figura 3 se muestra el *meliponario Chankakab*, se encuentra en el municipio de Calkiní del estado de Campeche (Dzib, 2025).



Figura 3. Meliponario *Chankakab*.

Existen diversos motivos tanto ambientales como culturales por los cuales, se ha presentado la pérdida de la producción por parte de la abeja *melipona*, por ejemplo; el desinterés de parte de la descendencia de los mayas, la disminución en la producción de miel, la pérdida y reducción de hábitats, posiblemente por la interacción y competencia por los recursos florales y lugares de nidificación por la abeja africanizada, introducida en la década de los ochenta. Sin embargo, en la actualidad existe un gran interés por recuperar esta actividad en la zona y se realizan esfuerzos para revertir las gestiones negativas (González-Acereto, 2008).

2.2.5.- Meliponicultura

Se denomina meliponicultura a la crianza de las abejas sin aguijón, de la misma se puede obtener distintos productos cerumen, propóleo, polen y la miel (Syafrizal *et al.*, 2012; Rao *et al.*, 2016). Las abejas sin aguijón son insectos que fueron domesticadas por pueblos indígenas en distintas regiones tropicales y subtropicales. Existen evidencias desde la época de los Mayas en la isla de Cozumel, frente a las costas de Cancún, en México. Sin embargo, existen registros en otras partes de Centro y Suramérica, como Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú y Venezuela; todos estos países localizados en la región tropical de América Latina (Portuondo y Fernández, 2004; Genaro, 2004; Weaver y Weaver, 1981).

Según diversos registros arqueológicos la cría de *meliponinos* en Mesoamérica existe desde hace más de 2000 años, la evidencia más antigua de la meliponicultura son las efigies de cerámica de hobones, al igual que discos sólidos de piedra caliza del periodo Formativo Tardío o Preclásico Tardío (300 a. C.–100 d. C.) (Zralka *et al.*, 2018; Paris *et al.*, 2020). Las colmenas tradicionales de *Melipona beecheii* tienen una estructura que por lo general se forman de troncos huecos llamados en maya *Jobones*, los cuales varían en sus dimensiones, cada uno de sus extremos son sellados por tapas de maderas llamados *U'muk* que finalmente se cubrían con lodo rojizo (*Kancab*) (Bolívar, 2014), el cuerpo del *Jobon* presenta un orificio de entrada que permite el paso de un solo insecto (Figura 5) (Bacab y Canto, 2020), el cual se sitúa una abeja guardiana o centinela llamada *Balamil Cab*, (Mediz, 1971)..

A diferencia de las abejas *mellifereas*, las cuales sitúan sus panales en lugares altos y expuestos, las abejas *Meliponas* en habitat natural realizan sus nidos dentro de árboles huecos (Figura 4) (Arnold *et al.*, 2018).

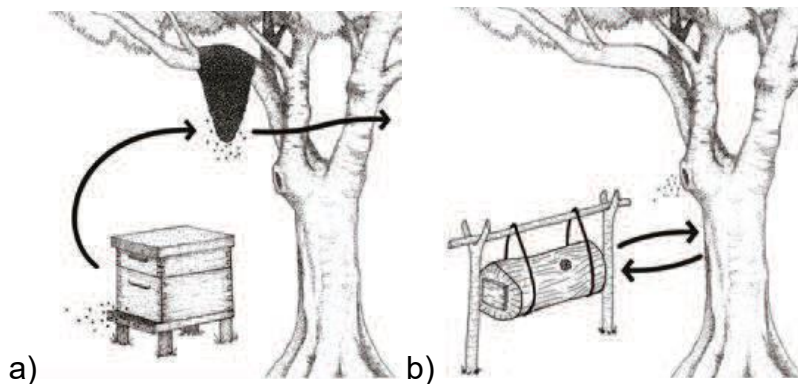


Figura 4. División de colmena entre a) *Apis mellifera* y b) abejas sin aguijón (Arnold *et al.*, 2018).

Tradicionalmente los *jobones*, que en su interior se encuentran las colonias de abejas eran colocadas en los alrededores de los hogares, estos provenían de árboles de ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.), pich (*Enterolobium cyclocarpum* Jacq.) y tzalam (*Lysiloma latisiliquum* Benth.) (Hirst, 2018). En la Figura 5 se muestra un *jobon* tradicional de abeja sin aguijón (Dzib, 2025).



Figura 5. Jobon tradicional de *Melipona beecheii*.

Se piensa que, mediante la aplicación generalizada de la tecnología moderna con el uso y diseño de colmenas tipo caja, (Figura 6), permitirían la permanencia y expansión de los colmenares con *M. beecheii* y plantearía el aprovechamiento de otras especies de *meliponinos* de interés económico, como: *Scaptotrigona Pectoralis*, *T. (Friesiometitta) Nigra*, *Nannotrigona Perilamppoides* y *Plebeia Frontalis* (González y De Araujo, 2005).

En la Figura 6 se muestra la cosecha de la miel de *Melipona beecheii*, dicha extracción se realiza mediante una jeringa estéril, tratando de no dañar la demás estructura del nido.



Figura 6. Cosecha de colmena moderna (Caja) de *Melipona beecheii*.

Bolívar (2014), señaló que el arte de la *meliponicultura* ha ido desapareciendo paulatinamente, como una actividad llevada a cabo en los solares mayas o huertos familiares, las consecuencias de este fenómeno, al parecer han sido negativas, tanto en el núcleo familiar, en la dinámica cultural de las comunidades indígenas y en el mediano y largo plazo, en la conservación de la biodiversidad.

2.2.5.- Miel

La miel es una sustancia dulce natural, no fermentada, producida por las abejas, principalmente de *Apis mellifera*. El trabajo que realizan las abejas es recolectar el néctar de las flores o también secreciones de ciertas especies de plantas (Garcia *et al.*, 2022), aplicar procesos biológicos donde la abeja deshidrata el néctar para evitar el crecimiento microbiano y al mantener el contenido fisicoquímico (Alves *et al.*, 2005), finalmente almacenan y maduran en pots (depósitos de cera) dentro de sus nidos (Schencke *et al.*, 2016; Garcia *et al.*, 2022).

2.2.6.- Miel de abeja sin aguijón

La miel es descrita como una sustancia dulce que las abejas se encargan de transformar mediante una descomposición enzimática de los néctares obtenidos de las flores (Arnold *et al.* 2018). La miel de las abejas sin aguijón tiene diferencias significativas a la de la miel común (melífera), siendo sus características fisicoquímicas, la composición nutricional y el método de cosecha tradicional (Gela *et al.*, 2021; Sousa *et al.*, 2016).

El proceso que la abeja desarrolla para la producción de miel inicia cuando las glándulas hipofaríngeas en donde se da la producción de enzimas, agregan la invertasa encargada de hidrolizar la sacarosa del néctar, generando azúcares simples, como son glucosa y fructosa (Kek *et al.* 2016), la abeja regurgita el néctar pasando por distintas obreras en repetidas ocasiones, para deshidratar el néctar. Con el propósito de obtener la consistencia viscosa de la miel, las abejas agitan sus alas para retirar más humedad del néctar y finalmente sellar los pots para la maduración de la miel (*Codex alimentarius*, 2001; Puntoaparte Editores, 2024).

2.2.7.- Composición bioquímica de la miel

La miel es un producto natural complejo, su composición depende de su origen floral, condiciones ambientales y los procesos de maduración. Su principal componente son los carbohidratos, tales como fructosa (alrededor del 38 %) y glucosa (aproximadamente 31 %), disacáridos como sacarosa (reportados en menor proporción) y otros oligosacáridos en muy bajas concentraciones. El contenido de agua regularmente varía entre el 15 % y el 20 %. Entre las enzimas más destacadas se encuentra la

invertasa, la diastasa y la glucosa oxidasa, estas tienen lugar en los procesos bioquímicos que contribuyen a la calidad y propiedades funcionales de la miel. Además, contiene ácidos orgánicos, aminoácidos (principalmente prolina), así como minerales (potasio, calcio, magnesio, fósforo, etc.) y pequeñas cantidades de vitaminas del complejo B y vitamina C. También se han reportado compuestos fenólicos y flavonoides, siendo participes en su reconocida actividad antioxidante (Bogdanov, 2011; Alvarez-Suarez *et al.*, 2010).

2.2.8.- Parámetros fisicoquímicos usados para el análisis de la miel

Escuredo *et al.* (2014), mencionan que la composición, el color, el aroma y el sabor de la miel dependen principalmente de las flores, el entorno geográfico, el clima y las especies de abejas que intervengan en su producción, otras afectaciones que causan variaciones en la composición de la miel son; las condiciones climáticas, el procesamiento, la manipulación, el envasado y el tiempo de almacenamiento.

Como se ha mencionado anteriormente, en la composición de la miel podemos encontrar azúcares y otros componentes como enzimas, aminoácidos, vitaminas, ácidos orgánicos, carotenoides, minerales y sustancias aromáticas. La presencia de flavonoides y ácidos fenólicos que causan presencia de efectos biológicos y antioxidantes naturales (Alqarni, Owayss y Mahmoud, 2012).

2.2.8.1- Color

La variación del color de las mieles proviene de distintos factores fisicoquímicos que esta misma puede presentar, podemos encontrar tonos casi incoloros hasta ámbar oscuro o rojizo, el color es un parámetro de calidad importante que está directamente relacionado con su origen botánico, contenido fenólico y condiciones de almacenamiento (Escuredo *et al.*, 2014; Ciulu *et al.*, 2016). Principalmente la coloración se presencia por medio de compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides y melanoidinas, los cuales también se asocian con la actividad antioxidante de la miel (Alqarni *et al.*, 2012; Khalil *et al.*, 2012).

2.2.8.2.- Humedad

Es un parámetro esencial para la determinación de la calidad, tiene influencia en su estabilidad, cristalización y susceptibilidad a la fermentación. Se tiene registro de que la miel madura presenta un contenido de agua entre 14 % y 20 %, sin embargo, este valor puede variar según el origen floral, condiciones climáticas y prácticas de extracción (Terrab *et al.*, 2004; Escuredo *et al.*, 2014).

El *Codex Alimentarius* (2001) y la Comisión Europea (2001) mencionan que la humedad en la miel no solo afecta su vida útil y seguridad alimentaria, además es un indicador de madurez y buenas prácticas apícolas, estos parámetros deben ser considerados y vigilados por los estrictos estándares internacionales de calidad.

2.2.8.3.- Acidez

Este parámetro se ve reflejado tanto su origen botánico como su estado de conservación. Por lo regular la miel puede presentar un pH desde ácido, entre 3.2 y 4.5, debido a la presencia de ácidos orgánicos (principalmente ácido glucónico), sales minerales y fosfatos (Bogdanov *et al.*, 1999; Saxena *et al.*, 2010). La acidez de la miel no solo afecta su sabor y propiedades sensoriales, sino que también se establece como un criterio de calidad y frescura, regulado en estándares internacionales y utilizado como indicador de posibles alteraciones fermentativas (*Codex Alimentarius*, 2001).

