



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química

Colegio de Ingeniería en Alimentos

Licenciatura en Ingeniería en Alimentos

TESIS

Título de Tesis

Caracterización nutrimental de miel de distintas especies de abeja en el municipio de Xicotepec de Juárez, Puebla

Que presenta:

Sergio Manuel Bautista Mota

Para obtener el grado de:

Licenciado en Ingeniería en Alimentos

Director de Tesis:

Dra. María Elena Ramos Cassellis

Codirector de Tesis:

Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio

H. Puebla de Z. Diciembre del 2025



BUAP

Oficio No. FIQ/AC/108/2025
Asunto: Registro de Tema de Tesis.

C. SERGIO MANUEL BAUTISTA MOTA
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA EN ALIMENTOS
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos cuyo título es el siguiente:

“Caracterización nutrimental de miel de distintas especies de abeja en el municipio de Xicoteppec de Juárez, Puebla”

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

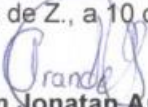
CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: Dra. María Elena Ramos Cassellis.
Co-Directora de Tesis: Dra. María Dolores Castañeda Antonio.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO**.

Atentamente
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 10 de julio de 2025


Dr. Rubén Jonatan Aranda García
Secretario Académico



C.c.p. Directora de Tesis: Dra. María Elena Ramos Cassellis.
C.c.p. Co-Directora de Tesis: Dra. María Dolores Castañeda Antonio.
C.c.p. Archivo.



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Examen profesional

Asignación de jurado

Ingeniería Química ()
Ingeniería Ambiental ()
Ingeniería en Alimentos (X)
Ingeniería en Materiales ()

Nombre del sustentante: Sergio Manuel Bautista Mota

Matrícula: 201905826

Generación: 2019

Tema de tesis profesional denominado: Caracterización nutrimental de miel de distintas especies de abeja en el municipio de Xicotepec de Juárez, Puebla

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Juan José Luna Guevara

Secretario: Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez

Vocal 1: Dra. María Elena Ramos Cassellis

Vocal 2: Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio

Modalidad: Presencial

Hora 11:am día martes Fecha 16 de diciembre del 2025

COORDINACIÓN DE TITULACIÓN

M.I. JUAN CARLOS PICHARDO MACÍAS

M. CARLOS HERNANDEZ MACEDA

Vo. Bo.

D.C. María Elena Ramos Cassellis
Director de Tesis

D.C. Ma. Dolores Castañeda Antonio
Codirector de Tesis



**Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



CIUDAD UNIVERSITARIA

**Mtro. Omar Gerardo Aguirre Ibarra
Director de la Administración Escolar
De la BUAP.
Presente**

**ASUNTO:
AUTORIZACIÓN
IMPRESIÓN DE TESIS**

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería en Alimentos

Sergio Manuel Bautista Mota

Quién presenta como tema de tesis:

**Caracterización nutrimental de miel de distintas especies de abeja
en el municipio de Xicotepec de Juárez, Puebla**

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

“Pensar Bien, para Vivir Mejor”
H. Puebla de Z., a 20 de noviembre de 2025

Director de Tesis
Dra. María Elena Ramos Cassellis

Codirector de Tesis
Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio

Agradecimientos

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por permitirme formar parte del alumnado en este programa educativo que hoy me permiten recibirme como ingeniero.

A la Facultad de Ingeniería Química por las materias y el profesorado calificado que a lo largo de mi travesía me educaron, formaron y abrieron las puertas a nuevos retos a los cuales, gracias a ellos, ahora estoy ansioso por recibir.

A mi directora de tesis, la Dra. María Elena Ramos Cassellis por quien gracias a su tutela y asesoramiento logré superar barreras y dificultades en el desarrollo de este proyecto.

A mi codirectora la Dra. Ma. Dolores Castañeda Antonio que, aunque nuestra convivencia fue breve, me ayudo a reforzar mis conocimientos, aumentar mis saberes y cuyo apoyo fue invaluable en esta investigación

A mis sinodales la Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez y el Dr. Juan José Luna Guevara por dedicar tiempo a la revisión de este trabajo y brindarme puntos de apoyo para perfeccionarlo.

Finalmente, agradezco al profesorado que, aunque no era su obligación, me brindaron opiniones, ideas y breves guías con las cuales pude direccionar de mejor manera mi proyecto, complementar experimentos y desarrollar conocimientos que, sin darme cuenta, pude explorar en mayor detalle a lo largo de la elaboración y fundamentación de mi tesis.

Dedicatorias

Dedico la elaboración de este trabajo a las personas que formaron parte de mi vida en esta etapa de desarrollo profesional.

En primera instancia a mi abuelita Virginia Reyes Concha, a quien guardo un enorme amor, cariño y respeto pues, gracias a ella mi familia se puede sostener y muy en particular, gracias a ella puedo hoy culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre Laura Mota Reyes, mi guía moral, por ti hoy soy quien soy, tu amor y apoyo incondicional siempre me impulsaron a ser mejor persona, y lo seguirán haciendo hasta el final de mis días.

A mi tío Armando Mota Reyes, quien fue y sigue siendo soporte en la unidad de mi familia y cuya presencia nunca faltó tanto en momentos de luz como de oscuridad.

A mis hermanos Jesús Bautista Mota y Juan Andrés Bautista Mota quienes me dieron su apoyo y cariño en cada etapa de mi vida.

Agradezco especialmente a mi familia en Tenango de las Flores, por quienes este proyecto hoy ve la luz, la comunicación, apoyo y amor que perduraron a través del tiempo y la distancia son pilar de mi actual logro académico.

Por último, quiero agradecer a mis amigos hechos a lo largo de mi vida académica, su apoyo y calidez fue y sigue siendo un respiro de las diferentes adversidades que he enfrentado tanto personal como académicamente, todos han sido un apoyo emocional muy importante para mí.

Gracias a todos quienes han formado parte de mi vida.

Ad Astra, Per Aspera.

Índice

Capítulo I: Generalidades.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivo general.....	4
1.5 Objetivos específicos.....	4
1.6 Hipótesis.....	5
Capítulo II: Antecedentes.....	5
2.1 Marco contextual.....	5
2.2 Marco teórico.....	11
2.2.1 Biología y productos de las abejas.....	11
2.2.2 Geografía del sitio.....	12
2.2.3 Caracterización de la miel.....	14
2.2.4 Métodos antioxidantes.....	17
2.2.5 Análisis de compuestos funcionales.....	19
2.2.6 Evaluación sensorial.....	21
Capítulo III: Metodología.....	23
3.1 Etapa 1: Caracterización de las muestras.....	24
3.1.1 Recolección de muestra.....	24
3.1.2 Pruebas fisicoquímicas.....	25
3.2 Etapa 2: Actividad antioxidante y compuestos fenólicos totales.....	28
3.2.1 Actividad antioxidante lipofílica (Ensayo DPPH).....	28
3.2.2 Actividad antioxidante total (Ensayo ABTS•+).....	29
3.2.3 Contenido fenólico total (Ensayo Folin-Ciocalteu).....	31
3.3 Etapa 3: Perfil de compuestos antioxidantes.....	32
3.3.1 Preparación de la muestra por Extracción Líquido-Líquido Asistida por Extracción con Ultrasonido (UAE-LLE).....	32
3.3.2 Perfil de compuestos funcionales por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS).....	32

3.4	Etapa 4: Pruebas sensoriales	33
3.4.1	Prueba afectiva de preferencia.....	33
3.4.2	Prueba descriptiva (Método Check-All-That-Apply (CATA)).....	34
3.5	Análisis estadístico de los datos	35
Capítulo IV: Discusión de los resultados		36
4.1	Etapa 1: Caracterización de las muestras	36
4.1.1	Características fisicoquímicas generales	36
4.1.2	Obtención del color por mapeo de píxeles.....	40
4.2	Etapa 2: Actividad antioxidante y compuestos fenólicos totales.....	42
4.2.1	Ensayo DPPH.....	42
4.2.2	Ensayo ABTS•+.....	44
4.2.3	Ensayo de Folin-Ciocalteu.....	46
4.3	Etapa 3: Perfil de compuestos funcionales por GC-MS	47
4.4	Etapa 4: Análisis sensorial.....	50
4.4.1	Prueba afectiva de preferencia.....	51
4.4.2	Prueba descriptiva (CATA).....	53
Capítulo V: Conclusiones.....		58
5.1	Referencias	60
5.2	Anexos.....	71

Capítulo I: Generalidades

1.1 Introducción

La apicultura en México es una actividad profundamente vinculada con la historia y la cultura del país, con raíces que se remontan a tiempos precolombinos. Dentro de esta tradición, la producción de miel de abejas sin aguijón, conocidas como “meliponinos”, ha sido especialmente relevante en diversas regiones, destacando el sur de México y la Sierra Norte de Puebla. En esta última zona, los apicultores locales han conservado métodos tradicionales, como el uso de ollas de barro para la cría y recolección sus productos.

Entre los bienes obtenidos se encuentran la miel, el propóleo y la cera, apreciados tanto por sus propiedades medicinales reconocidas desde tiempos ancestrales como por su valor económico y cultural dentro de las comunidades que dependen de esta actividad. Aunque la producción de miel de abejas sin aguijón es menor en comparación con la miel obtenida de *Apis mellifera*, su relevancia radica en sus características únicas, como su sabor distintivo y sus potenciales beneficios para la salud.

A pesar de los desafíos actuales, como la pérdida de hábitats naturales y la competencia con especies introducidas, en Puebla se han impulsado diversas iniciativas para proteger a las abejas nativas y preservar el conocimiento tradicional asociado con su manejo. Estos esfuerzos buscan garantizar la preservación de una herencia cultural y ecológica invaluable (Muñoz Langarica et al., 2024).

Por otro lado, mientras que la miel producida por *A. mellifera* ha sido objeto de numerosos estudios científicos que han explorado sus propiedades y aplicaciones, las mieles de los meliponinos han quedado relegadas a un segundo plano en términos de investigación. En particular, en la región de Xicotepec de Juárez, Puebla, existe una notable carencia de información sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de las mieles nativas, así como una falta general de estudios sobre su aceptación con base en características sensoriales.

La composición de la miel en general está íntimamente ligada a la diversidad de la flora local y a las condiciones ambientales específicas de cada región, lo que implica que

cada miel podría poseer perfiles bioactivos únicos y diferenciados. Sin embargo, la falta de atención científica hacia estas mieles ha limitado tanto su reconocimiento en el ámbito académico como su aprovechamiento comercial, dejando un potencial sin explorar que podría beneficiar tanto a la salud humana como a las economías locales.

Con este contexto en mente, la presente investigación se propone abordar esta brecha de conocimiento mediante un estudio detallado de las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de la miel producida por tres especies de abejas en la localidad de El Jonote, Xicotepec de Juárez, Puebla, las cuales son: *Apis mellifera*, *Scaptotrigona mexicana* y *Melipona beecheii*. El análisis se centrará en aspectos clave como su actividad antioxidante y las diferencias que puedan existir entre las mieles de estas especies, considerando las particularidades de su origen y producción. Los resultados obtenidos no solo contribuirán a la caracterización científica de la miel producida por los meliponinos, enriqueciendo el cuerpo de conocimiento sobre estas especies nativas, sino que también buscarán promover su consumo y valoración en el mercado.

Este trabajo tiene el potencial de apoyar la conservación de las abejas sin aguijón, cuya supervivencia está amenazada por factores como la deforestación y el cambio climático. Al destacar el valor antioxidante de estas mieles, se podrían abrir nuevas oportunidades para su uso en la industria alimentaria y de la salud, al mismo tiempo que se fomenta el desarrollo económico de las comunidades apícolas de la región, fortaleciendo así una actividad que combina tradición, sostenibilidad y beneficios tangibles para la sociedad.

1.2 Planteamiento del problema

México desde tiempos prehispánicos ha practicado la meliponicultura, ya que los mayas criaban abejas nativas sin aguijón, pertenecientes a los géneros *Trigona* y *Melipona*, para la producción de miel y subproductos como propóleos y cera. A diferencia de la abeja europea (*Apis mellifera*), introducida posteriormente, estas especies eran más fáciles de manejar debido a la ausencia de aguijón. La miel desempeñaba un papel fundamental en la vida cotidiana y ceremonial, utilizándose como alimento, medicina y ofrenda ritual. Su

riqueza nutrimental, caracterizada por un alto contenido de carbohidratos, antioxidantes, minerales y enzimas, la convierte en un complemento valioso tanto en la alimentación como en la medicina tradicional (Espinosa, 2021).

México alberga cerca de dos mil especies de abejas nativas, de las cuales cuarenta y seis son consideradas "sin aguijón". Entre ellas, la *Scaptotrigona mexicana*, endémica de la Sierra Nororiental de Puebla, ha sido particularmente estudiada en regiones como Cuetzalan, donde las prácticas locales han favorecido su preservación (Castillo, 2022). Sin embargo, a pesar de su importancia en la región, la investigación sobre esta especie sigue siendo limitada en muchas áreas de la Sierra Nororiental, lo que deja un vacío de conocimiento respecto a su distribución y conservación en distintos ecosistemas locales.

Desde el punto de vista nutricional, la miel es un alimento cuyas características varían ampliamente dependiendo de múltiples factores, como la especie de abeja que la produce, la estación del año, la flora disponible y la humedad, la cual a su vez está influenciada por la zona geográfica. Estas variaciones afectan tanto aspectos perceptibles, como el color, sabor y fluidez, como características más específicas, entre ellas la cantidad de proteínas, la capacidad antioxidante y la concentración de minerales (Alcalá, 2024).

La región de Xicotepec de Juárez, en Puebla, es ampliamente reconocida por la calidad de su café, cuyas características únicas se deben a factores como la geografía, temperatura, humedad y tipo de suelo. Estas mismas condiciones favorecen el crecimiento de diversos cultivos en la zona, entre ellos la naranja y el acáchul (SECTUR, 2019). La diversidad de flora en la región resalta la importancia de estudiar la miel de las abejas sin aguijón producida en el municipio, ya que la falta de investigaciones científicas suficientes impide una evaluación precisa de sus propiedades nutricionales.

1.3 Justificación

La composición y propiedades de la miel dependen de la especie de abeja y la flora disponible. Se ha demostrado que ciertas abejas visitan plantas específicas, lo que influye en su contenido de compuestos bioactivos y actividad antimicrobiana tal y como lo menciona Álvarez-Suárez et al. (2018), donde hace un comparativo entre la miel de *Apis*

mellifera y *Melipona Beecheii* en Cuba encontrando una amplia variedad de características diferentes entre ambas mieles. No obstante, el mercado está dominado por la miel de *A. mellifera*, mientras que la miel de meliponinos, como *Scaptotrigona mexicana* y *Melipona beecheii*, son menos consumidas pese a sus diferencias en características físicas y nutrimentales. En regiones como Xicotepec de Juárez, Puebla, donde la flora local puede estimular el potencial antioxidante, la miel de los meliponinos podría presentar un perfil de compuestos antioxidantes único aún poco estudiado.

El conocimiento sobre las propiedades nutrimentales y bioactivas de la miel de los meliponinos en Xicotepec de Juárez puede fomentar el consumo de este producto como una alternativa saludable y natural a la miel convencional. Al destacar sus beneficios para la salud, se impulsa la valorización de la meliponicultura local, lo que abre nuevas oportunidades económicas para los productores. Además, al promover la conservación de las abejas sin aguijón, se contribuye a la preservación de la biodiversidad y la polinización de cultivos, apoyando prácticas agrícolas más sostenibles.

1.4 Objetivo general

Evaluar fisicoquímica y nutricionalmente la miel de las especies de abejas: *A. mellifera*, *S. mexicana* y *M. beecheii*, procedentes de la localidad de El Jonote, en Xicotepec de Juárez, Puebla.

1.5 Objetivos específicos

- Colectar muestras de miel de especies diferentes.
- Evaluar los factores fisicoquímicos de las muestras de miel de acuerdo con la NOM-004-SAG/GAN-2018.
- Analizar la actividad antioxidante de las muestras de miel.
- Contrastar las muestras de miel de acuerdo con el contenido de antioxidantes y el perfil de compuestos funcionales.
- Determinar la miel con mayor grado de preferencia a través de una evaluación sensorial.

1.6 Hipótesis

Las mieles producidas por las especies de abeja: *A. mellifera*, *S. mexicana* y *M. beecheii*, en la región de El Jonote, Xicotepec de Juárez, Puebla, presentaran características distintivas entre sí mismas.

Capítulo II: Antecedentes

2.1 Marco contextual

En las últimas décadas se ha despertado un interés científico en los meliponinos (abejas sin aguijón) debido a sus características antimicrobianas, antioxidante, nutricionales, etc. Numerosos estudios alrededor del mundo han documentado como es que estas características en la miel de abeja y otros productos tienen un potencial distintivo según sean las condiciones ambientales, la flora disponible y la especie de la abeja que lo produzca. Este conocimiento ha permitido la clasificación de las mieles según su origen botánico y zoológico, siendo particularmente destacable el potencial único de los meliponinos.