2.2.8.4.- Azúcares reductores

Los azúcares reductores son el componente principal de la miel y representan entre 65% y 85% aproximadamente del peso total de la miel. Están compuestos principalmente por fructosa y glucosa, los cuales, son monosacáridos capaces de reducir compuestos como el reactivo de Fehling debido a su grupo carbonilo libre (Bogdanov *et al.*, 1999; Saxena *et al.*, 2010). El *Codex Alimentarius* (2001) establece que el contenido de este parámetro debe ser al menos del 60% en mieles florales y del 45% en mieles de mielada, asegurando su autenticidad y madurez. Por otra parte, un valor menor podría indicar una cosecha prematura o adulterada.

2.2.8.5.- Enzimas

Proviene principalmente de las glándulas hipofaríngeas de las abejas y en menor medida del néctar de las flores. Su presencia y actividad son indicadores importantes de frescura, autenticidad y calidad (Bogdanov *et al.*, 1999; Thrasyvoulou *et al.*, 2018).

La invertasa (β -fructofuranosidasa) es la enzima más abundante en la miel, es responsable de la transformación de sacarosa del néctar en glucosa y fructosa. La diastasa (amilasa), que degrada almidones y dextrinas, la presencia de su actividad es indicador de frescura y ausencia de sobrecalentamiento o el almacenamiento prolongado (Codex Alimentarius, 2001; Thrasyvoulou *et al.*, 2018). La glucosa oxidasa participa en la producción de ácido glucónico y peróxido de hidrógeno, estos aportan tanto a la acidez natural de la miel como a su actividad antimicrobiana (Khalil *et al.*, 2012).

2.2.8.6.- Cenizas

El contenido de cenizas en la miel es característica de su composición mineral, se tiene registros de su relacionado con el origen botánico y geográfico de la muestra. Generalmente las mieles florales presentan valores bajos, usualmente entre 0.02 y 0.3 %, mientras que las mieles de mielada alcanzan valores más elevados, incluso superiores al 1 %, debido a su mayor concentración de minerales como potasio, calcio, magnesio y fósforo (Terrab *et al.*, 2003; Saxena *et al.*, 2010). Este parámetro se ha usado para diferenciar mieles florales de mieladas y como indicador de autenticidad y origen botánico (Bogdanov *et al.*, 1999). Se ha mencionado que el análisis de cenizas constituye un criterio complementario en la caracterización fisicoquímica y en la normativa internacional de la miel (Anklam, 1998).

2.2.9.- Elementos minerales

Los elementos minerales, se definen como elementos que se encuentran en la naturaleza sin formar parte de los seres vivos (componentes inorgánicos) (Ulloa *et al.*, 2010). Se ha determinado que participan en numerosas funciones, principalmente como constituyentes de los huesos, como vitaminas, hormonas y cofactores enzimáticos. La clasificación de estos está en relación con las necesidades de ingesta diaria, divididos en tres grandes grupos: macroelementos (calcio, magnesio, potasio y fósforo), Microelementos (cromo, cobre, manganeso, cobalto, molibdeno, hierro, selenio y zinc)

estos en menor cantidad a 100 mg/día (Gallagher, 2013) y Oligoelementos, también llamados elementos traza, son elementos vitales para todas las células vivas, aun cuando se requieren en proporciones ínfimas (millonésima parte de un gramo) al día (Mataix y Carazo, 2005).

2.2.9.1.- Macroelementos

Se les llama macroelementos a los minerales que el ser humano necesita de manera cotidiana, el consumo recomendado debería ser mayor o igual a 100 mg/día. Los minerales que encontramos en esta clasificación son; Na, K, Cl, P, Ca, Mg y S (Bakircioglu *et al.*, 2016).

2.2.9.1.1.- Sodio

Es un elemento químico con el símbolo Na, de número atómico 11 y tiene un peso atómico de solo 22.9898 g/mol. Podemos encontrarlo en casi todas las fuentes de alimentos de forma natural (Housecroft y Sharpe, 2008), la principal fuente de sodio es la sal común (NaCl). Tiene un papel esencial en el reparto del agua en el organismo. Demasiado sodio en el sistema provoca aumento de presión en las arterias (hipertensión) y retención de líquidos (Gil *et al.*, 2009).

El Na⁺ es el principal catión del Líquido Extracelular (LEC), interviene en otras funciones como; el equilibrio ácido-base, cada vez que existe una secreción de H⁺ al filtrado tubular se reabsorbe un ión Na⁺. La excitabilidad celular, depende del gradiente de sodio (Na⁺) a través de la membrana, que almacena energía, los estímulos provocan la entrada rápida de Na⁺, la membrana se despolariza provocando un potencial de acción que se propaga, consiguiendo transmitir impulsos nerviosos o causar contracciones musculares. El Na⁺ participa como el principal determinante de la presión osmótica del medio extracelular (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.1.2.- Potasio

Elemento químico con el símbolo K número atómico 19 y peso atómico de 39.098 g/mol. Puede ser encontrado en vegetales de hoja verde, frutas, patatas, carne, pan, leche y frutos secos (Caceres *et al.*, 2006).

La participación de este mineral a nivel celular tiene diversas aplicaciones específicas en la misma, entre las que se contribuyen la regulación del volumen y pH, síntesis de ADN y de estructuras proteicas, crecimiento, potencial de reposo de membrana, actividades neuromusculares y cardíaca (Herrera *et al.*, 2014). Durante la síntesis proteica el K^+ estabiliza la estructura ribosomal y favorece la unión de ARNt y ARNm. Sin una concentración adecuada de este ion, los ribosomas se desensamblan y disminuye el índice de traducción (Ennis y Lubin, 1971; Cahn *et al.*, 1978).

2.2.9.1.3.- Cloro

Este gas está presente y actúa de manera fundamental como ayuda para el hígado en su función de eliminación de compuestos tóxicos. Su fuente principal es la sal común (NaCl) y las aceitunas, es por esto la relación que tiene con un adecuado consumo de sodio. La aportación mínima que realiza el KCl y $CaCl_2$ en la dieta tiene una retribución para el consumo de cloro, ya que en los compuestos antes mencionados se encuentra este elemento.

El Cl^- es el anión más abundante del líquido extracelular, junto con el Na^+ se encarga de mantener la osmolaridad extracelular e indirectamente contribuye a mantener la volemia. Participa en la formación del jugo gástrico, mediante las células parentales encontradas en la mucosa gástrica, formando HCl al intercambiar H^+ por el Na^+ y el Cl^- por el HCO_3^- , causando que al ser bastante estimulada la secreción del jugo gástrico el PH del plasma aumenta de manera ligera. La participación de los cloruros de sodio y potasio presentes en el plasma, regulan la hidratación de las proteínas plasmáticas, siendo un factor importante para la conservación de la viscosidad sanguínea (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.1.4.- Fosforo

Elemento químico con el símbolo químico P y el número atómico 15, con peso atómico de solo 30.9738 g/mol. Es catalogado como uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, aproximadamente el número 11 con un promedio de 0,01 %. Se puede encontrar principalmente en la materia orgánica dispersa, sedimentos y rocas sedimentarias (Roger, 2011).

Se puede mencionar que bioquímicamente este mineral es parte de los huesos, su asociación con lípidos para la formación de fosfolípidos, componentes indispensables de la membrana células y del tejido nervioso. Es necesario en la mayoría de los procesos enzimáticos y en la regulación de muchas proteínas, el tampón fosfato es el principal amortiguador intracelular y urinario.

Muchos compuestos orgánicos contienen fosfatos remanentes, como ésteres fosfato, y anhídrido, ácidos nucleicos, nucleótidos (principalmente ATP), fosfolípidos de membrana y metabolitos azúcar-fosfato. Las principales fuentes de origen animal son; productos lácteos, huevos, pescados. De origen vegetal las habas, las zanahorias, el trigo, los guisantes, las papas y los plátanos (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.1.5.- Calcio

Es un elemento químico con el símbolo Ca, número atómico 20 y un peso atómico de 40.08 g/mol (Emsley, 2001). Las principales fuentes de calcio en la dieta provienen de la leche y diversos productos lácteos, los vegetales en general son ricos en calcio, sin embargo, la presencia de ácidos fíticos y oxálicos contribuyen a la formación de sales cálcicas, mismas que impiden la absorción de este mineral, al igual, que un exceso de magnesio en la dieta (Herrera *et al.*, 2014).

La entrada de Ca en el citosol desde el exterior o interior de la célula, se unen de manera reversible a proteínas fijadoras de calcio para la modulación de acciones enzimáticas o proteicas. A nivel celular el calcio participa en diversos procesos como; crecimiento y división celular, contracción muscular, la estabilización, excitabilidad y permeabilidad de la membrana plasmática, la expresión génica, la neurotransmisión, la secreción y la acción endocrina y exocrina de hormonas, así como en el transporte de iones a través de la membrana. Participa en conjunto con el calcio en el mantenimiento de los huesos y dientes, también ayuda a mantener el pH de la sangre ligeramente alcalino y siendo un cofactor en la coagulación de esta (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.1.6.- Magnesio

Elemento químico con el símbolo Mg y el número atómico 12 y tiene un peso atómico de solo 24.3 g/mol. Se reporta que las fuentes principales de este mineral se encuentran en espinacas, legumbres, nueces, semillas y granos integrales. Además,

también se encuentra que las especias, nueces, cereales, cacao y vegetales (Emsley, 2001).

Este elemento participa en diversas funciones bioquímicas, entre las que destacan como Mg^{2+} para las funciones enzimáticas, excitabilidad neuromuscular, la síntesis de proteínas, la síntesis y estabilidad de ácidos nucleicos. Es necesario para que en la mitocondria exista la síntesis de ATP, la formación de complejo con el ATP (MgATP). La señalización celular requiere del complejo Mg^{2+} ATP para la fosforilación de proteínas y la síntesis del AMPc (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.2.- Microelementos

Catalogados como sustancias inorgánicas que aparecen y son necesarias en el cuerpo en pequeñas cantidades; bioquímicamente, se describe como un grupo de minerales dietéticos que son necesarios, pero a comparación de los macroelementos en una dosis mucho menor, siendo necesario para el correcto crecimiento, desarrollo y fisiología del organismo (Bailon, 2017); La mayoría de los microelementos (Cu, Fe, Mn, Mg, Se y Zn) desempeñan un papel vital como parte estructural en muchas enzimas (Gharibzahedi *et al.*, 2017).

2.2.9.2.1.- Cobre

Es un elemento químico con el símbolo Cu, número atómico 29 y un peso atómico de 63.5 g/mol (Reynolds, 2018). En la bioquímica es esencial en las reacciones de transferencia electrónica, forma parte de las cuproenzimas, en estas el cobre se encuentra unido a residuos de aminoácidos específicos, que participan en diversos procesos de respiración mitocondrial, metabolismo de neurotransmisores y melaninas, homeostasis del hierro, protección antioxidante, amidación de glicinil-péptidos para biosíntesis de neuropeptidos y formación de tejidos conectivos. El cobre también está vinculado a la biosíntesis de melanina y metabolismo de la dopamina. La fuente más importante de cobre en la dieta es el hígado, le siguen los alimentos marinos, las nueces y las semillas (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.2.2.- Hierro

Este elemento químico tiene el símbolo Fe, número atómico 26 y se conoce desde el principio de los tiempos. Tiene un peso atómico de 55.8 g/mol. Por su baja concentración es considerado como trazas del organismo. Sin embargo, desarrolla funciones importantes, siendo considerado esencial (Reynolds, 2018).