Las investigaciones han evidenciado diferencias importantes en las propiedades fisicoquímicas de las mieles, influenciadas por la especie de abeja, el origen geográfico y las especies florales. En Brasil, las mieles producidas por abejas sin aguijón, como la “Mombucão” (*Cephalotrigona capitata*) del bioma Mata Atlántica y la “Uruçu” (*Melipona scutellaris Latrelle*) del bioma Caatinga, mostraron variaciones en su composición.

La miel “Mombucão” presentó mayor actividad de agua, acidez, porcentaje de sacarosa y de ácidos orgánicos, mientras que la miel “Uruçu” destacó por su mayor porcentaje de fructosa y glucosa. La humedad promedio para las mieles de *Melipona* en Brasil fue de 24.6 g/100g, superando el límite de 20 g/100g establecido por el Codex Alimentarius, aunque consiste con estudios previos para *Melipona scutellaris Latrelle*. En contraste, la miel de *Apis mellifera* utilizada como control mostró un contenido de humedad de 17.2 g/100g.

Respecto a la acidez, la miel “Mombucão” exhibió un pH más bajo y una acidez más alta que la miel “Uruçu”. Las mieles de *Melipona* contenían principalmente ácido láctico (3.04 a 7.72 g/100g) y ácido cítrico (2.33 a 4.97 g/100g), mientras que la miel “Uruçu” también mostró presencia de ácido málico (5.84 g/100g).

Al determinar la actividad antioxidante la miel “Mombucão” (*Cephalotrigona capitata*) mostró un índice superior y al obtener su perfil volátil se cuantificaron diecinueve compuestos fenólicos y flavonoides, destacando el galato de epicatequina, la miricetina, la quercetina y la procianidina A2. La miricetina es menos estable que la quercetina debido a un mayor número de grupos hidroxilo.

El perfil de compuestos volátiles en la miel es una huella distintiva que puede utilizarse para determinar su origen botánico. En este mismo estudio se identificaron 133 compuestos en mieles de Mombucão (*Cephalotrigona capitata*) y Uruçu (*Melipona scutellaris Latrelle*), destacando los terpenos (41 compuestos) y ésteres (26 compuestos). La miel “Mombucão” presentó una mayor concentración de terpenos (15.58 $\mu\text{g}/100\text{g}$) en comparación con la miel “Uruçu” (5.80 $\mu\text{g}/100\text{g}$), atribuida a la presencia de óxido de linalool B, óxido de trans-linalool y (4E,6E)-Allocimeno, que confieren descripciones aromáticas florales, herbáceas, afrutadas y dulces.

Además, los ácidos como el butanoico y el propanoico se encontraron exclusivamente en las mieles de *Melipona*, siendo más abundantes en la miel “Mombucão”, a la que se le atribuyen aromas a queso, mantequilla rancia y notas ácidas. Compuestos como el acetilfurano y el 3-fenilfurano en la miel “Mombucão” probablemente derivan de las características climáticas únicas del bioma Mata Atlántica. Los norisoprenoides (como el β -Damascenona), también fueron predominantes en la miel “Mombucão” y pueden ser utilizados para identificar su origen floral (Nunes et al., 2023).

En un estudio en Malasia con miel de abeja sin aguijón (*Heterotrigona itama*) reveló que la deshidratación al vacío a 60°C causó un color significativamente más oscuro en la miel en comparación con la miel cruda además de que los tratamientos térmicos por secado al vacío y evaporación redujeron significativamente la acidez libre, probablemente por la evaporación o descomposición de ácidos orgánicos volátiles. Así mismo, el secado al vacío

a 60°C por 2.2 horas produjo miel con mayores contenidos de fenólicos totales (300.24 ± 6.81 mg GAE/kg) y flavonoides (273.83 ± 2.52 mg QE/kg), y las actividades ABTS (371.34 ± 2.57 μ mol TE/100g) y FRAP (344.20 ± 6.81 μ mol Fe²⁺/100g) más altas. El ácido rosmarínico y la quercetina fueron los compuestos fenólicos más dominantes. La actividad antioxidante, medida por ABTS, DPPH y FRAP, se incrementó significativamente a mayores temperaturas de deshidratación (Chen et al., 2021).

En un estudio realizado igualmente en Malasia, la miel de *Heterotrigona itama* y *Tetrigona binghami* mostraron que el contenido de agua y la acidez total aumentaron con el tiempo de cosecha (de 15 a 45 días), mientras que el pH del *Tetrigona binghami* disminuyó de 5.1 a 2.3. De la misma forma, la miel de *Heterotrigona itama* tuvo mayor actividad antioxidante (DPPH y FRAP) que la de *Tetrigona binghami*, y un mayor tiempo de cosecha se asoció con una mayor actividad antioxidante (Wu et al., 2022).

En Etiopía, las mieles de *Meliponula beccarii* de colmenas modernas mostraron un menor contenido de humedad que las de colmenas silvestres. Los valores más altos de ceniza, conductividad eléctrica, pH, acidez libre y HMF se registraron en la miel de colmena moderna de Wolmera. El contenido de ceniza de las mieles está relacionado con la dieta de las abejas y la composición de nutrientes de las plantas.

Así mismo las mieles de colmenas modernas mostraron un contenido de compuestos fenólicos totales (TPC), flavonoides totales (TFC) y actividad de eliminación de radicales (RSA) significativamente más altos en el distrito de Wolmera en comparación con las de nidos silvestres. Se encontró una fuerte correlación positiva entre TPC, TFC y la capacidad antioxidante (Negera et al., 2024).

En Italia, el contenido total de fenoles (TPC) varió de 16.5 a 133.3 mg GAE/100g y el de flavonoides (TFC) de 4.0 a 82.1 mg QE/100g, mostrando una fuerte correlación con las actividades antioxidantes FRAP, DPPH y ABTS. El estudio indicó que la cantidad de TPC y TFC está relacionada con el origen floral de la miel, con los valores más altos encontrados en mieles de *Apiaceae* (hinojo y eneldo) (Attanzio et al., 2016).

Las mieles de abejas sin aguijón naturalmente tienen una acidez más alta y una textura más fluida que las mieles de *Apis mellifera*, lo que las hace diferentes a los estándares internacionales convencionales. Así mismo tanto la actividad antioxidante como el perfil de compuestos fenólicos y flavonoides en la miel están estrechamente relacionados con las fuentes florales, la ubicación geográfica y la especie de abeja (Pimentel et al., 2022).

Un estudio en Turquía sobre 54 muestras de miel de la abeja caucásica (*Apis mellifera caucasica*) mostró que el TPC osciló entre 9.95 y 66.34 mg GA/100g, y el TFC entre 0.76 y 14.24 mg Q/100g. Las mieles de la aldea de Artvin-Borçka-Düzköy tuvieron el contenido más alto de polifenoles y actividad antioxidante, mientras que la miel de Artvin-Borçka-Macahel tuvo el contenido más alto de flavonoides, lo cual se atribuyó a la abundancia de castaños en la región. Estos resultados refuerzan que los polifenoles y flavonoides son los principales componentes responsables del efecto antioxidante de la miel (Bozkuş, 2025).

En Kenia, el análisis de GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry en español Cromatografía de Gases-Espectrometría de masas) identificó 37 compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en los aceites esenciales y los volátiles del espacio de cabeza de plantas tradicionales utilizadas para atraer enjambres de abejas, como *O. kilimandschricum*, *C. nardus* y *Elaeodendron buchananii*. Las clases químicas principales fueron los monoterpenoides y sesquiterpenos. Los principales compuestos volátiles en el aceite esencial de *O. kilimandscharicum* fueron el alcanfor, el linalool, el limoneno y el canfeno (Ochola et al., 2024).

Un estudio de mieles chinas de seis orígenes botánicos (tilo, colza, azufaifo, *vitex*, lavanda y acacia) mediante HS-SPME-GC-MS (Head Space-Solid Phase Micro Extraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry), identificó un total de 98 compuestos volátiles. Entre ellos se encontraron alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, aromáticos e hidrocarburos. Cada tipo de miel presentó un perfil distintivo: la miel de tilo se caracterizó por la presencia única de timol, óxido de trans-rosa, óxido de rosa y mentofurano mientras que la miel de colza fue rica en aldehídos y alcoholes, y se identificaron dos nitrilos (3-fenilpropionitrilo y 5-hexenenitrilo) exclusivamente en ella (Liang et al., 2023).

Las pruebas sensoriales son una herramienta útil para entender las preferencias del consumidor. En Argentina, un estudio de mapeo de preferencias externo de ocho mieles reveló que el color y el estado físico (textura) fueron las características más influyentes en la preferencia del consumidor, complementadas por el olor y el aroma. Los consumidores argentinos, al igual que los finlandeses, prefirieron las mieles fluidas. Sin embargo, hubo diferentes preferencias de color en distintos mercados: mientras que en Mar del Plata (Argentina), Finlandia y Uruguay se prefirieron las mieles claras y ámbar, en la República Democrática del Congo, Irlanda, Alemania, Austria y Suiza se optó por mieles doradas y oscuras. En lo general las descripciones cualitativas de los aromas de las mieles argentinas incluyeron notas como vegetal seco, cálido, a panal, floral sutil, fruta cocida, cítrico, refrescante, animal proteico y tostado (Ciappini et al., 2022).

En Brasil, la miel “Mombucão” (*Cephalotrigona capitata*) se caracterizó por un sabor y aroma ácido y cítrico, con un bajo dulzor. Por otro lado, la miel “Uruçu” (*Melipona scutellaris Latrelle*) presentó un sabor y aroma más dulce y amaderado. La evaluación sensorial de estas mieles también las asoció con perfiles de aroma específicos: “Mombucão” con piranas, ácidos, fenilos e hidrocarburos; mientras que “Uruçu” se asoció con aroma medicinal y amaderado y la clase de alcoholes (Nunes et al., 2023).

Las mieles de abejas sin aguijón se caracterizan por un ligero dulzor, un sabor ácido, una textura fluida y una cristalización lenta (Pimentel et al., 2022). La acidez natural, en particular, puede darles un sabor fuerte y agrio que las hace menos adecuadas como edulcorantes, pero las posiciona bien para usos gastronómicos como vinagretas (Vit et al., 2025).

En México estudios de esta naturaleza se han realizado primordialmente en las zonas centro y sur del país siendo así por ejemplo que, la especie *M. beecheii* se ha caracterizado en estados como Yucatán o Quintana Roo, siendo que, en este último estado se han hecho simultáneamente estudios en la especie *A. mellifera* donde si bien sus características han sido ampliamente diferentes el contenido de cenizas en estas dos especies mostraba un rango que oscilaba entre 0.004% y 0.447% sin diferencias estadísticamente significativas.

Por su parte la caracterización de *S. mexicana* en los estados de Veracruz y Puebla ha exhibido similitudes con las características de *M. beecheii*, pero sin llegar a ser idénticas. En lo general se puede decir que la miel de *S. mexicana* se distingue de entre las producidas por las especies *M. beecheii* y *A. mellifera* por tener generalmente un mayor índice de humedad y una acidez más pronunciada (pH más bajo) mientras que las de *M. beecheii* tiene una mayor cantidad de azúcares reductores frente a *S. mexicana* (Xolalpa-Aroche et al., 2024).

En lo que respecta a los antioxidantes en *S. mexicana* Jiménez et al. (2016) encontró una correlación significativa ($R^2=0.930$) entre su contenido de polifenoles y la actividad captadora del radical DPPH para las mieles en el estado de Puebla. Por otra parte, en los municipios de Tuxtla Chico y Cacahoatán en Chiapas Gerginova et al. (2023) encontró en esta misma especie un contenido de polifenoles similar lo que sugiere un potencial antioxidante similar al de los estudios hechos a *A. mellifera*.

Por otro lado, los estudios hechos a las mieles de *M. beecheii* se han concentrado principalmente en Yucatán, donde trabajos como el de Ruiz-Ruiz et al. (2017) han hecho notar que su contenido de fenoles totales es parecido al de *S. mexicana* y mostrando una actividad antioxidante mayor a la de *A. mellifera*.

Respecto a las características sensoriales, en el estado de Puebla solo se ha evaluado el grado de aceptación de la miel de *S. mexicana* demostrando que, en características generales como su color, olor, sabor, textura y acidez la población muestra una alta tasa de agrado hacia la miel producida por esta especie (Jiménez et al., 2016).

En términos generales, las mieles de estos meliponinos han destacado por un dulzor distintivo, sabores ácidos y una textura fluida. Se destaca a la especie *M. beecheii* como la especie más importante en la producción del sur de la república gracias a su conexión con las comunidades mayas (Berrones et al., 2022). Sin embargo, la información de las mieles meliponas en lugares como Xicotepec de Juárez, Puebla, sigue siendo escasa o inexistente.

2.2 Marco teórico

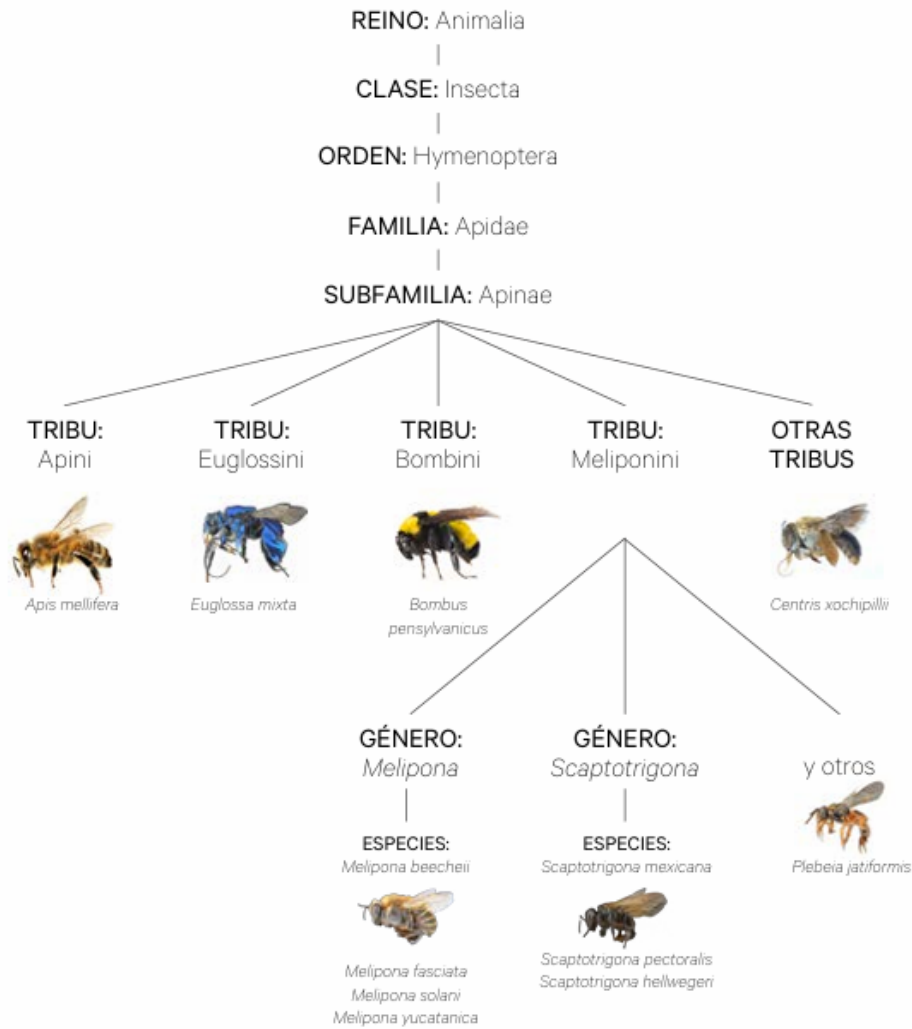
2.2.1 Biología y productos de las abejas

En la biología una abeja se diferencia de entre los demás insectos con características como cuerpos robustos, dos pares de alas y pelos plumosos, que con estas características en el mundo existen alrededor de veinte mil especies las cuales han sido agrupadas en siete familias y una de ellas tiene el nombre de Apidae conteniendo en sí misma a la subfamilia Apinae donde se encuentran las abejas melíferas. Dentro de la subfamilia Apinae hay tribus como la Apini y Meliponini (ver ilustración 1) cuya diferencia radica en el aguijón, pues la tribu Meliponini posee un aguijón atrofiado el cual no son capaces de usar (Arnold et al., 2018).

La meliponicultura y apicultura se distinguen por ser actividades pecuarias económicamente viables, de las cuales es posible obtener una amplia variedad de productos. Entre ellos se encuentra la cera de abeja, empleada tanto en la elaboración de alimentos como en bálsamos labiales y velas. En el caso específico de *A. mellifera*, también se produce jalea real, alimento destinado a la abeja reina y las larvas jóvenes que, para el ser humano, representa un suplemento alimenticio de alto valor nutritivo.

Asimismo, se obtiene el propóleo, un material elaborado por las abejas a partir de resinas vegetales y sus propias secreciones, utilizado para mantener condiciones asépticas dentro del panal. Este producto destaca por su alto valor comercial gracias a sus propiedades antibacterianas y uso amplio en la medicina alternativa (SEMARNAT, 2024).