Existen alimentos con contenido en hierro hemo (10 %) tiene la característica de una mayor absorción, encontrado principalmente en carne, aves y peses. Hierro no hemo iónico (90 %) con menor absorción, es encontrado en cereales, frutas, legumbres, nueces, pan y verduras (Herrera *et al.*, 2014).

El hierro es un elemento de gran importancia en el organismo debido a su función esencial de captar, movilizar, reservar y liberar el oxígeno. Esta capacidad lo convierte en un participante clave de la respiración celular, actuando como el componente principal de las proteínas hemoglobina y mioglobina. El hierro participa en el metabolismo energético celular, se integran en moléculas esenciales para el proceso aerobio. Este elemento es constituyente de los citocromos, el citocromo c oxidasa y las proteínas ferrosulfuradas que son fundamentales en la cadena respiratoria (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.2.3.- Zinc

Se encuentra en la tabla periódica con el símbolo Zn, el número atómico 30 y un peso atómico de 65.4 g/mol (Reynolds, 2018). Participa en la síntesis de ADN y ARN, su deficiencia reduce la actividad de la *oxitimidinquinasa* que impide la incorporación de timidina en el ADN. Esta alteración del metabolismo se traduce en trastornos de reproducción celular y síntesis proteica, con retardo en el crecimiento y trastornos en aquellos sistemas donde el recambio celular es alto como la mucosa gastrointestinal, piel y áreas de cicatrización. Por otro lado, participa como regulador de diversas enzimas que se encuentran ancladas a la membrana celular, controlando su estructura y función. Las fuentes principales de este mineral son los crustáceos, levadura de cerveza, germen de trigo, leche y huevos (Herrera *et al.*, 2014).

2.2.9.2.4.- Manganeso

Este elemento químico tiene el símbolo Mn, con número atómico 25 y un peso atómico de 54.9 g/mol (Reynolds, 2018). Este metal se presenta como un coactivador

enzimático, intervienen en el metabolismo de las grasas y participa en el aprovechamiento de las vitaminas C, B1 y H. Está presente en pescados, crustáceos, cereales integrales y legumbres. Es uno de los elementos principales de los suplementos minerales (Emsley, 2001).

El Manganeseo interviene en el metabolismo energético y del nitrógeno, actuando en enzimas como el piruvato carboxilasa (gluconeogénesis) y la arginasa (detoxificación de amoníaco) (Wang *et al.*, 2019). También contribuye a la síntesis de aminoácidos y urea, siendo esencial para mantener la homeostasis nitrogenada. La deficiencia de Mn altera la actividad de estas enzimas, afectando la producción de energía y la eliminación de desechos nitrogenados (Erikson *et al.*, 2021).

2.2.9.2.5.- Aluminio

Exley (2016), menciona que vivimos en la era del aluminio, volviéndose inevitable la exposición e ingesta de este metal por el ser humano. El catión metálico libre del aluminio, Al^{3+} , es altamente reactivo biológicamente. Este elemento aun que se encuentra biodisponible no es esencial, por lo tanto, podría volverse toxico. El aluminio biológicamente reactivo se encuentra presente en todo el cuerpo humano, sin embargo, no se vuelve altamente toxico, por lo que no se conoce mucho sobre la intoxicación crónica por aluminio.

2.2.9.3.- Metales pesados

Son elementos con una densidad mayor de 5 g/cm^3 , relativamente mayor a la del agua y un número atómico superior a 20, tienen la característica de poder generar toxicidad en organismos vivos incluso en concentraciones bajas, debido a su capacidad de bioacumulación y persistencia en el medio ambiente (Tchounwou *et al.* 2012).

Aunque se menciona que estos metales pueden ser perjudiciales, muchos resultan esenciales en nuestra dieta y en algunos casos su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro, cobalto, cobre, manganeseo, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. Otros en cambio no cumplen una función fisiológica conocida, alteran la salud y es mejor evitarlos siempre. Se tiene registros que la absorción de metales no esenciales, como por ejemplo el Cd y Pb generan un desequilibrio, como consecuencia se presenta un estrés oxidativo, que se

asocia con una gran cantidad de enfermedades humanas (Mitchell *et al.* 2011; Khlifi *et al.* 2011)

2.2.9.3.1.- Plomo

Es clasificado como un xenobiótico, esto quiere decir que no es necesario para el organismo humano, por lo que no participa en alguna función fisiológica conocida. Sin embargo, sus efectos adversos intervienen negativamente sobre diferentes procesos bioquímicos esenciales, e incluso es tóxico a bajo niveles de exposición (Wang *et al.*, 2010; Ademuyiwa *et al.*, 2010).

Este metal pesado es a fin a los compuestos nitrogenados, por consecuencia puede existir una interacción con el ADN produciéndose ciertas alteraciones, llegando a afectar genes de expresión enzimática y de su actividad proteica. Registros señalan que puede provocar estrés oxidativo, causando daño al material genético (Ademuyiwa *et al.*, 2010). El plomo causa el aumento y disminución del número cromosómico celular, genera fragmentos acéntricos, aberraciones cromosómicas, un incremento en el intercambio de cromátidas hermanas, rupturas de cadena simple y doble de la hélice de ADN, entre otros marcadores a destacar, por consecuencia el material genético en células somáticas y sexuales queda vulnerable y expuesto (Wang *et al.*, 2010).

2.2.9.3.2.- Cadmio

Este elemento no se halla en el ambiente de manera natural como un metal puro, es más abundante en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el cinc, plomo y menas de cobre (Reynolds, 2018).

Los usos de este metal son muchos de parte de la industria, entre ellos los pigmentos en 9b%; en galvanización y electrodeposición en 7b% y como estabilizador de plásticos en 1.2b%, conductores eléctricos, productos de cloruro de polivinilo (PVC), fotoceldas, llantas, radiadores para automóviles, componentes electrónicos y elementos calefactores (Mead, 2011).

2.10 Contenido mineral de la miel

El contenido mineral de la miel es altamente variable, de 0.02 a 1.0 %, siendo el potasio cerca de la tercera parte de dicho contenido; la cantidad de potasio excede 10

veces a la de sodio, calcio y magnesio, los minerales menos abundantes en la miel son hierro, manganeso, cobre, fósforo y azufre (Ulloa *et al.*, 2010).

El contenido mineral de cada variedad de miel difiere de acuerdo con los recursos minerales del suelo (Suescún *et al.*, 2008). La variación en el color se atribuye a el contenido mineral, mieles más oscuras contienen un mayor contenido de minerales que mieles claras (Moniruzzaman *et al.*, 2014; Machado *et al.*, 2017).

2.11 Cuantificación de minerales en mieles

El contenido mineral de la miel puede ser determinado mediante una gran variedad de métodos analíticos, sin embargo, la mayoría requieren un pretratamiento de la muestra. La obtención de cenizas es uno de los métodos más usados, esta consiste en la calcinación de la miel en mufla, con el objetivo de eliminar la materia orgánica y obtener el residuo mineral. A partir de estas cenizas, los elementos pueden cuantificarse posteriormente mediante técnicas como la espectroscopía de absorción atómica (AAS) o la espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (Anklam, 1998; Conti y Botrè, 2001). Otro método común es la digestión ácida húmeda, en la que se emplean ácidos concentrados, como; HNO_3 , HCl o mezclas con H_2O_2 para descomponer la matriz orgánica, lo que facilita la cuantificación de elementos en equipos de alta sensibilidad como Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), capaces de detectar trazas de metales pesados (Tuzen *et al.*, 2007).

2.11.1.- Métodos espectrométricos

Los métodos espectrométricos se basan en el principio de medir la absorción de luz de un complejo coloreado que se forma al reaccionar un mineral con un reactivo específico, que en la mayoría de los casos es la combustión de la muestra atomizada. La intensidad del color tiene relación con la concentración del mineral mediante la ley de Beer–Lambert, lo que permite cuantificarlo de manera rápida y económica (Wieczorek *et al.*, 2022).

El proceso analítico requiere un tratamiento previo de la muestra, generalmente mediante digestión ácida o la calcinación de la muestra, con el fin de liberar los elementos minerales y obtenerlos en forma de solución acuosa apta para el análisis. Posteriormente,

la muestra líquida es nebulizada y convertida en un aerosol fino que se introduce en el sistema de atomización, ya sea una llama o un horno de grafito, donde se generan los átomos libres necesarios para la medición. La radiación emitida por una lámpara de cátodo hueco, característica de cada elemento, atraviesa esta nube atómica y la reducción de intensidad registrada corresponde a la cantidad del mineral presente en la muestra (Mohammed, 2021).

Wieczorek *et al.* (2022), mencionan que la espectrofotometría es una técnica útil para análisis de rutina, control de calidad y estudios ambientales o alimentarios, especialmente cuando se necesita un método accesible y reproducible.

2.11.1.1.- Espectrofotometría de absorción atómica (AAS)

Esta técnica es empleada en química analítica para la determinación del contenido en un analito respecto a sus elementos minerales disueltos en el mismo, se ha consolidado como una de las técnicas con un mayor índice de uso para la determinación de minerales debido a su sensibilidad, selectividad y la capacidad que tiene para detectar elementos en concentraciones mínimas o trazas.

El principio al cual esta técnica está ligada se resume a que los átomos libres en fase gaseosa son capaces de absorber radiación electromagnética en longitudes de onda específicas dependiendo el elemento, lo que permite tanto su identificación como su cuantificación (Lasi, 1990). Mohammed (2021), explica que la AAS es capaz de medir la concentración de los átomos dispersos en la fase gaseosa a mediante la detección de la radiación absorbida, siendo cada elemento capaz de absorber en longitudes de onda muy específicas.

López *et al.* (1986), aplicaron y demostraron la utilidad de la espectrofotometría de absorción atómica en la determinación de metales y mineralogía como cobre, hierro, zinc y manganeso en aguas de consumo humano, generando evidencias de la fiabilidad de la técnica en matrices complejas. López y Ovando (2012), resaltaron que la AAS representa un método rápido, sensible y versátil para la determinación de elementos como plata, zinc, plomo, hierro y cobre, subrayando su importancia en la caracterización de minerales.

2.11.1.2.- Espectrofotometría de emisión atómica (AES)

Esta es una técnica instrumental que se ha vuelto fundamental en el análisis de minerales, la capacidad para realizar determinaciones multielementales con una gran precisión. El principio de esta técnica centra sus bases en la excitación de los átomos mediante la aplicación de alta energía, esto se logra con una fuente de plasma o llama, esto ocasiona que los electrones pasen a estados de excitación y al regresar a su estado basal son capaces de emitir radiación en longitudes de onda que caractericen a cada elemento. La intensidad de esta emisión es proporcional a la concentración del elemento presente en la muestra, permitiendo su identificación y cuantificación (Lajunen, 2007).