La miel de las abejas por su parte ha estado retomando fuerza en temas de consumo, principalmente las de los meliponinos por sus beneficios a la salud pues, más allá de tener solo carbohidratos, en la miel hay una amplia variedad de minerales, principalmente sodio y potasio, y en menor medida magnesio, calcio y fósforo; aunado a esto, es una fuente rica de antioxidantes variando en gran medida por la fuente floral disponible y atribuyéndose a que mientras más oscura sea la miel, más antioxidantes tiene como se menciona en el libro “Por las Abejas” de SEMARNAT (2024); gracias a las investigaciones hechas es que se han encontrado propiedades inmunomoduladoras, antiinflamatorias e incluso anticancerígenas, entre otros muchos beneficios que posee (Miguel et al., 2017).



Fotos: Jorge Mérida, Humberto Bahena

Ilustración 1: Agrupación jerárquica de las abejas Fuente: Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México.

2.2.2 Geografía del sitio

La localidad de El Jonote está ubicada en el municipio de Xicotepec de Juárez, localizado en la Sierra Norte del estado de Puebla (ver Ilustración 2), una zona con amplia riqueza biológica, cultural y productiva. La altitud promedio de Xicotepec de Juárez es de 1180 msnm, con precipitaciones la mayor parte del año y un clima cálido-húmedo (INEGI, 1995b) es un lugar que favorece el crecimiento de una amplia diversidad de flora local y cultivos destacando entre ellos la plantación de café, naranja y maíz, y que a lo largo del

tiempo ha aumentado el área de cultivo y rendimiento de estas plantaciones (INEGI, 1995a).



Ilustración 2: Ubicación del municipio Xicotepéc en el mapa del estado de Puebla. Fuente: Mapas INEGI

Un aspecto importante, además de la geografía del sitio y la flora distintiva en la localidad, es la distancia de forrajeo de las abejas, ya que determina la cantidad de flores que pueden visitar y, por ende, influye directamente en las propiedades y características de la miel obtenida.

En el caso de *A. mellifera*, diversos estudios señalan que su promedio de forrajeo es de aproximadamente 3 kilómetros desde su panal, aunque se han documentado casos excepcionales donde pueden volar entre 8 y 12 kilómetros en búsqueda de néctar (Beekman & Ratnieks, 2000).

Para los meliponinos suele mencionarse que sus distancias de forrajeo no varían de forma notable e incluso pueden superponerse. No obstante, las especies nativas analizadas muestran diferencias marcadas: *S. mexicana*, predominante en la Sierra Norte de Puebla, presenta la menor distancia, alcanzando cerca 1000 metros desde el panal (Cortopassi-Laurino & Ramalho, 1988), mientras que *M. beecheii* puede cubrir distancias intermedias de hasta 2 kilómetros en búsqueda de néctar y polen (Biesmeijer & Slaa, 2004).

En resumen, podemos encontrar que *A. mellifera* es la especie que más puede volar desde el panal, *M. beecheii* aunque no es capaz de volar una distancia tan larga aún puede

cubrir un área importante en el terreno y finalmente *S. mexicana* es la especie que menos distancia puede volar, esto es un factor muy importante en este estudio pues, aunque la miel producida es multiflora, los cultivos que mejores características pueden dar a la miel (café, naranja y flores ornamentales) están en las cercanías de la finca del apicultor y por ende las especies que vuelan una menor distancia pueden aprovechar mejor estas cosechas (ver Ilustración 3).

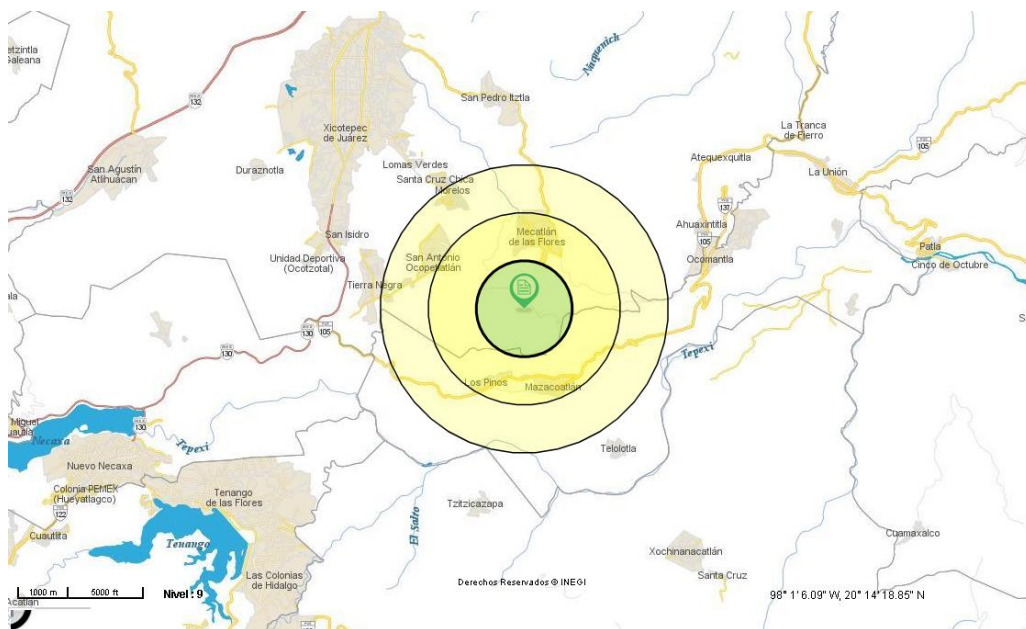


Ilustración 3: Áreas que pueden cubrir las abejas de estudio siendo el círculo beige el correspondiente a las abejas *Apis mellifera*, el amarillo a *Melipona beecheii* y el verde a *Scaptotrigona mexicana* teniendo como núcleo la ubicación de la finca. Fuente: Mapas INEGI

2.2.3 Caracterización de la miel

La miel se define por la FAO/OMS (2001) como el producto natural que es producido por la especie *A. mellifera* partiendo del néctar o secreciones de plantas las cuales recogen, transforman, combinan con sustancias específicas, almacenan, maduran y añejan.

Comercialmente *A. mellifera* es la especie más usada debido a su alto rendimiento, mientras que la miel producida por meliponinos suele conservarse por su valor cultural y tradicional. Esto se debe a que, en comparación, las abejas sin aguijón producen cantidades mucho menores de miel, lo que eleva de manera considerable su valor comercial.

Esta diferencia puede explicarse, en parte, por sus características taxonómicas: *A. mellifera* es notablemente más grande que los meliponinos (ver Ilustración 4) y, por ello, puede construir paneles de mayores dimensiones. Además, presenta diferencias en sus estructuras de almacenamiento; la abeja europea deposita la miel en panales, mientras que los meliponinos utilizan “potes”, estructuras cerradas donde resguardan y almacenan la miel.

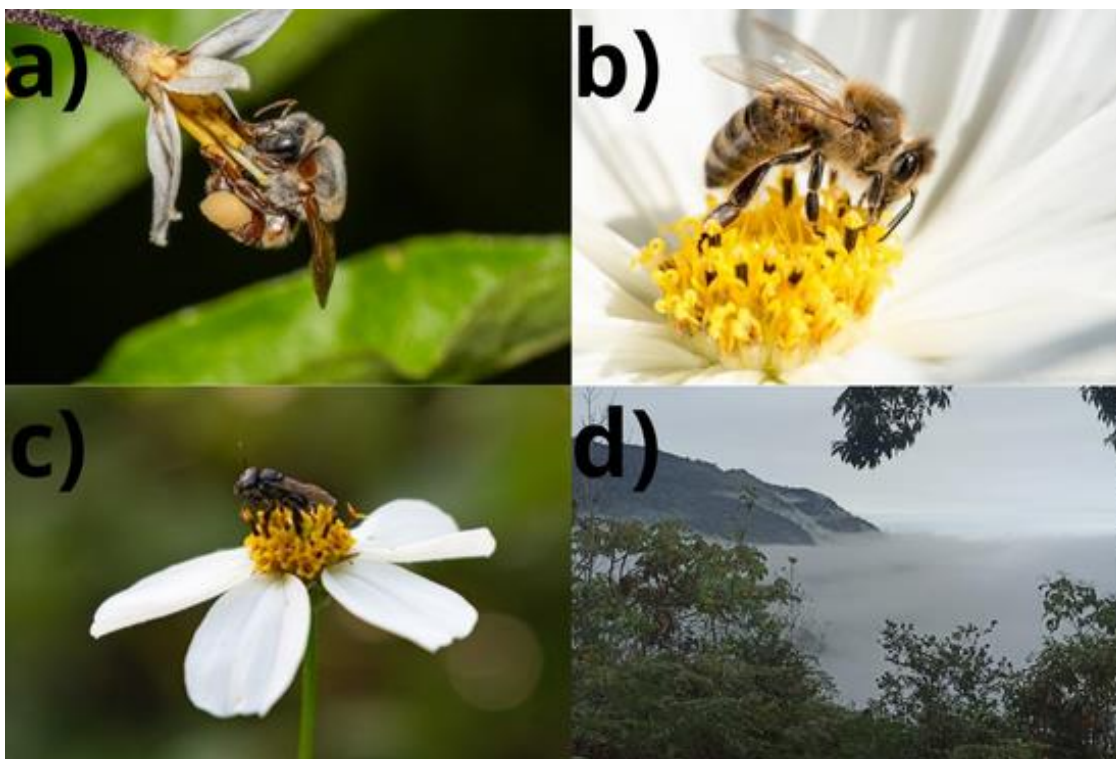


Ilustración 4: Fotografías de las abejas correspondientes a las especies a) *Melipona beecheii*, b) *Apis mellifera* y c) *Scaptotrigona mexicana*, d) Fotografía del lugar donde se ubica la finca del apicultor.

Fuentes a, b, y c: iNaturalist.

Fuente d: Propia.

La caracterización fisicoquímica de la miel constituye una serie de pruebas que en conjunto son base para determinar la calidad del producto; en primera instancia para saber si su consumo es seguro, posteriormente para determinar qué tan bueno es frente a otros similares. Dado que en el mercado la miel de mayor de mayor consumo es la de *A. mellifera*

la normativa y estándares giran en torno a ella por lo que entre los parámetros cuantificables más comunes para esta miel son:

- Contenido de azúcares: La miel está compuesta por azúcares simples, principalmente fructosa y glucosa encontrándose entre un 38 y 31% respectivamente y estando acompañados de di sacáridos como lo pueden ser la sacarosa o maltosa, pero en menor medida (Berhe et al., 2018). La proporción en que se encuentren los azúcares será determinante para las características tecnológicas de la miel como lo es la capacidad para cristalizarse.
- pH y acidez titulable: Primero ha de diferenciarse que el pH es el ‘¿Qué tan ácido es un medio?’ en este caso refiriéndose a la miel y, entiéndase la acidez titulable como la cantidad de ácido presente en el medio (cuantas moléculas de ácido tiene la miel, dicho de otra forma). Con estos conceptos aclarados la miel de *A. mellifera* generalmente se encuentra con valores de pH entre 4.0 y 5.0 (Nanda et al., 2009). Por su parte la FAO/OMS (2001) mediante el codex alimentarius, han establecido que el límite para la acidez titulable debe ser menor a 50 miliequivalentes de ácido por kilogramo de miel (50 meq/kg), esto debido a que la acidez titulable es un indicador de frescura y da indicios de que tan fermentada podría estar la miel debido a la liberación de ácidos orgánicos por parte de agentes degradantes como levaduras.
- Humedad: El índice para la abeja europea es que su contenido de humedad sea menor al 20% (FAO/OMS, 2001) esto se puede determinar mediante diferentes métodos y técnicas. La diferencia más notoria de la miel de los meliponinos comparada con la producida por *A. mellifera* radica en esta característica pues el contenido de humedad tiende a ser más alto, teniendo rangos que van generalmente entre 25 a 35%, inclusive llegando hasta el 40% de humedad dependiendo la especie de abeja sin aguijón y geografía del sitio (Pimentel et al., 2022). Aunque de forma internacional no hay estándares oficiales para la miel de los meliponinos debido a su amplia variabilidad, Malasia ha creado un estándar para las características de la miel de *Kelulut* que es una de las especies de meliponinos que habita el sudeste

asiático, en este estándar proponen un máximo de 35% de humedad para las mieles de las abejas sin aguijón (Standars Malaysia, 2017).

- Viscosidad: Es una característica fuertemente relacionada con la cantidad de azúcares y la humedad además de ser influenciada por la temperatura. La viscosidad afecta la fluidez de la miel al ser un indicador de las propiedades tecnológicas además de influenciar en la aceptación sensorial (Sopade et al., 2003).
- Color: Su medición se realiza mediante la escala de Pfund aunque se han propuesto métodos alternativos como el uso de colorímetros triestímulo o el procesamiento de imágenes digitales, independientemente de ello los colores de la miel pueden variar desde colores pálidos translucidos, colores ámbar e incluso teniendo tonalidades oscuras. Este parámetro es comúnmente relacionado con la capacidad antioxidante, contenido de fenoles e incluso el contenido de flavonoides en las mieles (Zaldivar et al., 2025), además de ser sugerido junto a los parámetros fisicoquímicos como indicativos de adulteración (Al-Mahasneh et al., 2021).

Una caracterización nutrimental más adecuada incluye otro tipo de análisis como lo son: cuantificación de proteínas, minerales y vitaminas, pero en la mayoría de los casos son opacados debido al compuesto mayoritario en la miel los cuales son los carbohidratos.

2.2.4 Métodos antioxidantes

El aspecto más destacable de la miel es su valor energético gracias a su alta concentración de carbohidratos, pero más allá de ser solo un sustituto del azúcar de mesa con notas de sabor únicas, la miel tiene otros compuestos que le dan un valor agregado y propiedades únicas, entre ellos se encuentran moléculas pertenecientes al grupo de los polifenoles, flavonoides, ácidos fenólicos, carotenoides y algunas enzimas que proveen a la miel propiedades antioxidantes, que contribuyen a la neutralización de las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno previniendo así en las células el daño oxidativo (Estevinho et al., 2008; Álvarez-Suárez et al., 2013).

El nivel de la actividad antioxidante en la miel depende de diversos factores entre los que se encuentra: la especie de la abeja, su origen floral, el clima de la región, el grado de maduración y sus condiciones de almacenamiento. En lo general el atributo visual al que más se relaciona la actividad antioxidante en la miel es el color pues diversos estudios han encontrado que, mientras más oscura sea una miel, su contenido de compuestos fenólicos es mayor y junto a esto se obtienen mejores resultados en lo que respecta al porcentaje de inhibición de los agentes oxidantes (Khalil et al., 2010).

Para estimar la capacidad antioxidante en la miel y su contenido de compuestos fenólicos se hace uso de diferentes pruebas *in vitro*, entre los más empleados están los ensayos: DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) y ABTS•+ (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), Ambos orientados a determinar la capacidad de las muestras para neutralizar radicales libres de manera directa.

Por otro lado, para la cuantificación de compuestos fenólicos tenemos ensayos como el de Folin-Ciocalteu y la determinación de flavonoides, ampliamente reportados en la literatura (Pimentel et al., 2022). Considerando la relevancia y la frecuencia de estas técnicas, en la presente investigación se seleccionaron los métodos más representativos descritos en estudios previos.

El ensayo de Folin-Ciocalteu es probablemente el método más empleado para la determinación del contenido total de compuestos fenólicos. Está basado en el principio de la reacción de redox de los fenoles presentes en el extracto de la muestra a analizar y los ácidos que componen el reactivo de Folin-Ciocalteu. Durante la reacción estos compuestos son reducidos formando un color azul cuya intensidad es proporcional a la cantidad de fenoles presentes. Debido a que este reactivo es de tipo fotosensible es que se debe llevar a cabo en condiciones de poca luz para disminuir en margen de error, al finalizar la reacción la muestra se ha de leer en un espectrofotómetro en una longitud de onda de 725nm. Los resultados obtenidos se suelen expresar en equivalentes de ácido gálico (GAE) (Singleton et al., 1999).

El ensayo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) es ampliamente usado para determinar la capacidad de los antioxidantes de donar electrones. El radical DPPH es estable y posee un color violeta intenso, el cual se va decolorando mediante su inhibición a causa de los

antioxidantes en la muestra por analizar, su detección es mediante espectrofotometría en un rango que va desde los 515 hasta 520 nm.

Para realizar el ensayo primero se ha de medir la absorbancia del radical en disolución y posteriormente su absorbancia tras la acción de los antioxidantes en el extracto (Brand-Williams et al., 1995). La simplicidad, rapidez y bajo costo de este ensayo lo vuelve uno de los más usados para la determinación de la capacidad antioxidante independientemente del tipo de matriz alimentaria con que se trate.

Finalmente, se encuentra el ensayo ABTS•+ [ácido 2-2'-azino-bis-(3etilbenzotiazolina-6-sulfónico)], empleado para determinar la capacidad de un antioxidante para neutralizar radicales catiónicos. En este método, el radical ABTS•+ se genera mediante la reacción del reactivo ABTS•+ y un agente oxidante (generalmente persulfato de potasio), produciendo una solución de un color verde azulado que debe calibrarse a una absorbancia de 734 nm. Al igual que como pasa con el ensayo DPPH, cuando el reactivo entre en contacto con el extracto de la muestra, se inicia la inhibición de los radicales de ABTS•+, reduciendo el compuesto por acción de los antioxidantes presentes y simultáneamente, atenúa su color.