Se ha mencionado que la espectrofotometría de emisión atómica, particularmente en su variante con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), constituye como una herramienta versátil, rápida y confiable para la determinación de minerales, recalando que es importante que la preparación de la muestra se realice de manera adecuada. Su capacidad multielemental y su sensibilidad la convierten en una técnica de referencia en la caracterización mineralógica y en el análisis de matrices ambientales y geológicas (Lajunen, 2007; Karpukhina *et al.*, 2021).

2.11.1.3.- Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)

Esta es una técnica analítica que ofrece una gran sensibilidad, la misma permite la determinación multielemental de trazas y ultratrazas. Su principio está basado en la introducción de la muestra (en forma de aerosol) hacia un plasma de argón donde los átomos se ionizan. Para posteriormente los iones generados se separan según su relación masa/carga (m/z) en un espectrómetro de masas, esto permite una cuantificación precisa (Wilschefski y Baxter, 2019).

Su aplicación ha trascendido a distintos usos, entre ellos la determinación de elementos traza en matrices ambientales, biológicas, alimentarias y geológicas, así como en estudios isotópicos y de especiación. Su capacidad para detectar concentraciones en niveles muy bajos como los son las partes por billón (ppb) o incluso menores, junto con su multielementalidad, estas características lo vuelven una herramienta esencial en control de calidad, trazabilidad, estudios avanzados de origen y contaminación (Wilschefski y Baxter, 2019; Van Acker *et al.*, 2023).

III.- Justificación

Las abejas sin aguijón (meliponinos), constituyen un grupo nativo y emblemático de insectos, los cuales se han domesticado de manera tradicional. Estas especies son endémicas de la región mesoamericana; y se tiene registros de su domesticación por parte de pueblos indígenas desde épocas prehispánicas para la producción de miel, cera, propóleos, entre otros productos de la colmena (Roubik, 2006; Reyes-González *et al.*, 2023).

Estas abejas denominadas nativas se han vuelto esenciales para la polinización de la flora local, incluyendo especies de importancia económica y cultural como *Tahonal* (*Viguiera dentata*), *Dzidzilché* (*Gymnopodium floribundum*) y diversas especies de la familia Fabaceae (Reyes-González *et al.*, 2023; García-Frapolli *et al.*, 2017).

La tradición cultural y la dependencia comercial de esta especie se enfrenta una grave amenaza. Se ha documentado la drástica disminución en el número de colmenas de *M. beecheii* en la región. Entre 1981 y 2004, se registró una disminución del 93 % en las colonias de esta abeja sin aguijón, en la zona maya de Quintana Roo. Esto podría con llevar consecuencias negativas, esperando que, en las décadas futuras, la tradición y crianza de las abejas (meliponicultura) pueda desaparecer (Villanueva-Gutiérrez *et al.*, 2005).

La miel de los meliponinos especialmente *Melipona beecheii* (*Xunnán kaab*), es reconocida por sus propiedades medicinales y culturales en la península de Yucatán. A pesar de su valor, no existen normativas oficiales que regulen su producción y comercialización en México. Diversas aportaciones a lo largo de las últimas décadas han contribuido al conocimiento de los parámetros fisicoquímicos de estas mieles. Se busca, a través de esta información, la creación de estándares de calidad para la miel de las abejas sin aguijón, para proporcionar normas que permitan establecer incentivos económicos a los meliponicultores, contribuir al cuidado de estas abejas nativas, lograr su propagación y reproducción responsable y preservar esta cultura prehispánicas.

IV.- Objetivos

4.1.- Objetivo general

- Determinar el contenido de minerales presentes en distintas mieles de abeja sin aguijón *Melipona beecheii* de la región sur-sureste de México.

4.2.- Objetivos específicos

- Obtener el contenido de cenizas totales en 11 mieles de *Melipona beecheii* mediante la técnica de calcinación.
- Obtener la concentración de seis minerales, Na, K, Ca, Mg, Fe y Al, y de dos metales pesados, Pb y Cd, presentes en la miel de abeja *Melipona beecheii*.

V.- Materiales y métodos

5.1.- Estrategia de trabajo

La determinación del contenido de minerales se realizó en mieles de la especie de abejas sin aguijón *Melipona beecheii* colectadas en distintas regiones de la península de Yucatán. Primeramente, se llevó a cabo la determinación del contenido total de minerales disueltos (cenizas) en cada miel mediante calcinación. Para la determinación de los minerales, las cenizas obtenidas fueron resuspendidas en un medio acuoso, el cual fue inyectado al equipo, atomizado y procesado para la lectura de los los minerales; K, Na, Ca, Mg, Fe, Pb, Cd y Al. La determinación y cuantificación se realizaron mediante la técnica de Espectrofotometría de Emisión Atómica (AES).

Se utilizaron muestras de miel recolectadas en los periodos de abril - mayo del 2023 y agosto – noviembre del 2024, provenientes de Calkiní, Campeche, Tankuché y Santa Cruz ex Hacienda, Maxcanú y Conkal, las cuales fueron recolectadas de manera personal de meliponarios activos para garantizar la autenticidad de la miel (Tabla 3). Las muestras fueron etiquetadas y almacenadas a 6°C.

Tabla 3. Lugar de origen, *meliponario* y numero de mieles de *Melipona beecheii*.

Especie	Abreviatura	Meliponanario	Región geopolítica
<i>Melipona beecheii</i> (Xunaan-Kaab)	M. Itescam	Itescam	Calkiní, Campeche
	M. Chan	Chankakab	Calkiní, Campeche
	M. Maxca	Particular	Maxcanu, Yucatán.
	M. Makj (clara)	Mak jobon	Tankuche, Calkiní, Camp.
	M. Makj (oscura)	Mak jobon	Tankuche, Calkiní, Camp.
	M. Fred (clara)	Fredy	Tankuche, Calkiní, Camp.
	M. Fred (oscura)	Fredy	Tankuche, Calkiní, Camp.
	M. S. Cruz	Particular	Santa Cruz Ex Hac., Camp.
	M. Conkal	Particular	Conkal, Yucatán
	M. La bonita	La bonita	Dzan, Yucatán
	M. Tahonal	Particular	Calkiní, Campeche

La locación geográfica de los *meliponarios* en donde se recolectaron las mieles analizadas se presenta en la Figura 7.

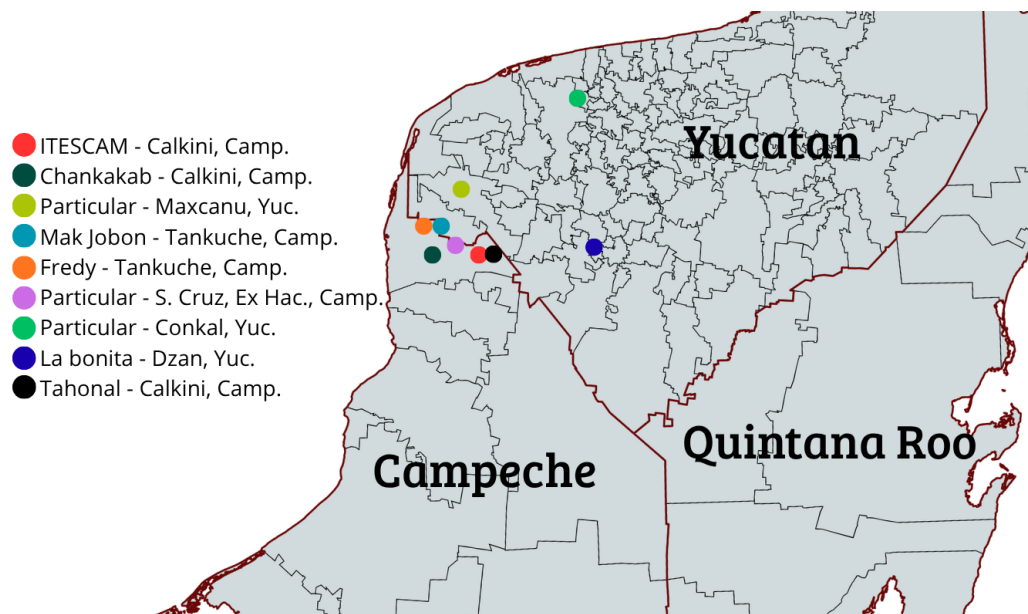


Figura 7. Distribución geográfica de los *meliponarios* dentro del sur-este de México.

5.2.- Metodología

5.2.1.- Determinación de cenizas totales

Para la determinación de cenizas totales fue siguiendo la norma NMX-F-036-NORMEX-2006, la cual señala el uso de 5 a 10 g de miel. Sin embargo, la cantidad de miel disponible para este estudio fue limitada. Además, se recurrió a el uso de métodos experimentales que señalan antecedentes adecuados para una reproducibilidad confiable.

Procedimiento

La metodología para la determinación de cenizas totales empleada en este trabajo consistió en obtener el peso constante de los crisoles de porcelana según la norma NMX-AA-034-SCFI-2015. Utilizando los crisoles a peso constante, se pesaron en una balanza analítica (Balanza analítica Adam Equipment modelo: PW 254, Inglaterra) 2 g de miel homogenizada (Ramirez-Miranda *et al.*, 2024; Ogidi *et al.*, 2020). Se colocaron los crisoles con las muestras sobre una placa de calentamiento (Corning Incorporated,

U.S.A.) donde fueron secadas y carbonizadas calentando la placa lentamente en forma progresiva utilizando temperaturas de 50, 100, 150, 200, 250 y 300 °C (Ogidi *et al.*, 2020) (Figura 8).

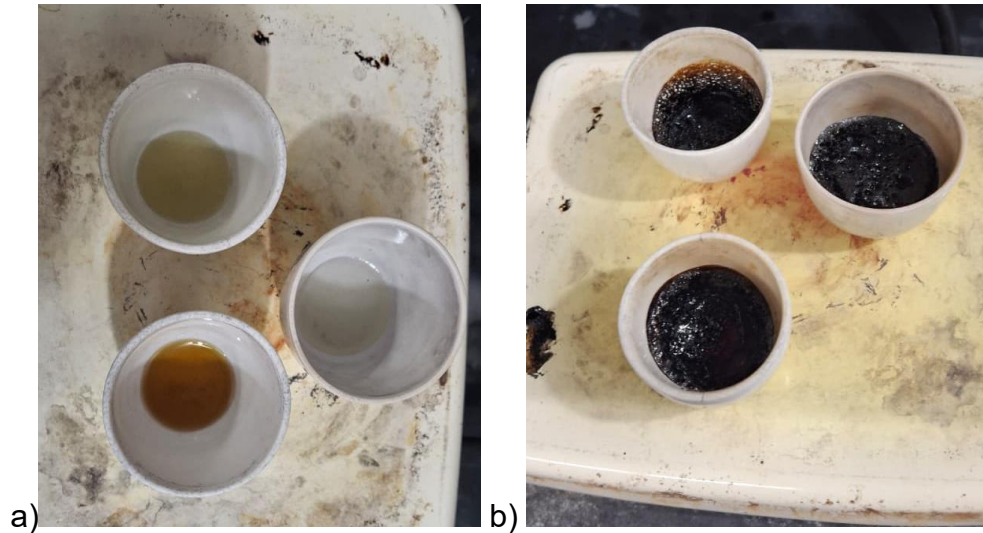


Figura 8. a) Antes de la carbonización, b) después de la carbonización de las muestras de miel.

Las muestras fueron introducidas a una mufla (Isotemp Muffle Furnace modelo: 550-14, México) y se calcinaron a 550 °C durante 5 horas (Figura 9).

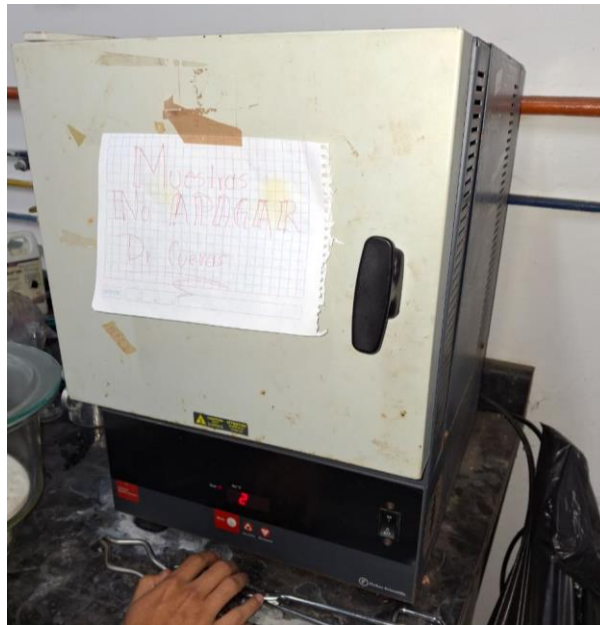


Figura 9. Preparación de mufla (Isotemp Muffle Furnace).

Para finalizar, los crisoles se atemperaron en un desecador de vidrio (Pyrex) (Figura 10) por 30 min. y se pesaron.

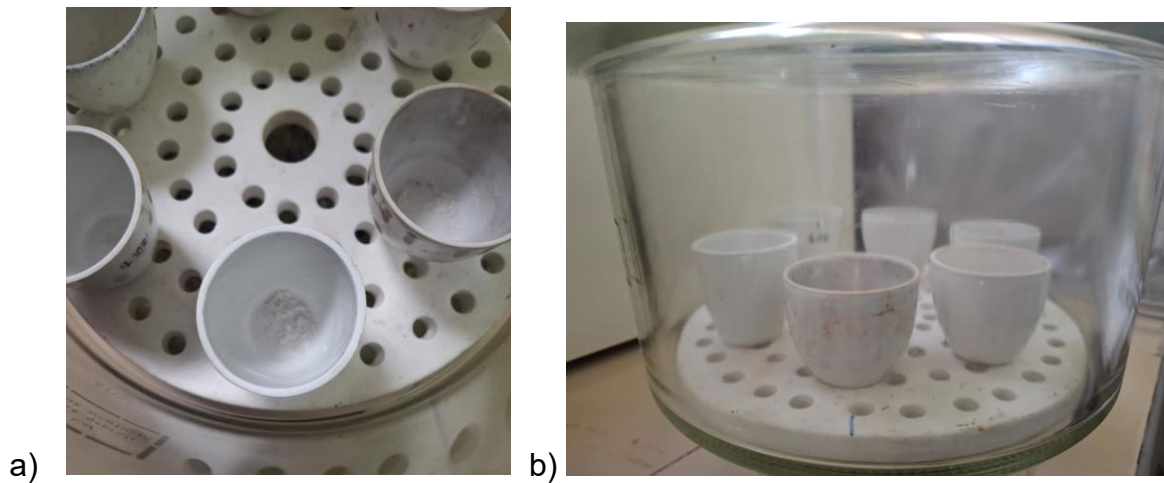


Figura 10. a) muestras calcinadas, b) crisoles en atemperación.

El porcentaje de cenizas se obtuvo mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\frac{m_{cmc} - m_{cv}}{m_{cm} - m_{cv}} \times 100 = \%.$$

Donde:

m_{cmc} : Masa del crisol con la muestra calcinada

m_{cv} : Masa del crisol vacío

m_{cm} : Masa del crisol con la muestra inicial

5.2.2 Determinación de los minerales de la miel

Para la preparación de la muestra se utilizó las cenizas obtenidas anteriormente y se empleó el método descrito por Gonzales *et al.* (2012) para la disolución o suspensión de las cenizas. La aplicación de la técnica de espectrofotometría de emisión atómica fue tomada de la metodología usada por Bağci *et al.* (2007).

Procedimiento

Las muestras de cenizas obtenidas previamente se suspendieron en Ácido Nítrico al 5% y se aforaron a 10 ml, posteriormente se filtraron (*Syringe filter*, 13 mm, PVDF), se envasaron y almacenaron a temperatura ambiente en un espacio con poca entrada de luz, para su posterior análisis.

5.2.3.- Condiciones analíticas

Todos los materiales para utilizar fueron lavados con detergente, secados y enjuagados con de ácido nítrico al 5 %, para no contaminar las muestras y no tener interferencias para la determinación de los minerales.

La determinación de minerales y metales se realizó utilizando un Espectrómetro de Emisión Atómica de la marca Agilent Technoogie modelo: 4200 MP-AES (Figura 11), midiendo la luz emitida por átomos excitados que regresan a su estado fundamental a la longitud de onda característica de cada elemento. Se utilizó nitrógeno como gas para generar el plasma, así como gas acarreador. Todos los análisis fueron realizados por duplicado.



Figura 11. Espectrómetro de emisión atómica, Campus de Ingeniería y Ciencias Exactas, UADY.

En la Tabla 4 se presenta la lista de los metales con sus respectivas longitudes de onda utilizadas en la programación del espectrómetro.

Tabla 4. Longitudes de onda (nm) de los minerales que se evaluaron.

Mineral	Símbolo	Longitud De Onda (λ)(nm)
Sodio	Na	589.592 nm
Potasio	K	766.491 nm
Calcio	Ca	422.673 nm
Hierro	Fe	371.996 nm
Magnesio	Mg	279.553 nm
Aluminio	Al	396.152 nm
Plomo	Pb	405.781 nm
Cadmio	Cd	508.582 nm

5.2.4.- Cálculos estadísticos

Los datos obtenidos del equipo de espectroscopia de emisión atómica fueron sometidos a un análisis estadístico, para el cálculo del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para ello se necesitó la ayuda del software Microsoft Excel 360 de la paquetería de Microsoft Office.

VI.- Resultados y discusión

En la Tabla 5, se muestra los porcentajes de cenizas totales obtenidas de las distintas mieles de *Melipona beecheii*, recolectadas en meliponarios representativos.

Tabla 5. Cenizas totales obtenidas de la miel de *Melipona beecheii*

Nombre de muestra	Región geopolítica	Cenizas (%)
1 M. Itescam	Calkiní, Campeche	0.244 ± 0.06
2 M. Chan	Calkiní, Campeche	0.392 ± 0.02
3 M. Maxca	Maxcanu, Yucatán.	0.309 ± 0.07
4 M. Makj (clara)	Tankuche, Calkiní, Camp.	0.037 ± 0.02
5 M. Makj (oscura)	Tankuche, Calkiní, Camp.	0.201 ± 0.04
6 M. Fred (clara)	Tankuche, Calkiní, Camp.	0.061 ± 0.01
7 M. Fred (oscura)	Tankuche, Calkiní, Camp.	0.172 ± 0.12
8 M. S. Cruz	Santa Cruz Ex Hac., Camp.	0.060 ± 0.20
9 M. Colkal	Conkal, Yucatán	0.258 ± 0.15
10 M. La bonita	Dzan, Yucatán	0.051 ± 0.03
11 M. Tahonal	Calkiní, Campeche	0.020 ± 0.2

Ante la falta de Normas Oficiales sobre la calidad de la miel de abeja sin aguijón, todos los resultados obtenidos fueron comparados con diversos estudios realizados por diversos autores que hacen referencia a mieles de meliponinos y Normas Oficiales Mexicanas para mieles de abeja *Apis mellifera*, como se muestra a continuación.

6.1.- Cenizas totales en Miel de abeja sin aguijón

La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1981), establece que el contenido de cenizas, según la norma NMX-F-036-1981, no se debe exceder de 0.60 % (g/100 g) en mieles de abeja. Los valores de cenizas totales (Tabla 5) obtenidos en este trabajo cumplen con las especificaciones que establece la norma mencionada con anterioridad. El menor porcentaje de cenizas se obtuvo de la miel de *Melipona beecheii* proveniente

del meliponario *Mak jobon* (clara) con un valor promedio del 0.037 % (Tankuche, Calkiní, Campeche). Así mismo, la miel del meliponario *Chankakab* (Calkiní, Campeche) presentó el mayor porcentaje con un promedio 0.39 %.

Algunos autores como Osuagwu *et al.* (2020), han obtenido resultados de cenizas con promedio porcentual del 0.67 % en mieles de la sabana de Guinea, Nigeria.

En mieles de otras especies se ha reportado porcentajes de 1.49 % (*Frieseomelitta paupera*) (Vit, 2009), 0.0061 % a 0.0472 % (*Scaptotrigona mexicana*) (Ortiz-Reyes *et al.*, 2022), 0.56 % (*Tetragonisca angustula*) (Mendieta, 2002), 0.90% (*Tetragonisca angustula*) (Vit, 2009), 0.09% (*Meliponula beccarii*) (Christopher, 2023), 0.63 % a 0.65 % (*Meliponula beccarii*) (Begna *et al.* 2024), 0.01 % a 0.60 % (*Melipona beecheii*) (Moo *et al.*, 2015), 0.0069 % a 0.0472 % (*Melipona beecheii*) (Ortiz-Reyes *et al.*, 2022), 0.03% (*Melipona beecheii*) (Mendieta, 2002) y 0.03 % (*Melipona beecheii*) (Meza *et al.*, 2025).

El contenido de cenizas presenta una variación dependiendo de la especie de abeja sin aguijón. Sin embargo, se ha mencionado que esta variación es influenciada por distintos factores, tales como el origen geográfico, el origen botánico, la actividad de las abejas, así como la técnica empleada en la extracción de la miel y las condiciones de almacenamiento de (Nnadi, 2020; Gamboa, 2014). Los diversos recursos vegetales y florales que la abeja visita desempeña un papel importante en la composición mineral de la miel de abejas sin aguijón (Christopher, 2023). Al encontrar un exceso de cenizas o minerales, puede ser indicador de la existencia de contaminación con tierra, lo que se interpretaría como malas prácticas de la cosecha y extracción (Meza *et al.*, 2025). Las mieles florales tienen en promedio cerca de 0.17 % de cenizas, dicho promedio es menor que el de las mieles mieladas (proviene de secreciones de plantas), las cuales, son más ricas en minerales (Calderón *et al.*, 1999).