A diferencia del ensayo DPPH, este ensayo tiene una serie de ventajas como la amplia polaridad en que funciona pues es útil tanto en medios acuosos como en lipofílicos, al mismo tiempo tiene un amplio rango de función en lo que respecta al pH de la muestra lo que lo convierte en un ensayo de gran versatilidad y alta precisión (Re et al., 1999).

2.2.5 Análisis de compuestos funcionales

El análisis de los compuestos funcionales en la miel es una herramienta muy útil para identificar y comprender mejor su composición química y algunos de los metabolitos responsables de su actividad antioxidante. Mas recientemente se ha propuesto su uso como alternativa al análisis melisopalinológico que es un estudio hecho a la miel que identifica su origen florar mediante el conteo de polen, sin embargo, esta técnica tiene muchos inconvenientes que aumentan su margen de error, por esto mismo es que se propone su

estudio mediante compuestos volátiles y semivolátiles como una nueva técnica de uso gracias a su alta precisión y rapidez (Panseri et al., 2013).

Una de las partes más importantes para cualquier estudio es preparar la muestra previa a su análisis, para ello existen diferentes métodos, el empleado en este estudio es la extracción líquido-líquido (LLE), esta es una técnica que permite separar los compuestos volátiles de la matriz mediante la afinidad que presenten estos compuestos a la polaridad de un solvente empleado, esta técnica es ampliamente usada en el caso del estudio de matrices complejas. Cuando a esta técnica es complementada con la extracción asistida por ultrasonido (UAE) se obtienen ventajas como el acortamiento del tiempo de extracción de los analitos de interés al generar micro fisuras en los sólidos de la muestra dentro del solvente (Moret et al., 2014).

Una vez la muestra ha sido preparada, esta se ha de introducir en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases, donde el calor provoca la volatilización de los compuestos y su arrastre por un gas portador inerte (generalmente helio o nitrógeno)

La cromatografía de gases es una técnica que permite separar mezclas complejas de componentes volátiles, basándose en la diferente distribución de cada analito entre una fase móvil gaseosa (gas portador) y una fase estacionaria contenida en una columna capilar que generalmente es un polímero o líquido inmovilizado en las paredes cuyas características influyen en la interacción con los analitos.

El proceso analítico se desarrolla en varias etapas. En la primera, los analitos son volatilizados en el inyector mediante la acción del calor y posteriormente arrastrados hacia la columna. En la segunda etapa, los compuestos migran a través de la columna a velocidades distintas, determinadas por propiedades como la presión de vapor, la polaridad y la afinidad con la fase estacionaria. Estas características, en conjunto con la temperatura del horno, definen el tiempo de retención de cada analito.

Finalmente, en la tercera etapa, la mezcla separada llega al detector, que transforma la presencia de cada compuesto en una señal proporcional a su concentración. Para fines cuantitativos se emplea comúnmente el detector de ionización de llama (FID), mientras que, cuando se requiere identificar los compuestos mediante sus patrones de

fragmentación, se incorpora un espectrómetro de masas (MS) como detector acoplado (Reineccius & Quian, 2024).

2.2.6 Evaluación sensorial

La AENOR (2010) es el organismo de normalización española quienes en 2010 adoptaron la norma ISO 5492:2008 como parte de su normativa nacional y en esta se define al análisis sensorial como la disciplina científica relacionada a la evaluación de los atributos organolépticos de un producto mediante los sentidos humanos.

En el ámbito alimentario, el uso del análisis sensorial permite obtener información relevante sobre las características del producto. Entre estos atributos se incluyen la percepción que se tiene del color, olor, sabor, textura y un nivel de aceptación general.

Estos atributos influyen de forma directa en la preferencia del consumidor, ya que pueden influir tanto en la selección del alimento como en el valor que adquiere en el mercado frente a otros productos similares. La comprensión de estos aspectos resulta esencial para garantizar la competitividad y aceptación del producto (Lawless & Heymann, 2010).

En el análisis sensorial existen dos grandes tipos de pruebas. El primero corresponde a las pruebas “analíticas”, las cuales se dividen en dos categorías: discriminativas y descriptivas. Las primeras son las pruebas sensoriales más sencillas en el aspecto teórico pues se basan en la capacidad de poder distinguir si un producto es diferente de otro.

Por otro lado, las pruebas descriptivas implican un mayor nivel de complejidad, pues se orientan a la caracterización detallada de los múltiples atributos sensoriales. Su finalidad es establecer el perfil sensorial específico de cada producto, por lo que la participación de panelistas entrenados es indispensable para garantizar la constancia y precisión de los resultados.

El segundo tipo de pruebas sensoriales son las pruebas “hedónicas” las cuales solo tienen una única clase y corresponde a las pruebas afectivas, para estas pruebas no es

necesario se haga uso de un panel entrenado pues se basan en la preferencia o popularidad de un producto (Lawless & Heymann, 2010).

El método Check-All-That-Apply (CATA) es una forma simplificada de un análisis descriptivo sensorial, diseñada para reducir la carga de capacitación de los panelistas. Consta de cinco partes: preparación de la muestra, reclutamiento de los panelistas, diseño de la lista de atributos, evaluación sensorial y análisis de los datos recolectados. Su principal fortaleza radica en que permite obtener un perfil sensorial utilizando grupos amplios de participantes sin requerir entrenamiento previo.

No obstante, esta misma simplicidad puede representar ciertas limitaciones. El uso de terminologías básicas y la ausencia de mediciones de intensidad restringen su capacidad para detectar diferencias sensoriales finas entre productos, lo que reduce la precisión frente a métodos descriptivos tradicionales. Aun así, su eficiencia, accesibilidad y bajo costo lo convierten en una herramienta valiosa para estudios de caracterización sensorial con poblaciones (Chen et al., 2025).

Las pruebas afectivas o hedónicas muchas veces no requieren de panelistas entrenados pues casi siempre se busca el producto de preferencia del público objetivo, por esta misma razón es que requieren de un gran número de personas para su ejecución. En la prueba de preferencia el público objetivo debe de escoger entre dos o más muestras el producto del cual sus características están más acorde con sus gustos, de la misma forma la hoja en la hoja que han de completar no solicita información muy detallada acerca del producto, finalmente se obtienen los datos estadísticos para determinar la preferencia media del potencial consumidor (Owusu-Apenten & Vieira, 2023).

Capítulo III: Metodología

A continuación, se presenta el diagrama general dividido en las etapas en que se desarrolló la metodología (ver ilustración 5).