6.2.- Contenido mineral

En la Tabla 6 se presentan las concentraciones de los minerales analizados en cada una de las 11 muestra de las mieles de *M. beecheii* evaluadas: M. Itescam (1), M. Chan (2), M. Maxca (3), M. Makj clara (4), M. Makj oscura (5), M. Fred clara (6), M. Fred oscura (7), M. S. Cruz (8), M. Colkal (9), M. La bonita (10) y M. Tahonal (11).

Tabla 6. Contenido mineral de las mieles de *M. beecheii* en mg/kg de miel (ppm)

Mues.	K	Na	Mg	Ca	Fe	Al	Pb	Cd
1	170.31±6.81	55.63±1.83	55.57±0.26	14.14±0.50	2.95±0.21	10.32±0.44	0.11±0.03	N/D
2	347.05±7.21	80.65±0.68	68.94±0.76	21.76±0.60	3.44±0.53	9.81±0.25	0.14±0.09	N/D
3	56.13±1.36	55.82±1.76	58.81±2.64	11.87±0.48	1.70±0.12	8.57±0.33	0.11±0.03	N/D
4	43.88±2.89	22.20±0.76	30.59±0.29	11.86±0.58	1.47±0.14	3.94±0.27	N/D	N/D
5	1785.45±2.4	68.12±2.51	36.23±0.27	12.73±0.84	2.76±0.07	N/D	0.21±0.02	N/D
6	43.68±1.66	12.02±0.58	25.54±0.39	9.60±0.26	2.92±0.17	7.03±0.31	N/D	N/D
7	1741.70±2.8	76.06±1.54	51.43±0.45	16.71±0.54	4.05±0.14	N/D	0.22±0.04	N/D
8	48.76±3.10	15.28±0.50	19.26±0.75	5.76±0.32	3.69±0.21	4.25±0.106	N/D	N/D
9	43.05±2.31	20.98±0.98	39.39±0.49	7.38±0.36	3.55±0.35	3.97±0.19	N/D	N/D
10	250.02±1.34	82.37±2.37	54.02±1.29	11.60±0.51	4.68±0.33	4.74±0.26	N/D	N/D
11	29.63±0.45	38.47±0.23	23.81±0.30	8.89±0.48	1.97±0.15	5.87±0.16	N/D	N/D

Los resultados obtenidos demuestran que el potasio (K) alcanzó en algunas muestras (5 y 6) valores elevados a los reportados usualmente por Mondragón *et. al* (2013) en mieles mexicanas de *Apis mellifera*, al igual que Biluca *et al.* (2016) y Bolívar (2014) en miles de *Melipona beecheii* colectadas en la península de Yucatán. Sin embargo, otros autores han reportado porcentajes similares respecto a otras especies de abejas sin aguijón. Nordin *et al.* (2018), reportaron valores para potasio de 1357.76 mg/100 g en mieles de *Scaptotrigona sp.* Por otra parte, los valores más bajos (3,4,6,8, 9 y 11), fueron similares a los reportados por Lavinas (2025) que oscilaron entre 48.18 mg/kg (mieles de Brasil), Dekamo (2019), entre 40.4 y 70.17 mg/kg (mieles de Etiopía) y de 27.3 a 179 mg/100 g⁻¹ (*Melipona quadriasciata*) (Biluca *et al.*, 2016). Las demás muestras (1,2 y 10) presentaron valores promedio ya reportados anteriormente en mieles de abejas sin aguijón: 376.65 a 603.68 mg/kg (Sauri-Duch y Hernández, 1994). Bolívar por su parte en el 2014, reportó valores que fueron de 224.68 a 733.60 mg/kg en mieles de *Melipona Beecheii*.

El mineral sodio presentó una variación significativa en cierta sección de muestras provenientes de Calkiní y Conkal (6, 8, 9 y 11), con un bajo contenido de este mineral. Se han reportados datos con anterioridad por Biluca *et al.* (2017) con valores que fluctuaron de 12.7 a 261 µg/g. Sauri-Duch y Hernandez (1994) determinaron valores que oscilaron entre 18.04 y 89.75 mg/kg en mieles de *Tahonal (Apis mellifera)*. Por lo general, el sodio es uno de los minerales con mayor presencia en las mieles de *meliponinos*, aunque en menor concentración que el potasio y muy semejante al magnesio.

Con respecto al mineral magnesio, las muestras que presentaron menor concentración fueron de las mieles de Calkiní, Campeche (Tahonal): 19.26 y 23.81 g/kg respectivamente (muestra 11), resultados muy similares a los datos publicados sobre mieles de la especie *Melipona mondury*: 17.3 g/g (Biluca *et al.*, 2016) y mieles de Tzi'tzil'ché: 21.68 g/kg (Sauri-Duch y Hernandez, 1994).

El mineral Calcio presentó valores de concentración bajos en todas las muestras. El valor más alto se encontró en la miel de Calkiní, Campeche (*Chankakab*): 21.76 g/kg y el menor en la miel de Santa Cruz, Calkiní: 5.76 g/kg. Estos resultados pueden ser comparados por los obtenidos por Biluca *et al.* (2016) en mieles de *Melipona mondury* quienes reportaron concentraciones en promedio de 21.03 mg/100 g, 14.09 mg/100g en mieles de *Melipona bicolor* y 5.78 mg/100 g en mieles de *Melipona rufiventris*.

Con respecto al mineral de Hierro, los valores obtenidos fueron menores. Sin embargo, dichos valores fueron consistentes y con poca variación entre muestras. Los valores coincidieron con los reportados reportados por otros autores. Bolívar (2014) reportó valores de 0.42 mg/kg a 17.23 mg/kg en mieles de *Melipona Beecheii*. Por otra parte, Kek *et al.* (2017), reportaron resultados de 6.57 mg/kg (*Melipona Beecheii*) y Sauri-Duch y Hernandez (1994), valores que oscilaron entre 3.79 y 8.45 mg/kg en miles de *Apis mellifera*.

El metal de Aluminio arrojó valores relativamente altos (entre 3.94 mg/gg y 10.32 mg/kg), tomando en cuenta que se trata de un contaminante del que solo debería existir trazas. Sin embargo, reportes de este metal en mieles de *Apis Mellifera* mencionan resultados similares, así, Sana, Ahmad *et al.* (2025), reportaron en su trabajo valores que fluctuaron de 5.13 mg/g a 9.08 mg/g para este elemento.

Con respecto al metal Plomo, los resultados más altos correspondieron a la miel de Santa Cruz, Calkiní, Campeche y los más bajos (0.11 mg/kg) a las muestras de Calkiní (Itescam) y Maxcanu, Yucatán. Resultados similares han sido reportados por Bolívar (2014). En el resto de las muestras no fue posible detectar este metal pesado, esto puede deberse a el método empleado no tiene una sensibilidad adecuada para detectar trazas tan pequeñas como partes por billón (ppb).

En el caso del metal Cadmio no fue posible determinar su concentración en ninguna muestra, la existencia de este contaminante no puede ser descartada. Sin embargo, un método con una mayor sensibilidad o el uso de una mayor cantidad de muestra podría permitir la determinación de este elemento.

VII.- Conclusiones

Los resultados obtenidos de cenizas totales para la mayoría de las muestras presentaron en promedio porcentajes esperados para las mieles de abejas sin aguijón. Todos los resultados de cenizas de las muestras cumplieron con los parámetros de la Norma Mexicana para mieles de *A. mellífera*, indicada en la cláusula NMX-F-036-1981. Las concentraciones de los diversos minerales analizados variaron en su generalidad. En algunas muestras los resultados obtenidos de algunos minerales presentaron variaciones significativas, y de otros la variación fue mínima. Las cenizas obtenidas en mieles de *Melipona beecheii*, presentaron distintos porcentajes en su concentración. Las mieles recolectadas en Calkiní, Campeche (*Chankakab*) y Maxcanú, Yucatán fueron las de mayor cantidad de cenizas totales.

La concentración de aluminio fue inusualmente alta. Sin embargo, ya se han reportados valores altos de Al en mieles anteriormente. Las muestras con mayor contenido de Al fueron las de Calkini (Itescam y *Chankakab*). Los metales Plomo y Cadmio, no fueron detectados en ninguna de las muestras con el método empleado.

Las mieles de Tankuche, Campeche: *Mak Jobon* clara y *Mak Jobon* oscura (misma procedencia y meliponario), presentaron coloración distinta fácilmente observable (una más oscura que la otra). Esto comprueba la hipótesis de la influencia del contenido de minerales en el color de la miel. Fue el mismo caso con las mieles del meliponario Fredy, con respecto a las mieles denominadas Clara y Oscura.

La composición de los minerales en las mieles puede contribuir a la definición del origen geográfico y floral de las mieles de las abejas sin aguijón *Melipona beecheii*, así como la detección de posibles contaminantes. El contenido de minerales es una de las características fisicoquímicas poco estudiadas de esta especie y se busca, a través de este trabajo, contribuir con información importante. Sin embargo, se recomienda realizar estas determinaciones a un mayor número de muestras de otras regiones de la península, para garantizar valores promedio de las mieles de esta especie de abejas.

VIII.- Referencias

1. Ademuyiwa, O., Agarwal, R., Chandra, R., y Behari, J.R., (2010). Effects of sub-chronic low-level lead exposure on the homeostasis of copper and zinc in rat tissues. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*.
2. Alqarni, A.S., Owayss, A.A., y Mahmoud, A.A., (2012). Physicochemical characteristics, total phenols and pigments of national and international honeys in Saudi Arabia. *Arabian Journal of Chemistry*.
3. Ramírez A., E.V., (2019). La importancia de la meliponicultura en México. Retos y oportunidades. Parte 2. Los saberes y conocimientos como parte de la seguridad alimentaria. In: Román-Montes de Oca, E. (Ed.), *Prácticas agropecuarias como estrategias de seguridad alimentaria*, pp. 103–129.
4. Álvarez-Suárez, J.M., Tulipani, S., Romandini, S., Bertoli, E., & Battino, M., (2010). Contribution of honey in nutrition and human health: A review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(1), 15–23.
5. Anklam, E., (1998). A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chemistry*, 63(4), 549–562.
6. Arnold, N., Zepeda, R., Vásquez-Dávila, M., & Maya, E.M., (2018). Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México; con catálogo de especies.
7. Ayala, R., (1999). Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomológica Mexicana*, 10, 106–123.
8. Bacab Canto, C., (2020). La abeja melipona en la cultura maya. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY).
9. Bailón, J., (2017). Minerales, sustancias inorgánicas esenciales.
10. Bakircioglu, D., Topraksever, N., Kizildere, M., & Kurtulus, Y., (2016). Investigation of macro, micro and toxic element concentrations of milk and fermented milk products by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer to improve food safety in Turkey. *Microchemical Journal*, 136, 133–138.
11. Barceló, R., (2006). La miel en occidente y oriente: historia y metodología. *Cuadernos de Nutrición*, 29, 254.

12. Begna, D., Motuma, G., Boki, S., Bekele, N., Kuru, T., & Chimdi, A., (2024). Physicochemical properties of stingless bees (*Meliponula beccarii*) honey in Dandi and Meta Robi districts of West Shewa zone, Ethiopia. *PLOS One*, 19(12).
13. Belitz, H.D., & Grosch, W., (1997). *Química de los alimentos*. Acribia.
14. 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.
15. Biluca, F., Gois, J., Schulz, M., Braghini, F., Gonzaga, L., Maltez, H., Rodrigues, E., Vitali, L., Micke, G., Borges, D., Costa, A., & Fett, R., (2017). Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (*Meliponinae*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 63, 89–97.
16. Bogdanov, S., Ruoff, K., & Oddo, L.P., (1999). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*, 30(4), 305–326.
17. Bogdanov, S., (2011). *The honey book*. Bee Product Science.
18. Bolívar, D., (2014). *Determinación del contenido de minerales de la miel de abeja nativa de Yucatán (Melipona beecheii)* [Tesis de licenciatura]. Instituto Tecnológico de Mérida.
19. Cáceres, E., García, M., & Selgas, M., (2006). Design of a new cooked meat sausage enriched with calcium. *Meat Science*, 73(2), 368–377.
20. Calderón, R.A., Arce, H., & Van Veen, J., (1999). Efectividad de algunos productos utilizados para el control de la varroasis en Costa Rica, pp. 24–26. In: *Memorias del V-VI Congreso Nacional de Apicultura*.
21. Camargo, J., & Pedro, S., (2007). *Meliponini Lepeletier*. En: Moure, J., & Urban, D. (Eds.), *Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the neotropical region*, pp. 272–578.
22. Cahn, F., Lakshmi, P., & Peterkofsky, A., (1978). Inhibition of elongation steps of protein synthesis at low potassium concentrations. *Journal of Biological Chemistry*, 253(22), 8075–8080.
23. Ciulu, M., Spano, N., Pilo, M.I., & Sanna, G., (2016). Recent advances in the analysis of phenolic compounds in unifloral honeys. *Molecules*, 21(4).

24. Codex Alimentarius, (2001). Revised codex standard for honey. Codex STAN 12–1981, Rev. 1 (1987), Rev. 2 (2001).
25. Conti, M.E., & Botrè, F., (2001). Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 69(3), 267–282.
26. De-Menezes, P.S.R., (2014). The stingless bee fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology*, 61(4), 348–354.
27. Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, (1999). Servicios de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. División de Toxicología y Medicina Ambiental.
28. Dekamo Lomiso, F., Dessalegn, E., & Nigussie, G., (2019). Determination of some essential minerals in honey samples collected from Chena District, Ethiopia. *Chemistry and Materials Research*, 11(7).
29. Emsley, J., (2001). Manganese. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido, pp. 249–253.
30. Ennis, H.L., & Lubin, M., (1971). Role of potassium in regulation of polysomes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 143(2), 365–375.
31. 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.
32. Erikson, K.M., Thompson, K., & Aschner, M., (2021). Manganese neurotoxicity: Mechanisms of injury, implications for human disease, and prevention strategies. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 636545.
33. European Commission, (2001). Council Directive 2001/110/EC of 20 December 2001 relating to honey. *Official Journal of the European Communities*, L10, 47–52.
34. Exley, C., (2016). The toxicity of aluminium in humans. *Morphologie: Bulletin de l'Association des Anatomistes*, 100(329), 51–55.
35. Figueroa-Mata, G., Prendas, J.P., Ramírez-Bogantes, M., Aguilar-Monge, I., Herrera-González, E., & Travieso, C., (2016). Identificación de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini). *Revista Tecnología en Marcha*, 29, 51.

36. Gallagher, M.L., (2013). Ingestion. The nutrients and its metabolism. In: Krause, Food, Nutrition and Diet Therapy. Elsevier, Rio de Janeiro, pp. 91–97.
37. García-Chaviano, M.E., Armenteros-Rodríguez, E., Escobar-Álvarez, M.C., et al., (2022). Composición química de la miel de abeja y su relación con los beneficios a la salud. *Revista Médica Electrónica*, 44(1), 155–167.
38. García-Frapolli, E., Castañeda, F., & Ordóñez, M., (2017). Traditional meliponiculture in the Yucatán Peninsula: Indigenous knowledge and biodiversity conservation. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13, 35.
39. Gamboa Abril, M.V., (2014). Estudio e identificación de características de composición y bioactividad propias de miel de mielato de *Apis mellifera* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
40. Gela, A., Hora, Z.A., Kebebe, D., & Gebresilassie, A., (2021). Physicochemical characteristics of honey produced by stingless bees (*Meliponula beccarii*) from West Showa zone of Oromia Region, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1).
41. Genaro, J.A., (2004). Las abejas de la isla de la juventud, Cuba (Hymenoptera: Apoidea). *Boletín de la S.E.A.*, 34, 177–179.
42. Gharibzahedi, S., & Jafari, S., (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119–132.
43. Gil-Antuñano, N.P., Zenarruzabeitia, Z.M., & Camacho, A.M.R., (2009). Alimentación, nutrición e hidratación en el deporte. Consejo Superior de Deportes.
44. Guiomar Nates-Parra, (2005). Abejas silvestres y polinización. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 75, 7–20.
45. González-Acereto, J., & De Araujo, C., (2005). Manual de Meliponicultura Mexicana. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Veterinaria y Zootecnia, Fundación Produce Guerrero A.C., México, 46 pp.
46. González-Acereto, J.A., (2008). Cría y manejo de abejas nativas sin aguijón en México. Planeta Impresores, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, 177 p.
47. González-Acereto, J.A., (2012). La importancia de la meliponicultura en México, con énfasis en la Península de Yucatán. *Revista Bioagrocencias*, 5, 34–41.

48. González, L., Rubio, C., Gutiérrez, A.J., Hernández, C., González-Weller, D., Revert, C., Castilla, A., Abreu, P., & Hardisson, A., (2012). Miel de palma: composición nutricional de un edulcorante natural. *Nutrición Hospitalaria*, 27(2), 548–552.
49. Hellmuth, N., Herrera, S., Mendoza, V., & Rivas Gálvez, M., (2024). Abejas sin aguijón. FLAAR Mesoamérica, Reserva de la Biósfera Maya (RBM).
50. Herrera, E., Ramos, M.P., & Viana, M., (2014). *Bioquímica básica*, 2ª ed. Editorial Médica Panamericana.
51. Hirst, K.K., (2018). *Ancient Maya Beekeeping*.
52. Housecroft, C., & Sharpe, A., (2008). *Inorganic Chemistry*, 3rd ed. Prentice Hall, Harlow, USA, pp. 305–306.
53. IPCS, (2002). International Programme on Chemical Safety. *Environmental Health Criteria: Copper*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 118(1), 234–252.
54. Karpukhina, E.A., Vlasova, E.A., Volkov, D.S., & Proskurnin, M.A., (2021). Comparative study of sample-preparation techniques for quantitative analysis of the mineral composition of humic substances by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. *Agronomy*, 11(12), 2453.
55. Kek, S.P., Chin, N.L., Tan, S.W., Yusof, Y.A., & Chua, L.S., (2016). Classification of honey from its bee origin via chemical profiles and mineral content. *Food Analytical Methods*, 10(1), 19–30.
56. Kerr, W.E., & De Lello, E., (1962). Sting glands in stingless bees, a vestigial character (Hymenoptera: Apidae). *Journal of the New York Entomological Society*, 70, 190–214.
57. Kerr, E.W., (1999). As Abelhas e o Meio Ambiente. In: XII Congresso Brasileiro de Apicultura, Salvador, BA, Brasil, pp. 50–58.
58. Khalil, M.I., Sulaiman, S.A., & Boukraa, L., (2012). Antioxidant properties of honey and its role in preventing health disorders. *The Open Nutraceuticals Journal*, 5, 82–91.
59. Khlifi, R., Olmedo, P., Gil, F., Hammami, B., Chakroun, A., Rebai, A., & Hamza-Chaffai, A., (2011). Arsenic, cadmium, chromium and nickel in cancerous and healthy tissues from patients with head and neck cancer. *Science of the Total Environment*, 452–453, 58–67.
60. Lajunen, L., (2007). *Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission*, 2nd ed. Royal Society of Chemistry.

61. Lasi, R.R., (1990). La espectrofotometría de absorción atómica. Conceptos, instrumentación y técnicas. Anales – CIDEPINT, 119–156. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
62. Lavinas, F.C., Gomes, B.A., Silva, M.V.T., Lima, R., Leitão, S.G., Moura, M.R.L., Simas, R.C., Barbosa, R.F., Silva, F.O., Carneiro, C.S., & Rodrigues, I.A., (2025). Rainy and dry seasons are relevant factors affecting chemical and antioxidant properties of Meliponini honey. Foods, 14(2), 305.
63. Lello, E., (1976). Adnexal glands of the sting apparatus in bees: anatomy and histology. V (Hymenoptera: Apidae). Journal of the Kansas Entomological Society, 49, 85–89.
64. López Martínez, M.C., Romero Ruiz, J., Romero Monreal, L., & García-Villanova, R., (1986). Determinación por espectrofotometría de absorción atómica de Cu, Fe, Zn y Mn en aguas de consumo de la provincia de Granada. Ars Pharmaceutica, 27(1), 47–56.
65. López Vergara, S., & Ovando Velásquez, E.R., (2012). La espectroscopía de absorción atómica en el análisis de minerales: Ag, Zn, Pb, Fe y Cu [Tesis de licenciatura]. Universidad Mayor de San Andrés.
66. Machado De-Melo, A., Almeida-Murandian, L., Sancho, M.T., & Pascual Maté, A., (2017). Composition and properties of Apis mellifera honey: A review. Journal of Apicultural Research, 57(13), 1–33.
67. Mataix, J., & Carazo, E., (2005). Minerales I. Visión general: estructura química, clasificación y aporte alimentario. En: Mataix, J., & Carazo, E. (Eds.), Nutrición para educadores, 2ª ed., Editorial Díaz de Santos, Madrid, p. 728.
68. Mduda, C.A., Hussein, J.M., & Muruke, M.H., (2023). Discrimination of honeys produced by Tanzanian stingless bees (Hymenoptera, Apidae, Meliponini) based on physicochemical properties and sugar profiles. Journal of Agriculture and Food Research, 14.
69. Mead, M., (2011). Confusión por el cadmio: ¿Los consumidores necesitan protección? Noticias de Salud Ambiental. Salud Pública Mex, 53, 178–185.
70. Mediz, B.A., (1971). El maya y la miel. Maldonado Editores, Lecturas yucatecas, Mérida, Yucatán, pp. 1–22.

71. Mendieta Carrillo, J., (2002). Comparación de la composición química de la miel de tres especies de abejas (*Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* y *Melipona beecheii*) de El Paraíso, Honduras.
72. Meza, J., Alcalá Escamilla, K.I., Checa Ramírez, A.E., Andrade Collahuazo, J.A., & Cantos Cruz, M.V., (2025). Estudio comparativo de variables fisicoquímicas entre mieles de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii* de la región Norte de Ecuador. Actas del IX Congreso de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología.
73. Michener, C.D., (1974). The social behavior of the bees. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 404 p.
74. Michener, C.D., (2000). The bees of the world. JHU Press.
75. Michener, C., (2007). The bees of the world. Johns Hopkins University Press, New York.
76. Mitchell, E., Frisbie, S., & Sarkar, B., (2011). Exposure to multiple metals from groundwater: A global crisis—Geology, climate change, health effects, testing, and mitigation. *Metallomics*, 3(9), 874–908.
77. Mohammed, A.M., (2021). Elemental analysis using atomic absorption spectroscopy. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 6(7), 52–56.
78. Moo-Huchin, V.M., González-Aguilar, G.A., Lira-Maas, J.D., Pérez-Pacheco, E., Estrada-León, R., Moo-Huchin, M.I., & Sauri-Duch, E., (2015). Physicochemical properties of *Melipona beecheii* honey of the Yucatán Peninsula. *Journal of Food Research*, 4(5), 25–32.
79. Mondragón-Cortez, P., et al., (2013). Physicochemical characterization of honey from the West region of Mexico. *International Journal of Food Properties*, 16(7), 1482–1494.
80. Moniruzzaman, M., Zaman, M., Abdur, M., Amrah, S., & Hua Gan, S., (2014). Determination of mineral, trace element, and pesticide levels in honey samples originating from different regions of Malaysia compared to Manuka honey. *BioMed Research International*.
81. Nogueira, N.P., (1997). Vida e Criação de Abelhas Indígenas Sem Ferrão. Editorial Nogueirapis, Brasil, 446 p.

82. 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.
83. NMX-AA-034-SCFI-2015, (2015). Análisis de agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en agua – Método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*.
84. Nnadi, P.C., (2020). Determinación y evaluación comparativa del contenido mineral de la miel, obtenido de la Universidad Estatal de Rivers, Arboreto Forestal y Mercado Local de Port Harcourt. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 24(9), 1593–1597.
85. Ogidi, O.I., & Otenep, E.J., (2020). Determination of nutritional properties of honey from *Apis mellifera*. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 5(1), 23–26.
86. Osuagwu, O.S., Oyerinde, A.A., Onipede, A.S., & Ombugadu, A., (2020). Comparative studies of the physicochemical properties and mineral elements of honey produced in the Guinea Savannah zones of Nigeria. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 24(5).
87. Ortiz Reyes, L.Y., Quiroz-García, D.L., Arreguín-Sánchez, M.L., & Fernández Nava, R., (2022). Origen botánico y caracterización fisicoquímica de la miel de meliponinos (Apidae: Meliponini) de Teocelo, Veracruz, México. *Polibotánica*, 54, 153–170.
88. O'Toole, C., (1993). Diversity of native bees and agroecosystems. In: LaSalle, J., & Gauld, I.D. (Eds.), *Hymenoptera and Biodiversity*. Commonwealth Agricultural Bureau International, Wallingford, UK, pp. 169–196.
89. Paredes-Bracho, A., (2022). Riqueza de especies de abejas nativas amazónicas sin aguijón de los géneros *Melipona* y *Tetragonisca* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) y usos de su miel según los pobladores de la comunidad Etno-ecológica Pablo López de Oglán Alto, cantón Arajuno – provincia de Pastaza – Ecuador.
90. Paris, E.H., Briceño Castrejón, V., Walker, D.S., & Lope, C.P., (2020). Los orígenes de la apicultura maya sin aguijón. *Journal of Ethnobiology*, 40, 386–405.
91. Pat, L.A., Hernández, P., Pat, J.M., & Guizar, F., (2016). Situación actual y perspectivas de la meliponicultura en comunidades aledañas a la Reserva de la Biosfera Los Petenes. *Informe Final del Estudio Técnico*. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Campeche, México, 60 p.

92. Pila, M.N., Ruiz, D.L., Colasurdo, D.D., & Allegretti, P.E., (2022). Compuestos del azufre y fósforo. Libros de Cátedra.
93. Portuondo, F.E., & Fernández, T.J., (2004). Biodiversidad del orden Hymenoptera en los macizos montañosos de Cuba oriental. Boletín de la SEA, 35, 121–136.
94. Punto a Parte Editores, (2024). El maravilloso mundo de las abejas latinas. Programa Cómo ser amigo de las abejas latinas / GIZ.
95. Quezada-Euán, J.J.G., May-Itzá, W. de J., & González-Acereto, J.A., (2001). Meliponiculture in México: Problems and perspectives for development. Bee World, 82, 160–167.
96. Ramírez A., E.V., (2019). La importancia de la meliponicultura en México. Retos y oportunidades. Parte 2. Los saberes y conocimientos como parte de la seguridad alimentaria. In: Román-Montes de Oca, E. (Ed.), Prácticas agropecuarias como estrategias de seguridad alimentaria, pp. 103–129.
97. Ramírez-Miranda, I., Moguel-Ordóñez, Y., & Betancur-Ancona, D., (2024). Comparison of physico-chemical properties of honeys produced by *Melipona beecheii* bees from low deciduous forest at harvest and post-harvest seasons. Journal of Food and Nutrition Research, 63(2), 185–195.
98. Rao, K.T., Krishnan, N., 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), 657–664.
99. Reinolds, J., 2018. Periodic table.
100. Reyes-González, V., Villanueva-Gutiérrez, R., & Pérez-Ramírez, R., (2023). Diversity and traditional management of stingless bees in Yucatán, Mexico. Ethnobiology and Conservation, 12, 14.
101. Rodríguez, R.A., Cuéllar, L.L., Maldonado, C.G., et al., (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. Rev Cubana Invest Bioméd, 35(3), 251–271.
102. Roger, M., (2011). The Minerals You Need. Safe Goods Publishing, USA, 21 p.
103. Roubik, D.W., (2006). Stingless bee nesting biology. Apidologie, 37, 3–15.
104. Sabir, A., Agus, A., Sahlan, M., & Agussalim, (2021). The minerals content of honey from stingless bee *Tetragonula laeviceps* from different regions in Indonesia. Livestock Research for Rural Development, 33, Article 22.

105. Sauri Duch, E., & Hernández Chávez, J.D.C., (1994). Characterization of honeys gathered from Tahonal (*Viguiera dentata*, var. *heliantoides*) and Tzi'tzil'che (*Gimnopodium antigonoides*, Blake) flowers by their mineral content utilizing discriminant analysis. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 34(4).
106. Sana, A., Ahmad, W., Anwar, F., Ismail, H., Farid, M., Ayub, M.A., Sumrra, S.H., Emenike, C., Starowicz, M., & Zubair, M., (2025). Multifactorial evaluation of honey from Pakistan: Essential minerals, antioxidant potential, and toxic metal contamination with relevance to human health risk. *Foods*, 14(14), 2493.
107. Sakagami, S.F., (1982). Stingless Bees. In: *Social Insects*, Vol. III, Academic Press, pp. 361–423.
108. Saxena, S., Gautam, S., & Sharma, A., (2010). Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. *Food Chemistry*, 118(2), 391–397.
109. Schencke, C., Vásquez, B., Sandoval, C., & del Sol, M., (2016). El rol de la miel en los procesos morfofisiológicos de reparación de heridas. *International Journal of Morphology*, 34(1), 385–395.
110. Secretaría de Economía, (2007). NMX-F-036-NORMEX-2006: Alimentos. Miel. Especificaciones y métodos de prueba.
111. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, (1981). NMX-F-036-1981. Miel de abeja. Especificaciones. Dirección General de Normas, México.
112. Sousa, M.B., *et al.*, (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in the Brazilian semi-arid region. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 645–651.
113. Syafrizal, D., Sila, & Bratawinata, M., (2012). Diversity of kelulut bee (*Trigona* spp.) in Lempake education forest. *Mulawarman Scientific*, 11.
114. Slaa, E.J., Sánchez Chaves, L.A., Malagodi-Braga, K.S., & Hofstede, F.E., (2006). Stingless bees in applied pollination: Practice and perspectives. *Apidologie*, 37, 293–315.
115. Suescún, L., & Vit, P., (2008). Control de calidad de la miel de abejas producida como propuesta para un proyecto de servicio comunitario obligatorio, Vol. I. Fuerza Farmacéutica.

116. Terrab, A., Díez, M.J., & Heredia, F.J., (2004). Palynological, physicochemical and colour characterization of Moroccan honeys: I. River red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) honey. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(4).
117. Thrasyvoulou, A., Tananaki, C., & Goras, G., (2018). The quality and adulteration of commercial honey in Europe. *Bee World*, 95(3), 85–91.
118. Tuzen, M., Silici, S., Mendil, D., & Soylak, M., (2007). Trace element levels in honeys from different regions of Turkey. *Food Chemistry*, 103(2), 325–330.
119. Ulloa, J., Mondragón, P., Rodríguez, R., Reséndiz, J.Y., & Rosas, P., (2010). La miel de abeja y su importancia. *Revista Fuente*, 2(4), Nayarit, México, 1–4.
120. U.S. Geological Survey, (2008). Mineral Commodity Summaries. United States Government Printing Office, Washington.
121. Van Acker, T., Theiner, S., Bolea-Fernandez, E., Vanhaecke, F., & Koellensperger, G., (2023). Inductively coupled plasma mass spectrometry. *Nature Reviews Methods Primers*, 3(1), 1–23.
122. Vit, P., (2009). Caracterización físicoquímica de mieles de abejas sin aguijón (Meliponini) de Venezuela. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 40(2), 7–12.
123. Villanueva-Gutiérrez, R., Roubik, D.W., & Colli-Ucán, W., (2005). Extinction of *Melipona beecheii* and traditional beekeeping in the Yucatán Peninsula. *Bee World*, 86(2), 35–41.
124. Wang, J., Han, S., & Zhang, L., (2019). Structural insight into the binuclear manganese cluster of human arginase I. *Journal of Biological Chemistry*, 294(5), 1751–1762.
125. Wang, Q., Zhao, H., Chen, J., Hao, Q., Gu, K., Zhu, Y., et al., (2010). Delta-aminolevulinic acid dehydratase activity, urinary delta-aminolevulinic acid concentration and zinc protoporphyrin level among people with low level of lead exposure. *International Journal of Hygiene*, 53, 178–185.
126. Weaver, N., & Weaver, E.C., (1981). Beekeeping with the stingless bee *Melipona beecheii* by the Yucatecan Maya. *Bee World*, 62, 7–19.

127. Wieczorek, D., et al., (2022). Determination of phosphorus compounds in plant tissues. *Plant Methods*, 18, Article 76.
128. Wille, A., (1983). Biology of the stingless bees. *Annual Review of Entomology*, 28, 1–64. Museum of Entomology, University of Costa Rica.
129. Wilschefski, S.C., & Baxter, M.R., (2019). Inductively coupled plasma mass spectrometry: Introduction to analytical aspects. *Clinical Biochemist Reviews*, 40(3), 115–133.
130. Yavuz Bağcı, D., Arslan, D., Ozcan, M.M., & Dursun, N., (2007). Determination of the mineral content of bee honeys produced in Middle Anatolia. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(7), 567–575.
131. Zrałka, J., Helmke, C., Sotelo, L., & Koszkuł, W., (2018). El descubrimiento de una colmena y la identificación de apiarios entre los antiguos mayas. *Latin American Antiquity*, 29, 514–531.