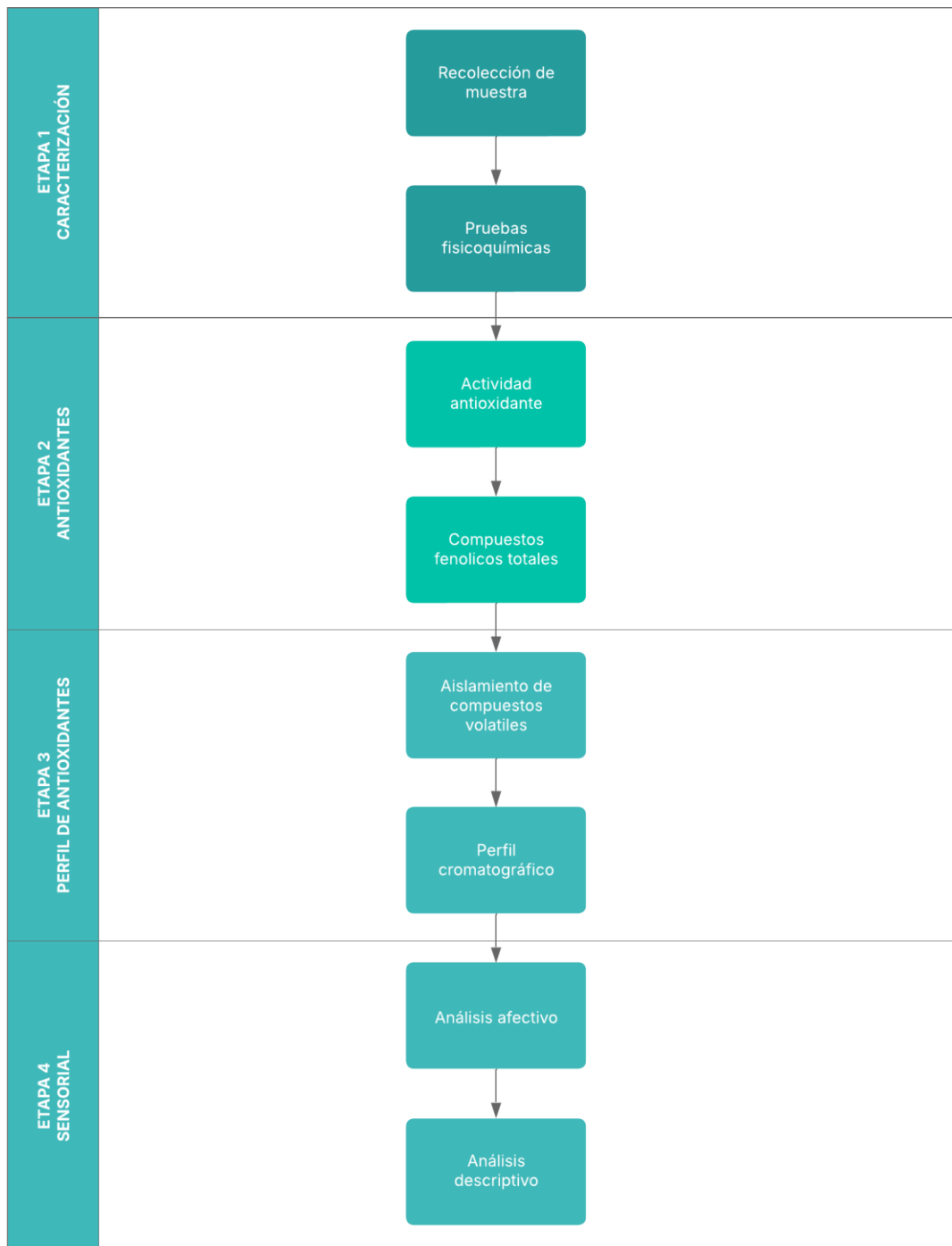


Ilustración 5: Diagrama general de la metodología dividido en etapas. Fuente: Propia.

3.1 Etapa 1: Caracterización de las muestras

3.1.1 Recolección de muestra

Las muestras analizadas fueron proporcionadas por el MVZ. Eduardo Valderrabano Ibarra de los apiarios y meliponarios (ver Ilustración 6) de su finca ubicada en la región de El Jonote en el municipio de Xicotepec de Juárez en Puebla, con coordenadas 20.237837482299334, -97.9286581531947.



Ilustración 6: a) Apiario y b) Meliponario dentro de la finca. Fuente: Propia.

Las muestras proporcionadas corresponden a fechas de cosecha de entre

los meses de agosto y diciembre del año 2024, donde las flores circundantes que más abundan corresponden a plantaciones de café, acáchul, entre varios tipos de plantas ornamentales y silvestres; las principales especies polinizadoras en la finca son: *A. mellifera*, *S. mexicana* y *M. beecheii*, que son las mismas especies que fueron sometidas a los análisis de este estudio.

La recolección de las muestras se realizó acorde con lo indicado en la NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones, siguiendo las especificaciones para miel líquida, comenzando

por homogenizar la miel y posteriormente embazándola en frascos de vidrio color ámbar esterilizados, conservándolos a temperatura de refrigeración (SADER, 2020).



Ilustración 7: Brixómetro de la marca ATAGO. Fuente: Propia.

3.1.2 Pruebas fisicoquímicas

3.1.2.1 Contenido de sólidos solubles

Se calibró el brixómetro de la marca ATAGO® modelo Pocket refractometer (ver Ilustración 7) con agua destilada hasta que indicó ceros, posteriormente, se cubrió el prisma seco y limpio con la muestra de miel para poder iniciar la prueba. Al finalizar se registraron los datos generados en grados Brix.

3.1.2.2 Determinación de viscosidad

Se realizó la prueba según lo indicado por el manual de operación del viscosímetro ViscoQC 100R (ver Ilustración 8) (Anton Paar, 2023). Se homogeneizó de forma mecánica la muestra teniendo el equipo instalado y calibrado previo a la realización de la prueba.

En un vaso de precipitado de 150 ml se llenó ligeramente por arriba de la marca del vaso, dicho volumen fue suficiente para cubrir la marca que tienen los husillos, entonces se encendió el viscosímetro y se sometió la muestra a diferentes velocidades en revoluciones por minuto (rpm) incrementando la velocidad o disminuyéndola de a



Ilustración 8: Viscosímetro de la marca Anton Paar. Fuente: Propia.

poco hasta lograr permanezca en el rango de eficiencia entre 80 y 90% del torque. Se registraron los datos de viscosidad obtenidos en centipoise (cps) y la temperatura de la miel en Celsius (°C).

3.1.2.3 Prueba de medición de color

Se siguió el procedimiento de León et al. (2006), con modificaciones. Se diseñó una caja negra con luces LED blancas de 12 voltios en dos de sus lados (ver Ilustración 9), alimentados con dos baterías de 9 voltios conectadas en paralelo para extender su tiempo de uso. Se utilizó una cámara fotográfica Samsung® DV180F con resolución de 16.2 MP



Ilustración 9: Vista superior de la caja diseñada para la obtención del color de la miel. Fuente: Propia.

con la cual se tomaron fotografías a las muestras de miel que fueron colocadas dentro de la caja sobre un fondo blanco, dentro de cajas Petri de vidrio. Para el procesamiento de las imágenes se diseñó un código en JavaScript dentro del software Visual Studio Code®, este código permitió retirar el fondo blanco, promediar la escala de tonos amarillos en RGB y, finalmente, devolver el resultado en los componentes de los espacios de color RGB y CIELAB.

Para realizar la prueba se llenó la base de una caja Petri de vidrio (90×16.2 mm) y se colocó sobre el fondo blanco de la caja negra, se suspendió la cámara fotográfica a 20 cm de la muestra con las luces LED encendidas, situando la imagen al centro para detectar únicamente el fondo blanco y la muestra, la cámara tuvo la configuración presentada en la tabla 1.

Tabla 1
Configuración de la cámara fotográfica.

Variable	Valor
Modo de uso	Manual
Balance de blancos	Nublado
ISO	400
Macro	Activado
Valor de exposición (EV)	+1

3.1.2.4 Potencial de hidrógeno (pH)

Se pesaron 5 g de muestra para posteriormente diluirlos en 75 ml de agua destilada libre de CO₂, posterior a esto, se introdujo el electrodo del potenciómetro portátil de la marca CONDUTRONIC® modelo PH10 (ver Ilustración 10), hasta que quedó sumergido. El potenciómetro ya debe estar calibrado con las soluciones buffer de pH 4, 7 y 10 (SADER, 2020).



Ilustración 10: Potenciómetro de la marca CONDUTRONIC. Fuente: Propia.

3.1.2.5 Porcentaje de humedad

El procedimiento se llevó a cabo conforme a lo establecido en la NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones. En este caso, para la medición, se empleó un refractómetro ABBE de la marca CIVEQ® modelo ZWAJ (ver Ilustración 11), comenzando con la limpieza del prisma utilizando éter de petróleo y alcohol. Luego, se colocaron unas gotas de la muestra en el equipo, el cual previamente estuvo calibrado con agua a 20°C como referencia, ya que a esta temperatura su índice de refracción es de 1.3330. Se ajustó la línea de margen hasta obtener una imagen clara y se registró el índice de refracción.

Finalmente, se aplicó la corrección de datos considerando que, si la temperatura es superior a 20°C, se sumó 0.00023 por cada grado adicional, mientras que, si era inferior, se restaba la misma cantidad por cada grado (SADER, 2020). Con ayuda de la Tabla 13 en el Anexo 1, el índice de refracción se convertirá en porcentaje de humedad.

3.1.2.6 Acidez titulable

Se siguió el procedimiento indicado en la NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones, comenzando por disolver 5 gramos de la muestra de miel en 75 ml de agua destilada libre de CO₂ para

consecuentemente añadir 0.3 ml de fenolftaleína y titular con NaOH 0.1N, concluyendo cuando la muestra viró ligeramente de color y expresando los resultados como miliequivalentes de ácido glucónico (ácido predominante de la miel) por kilogramo de miel (meq/kg) y como porcentaje de acidez titulable (%AT) después de sustituir los valores obtenidos (peso de la muestra y gasto del NaOH 0.1N) usando las ecuaciones 1 y 2 respectivamente (SADER, 2020).

$$\text{Acidez}\left(\frac{\text{meq}}{\text{Kg}}\right) = \frac{(\text{Gasto del NaOH})(0.1N)}{\text{g muestra}} * 1000 \dots \text{EC 1}$$

$$\%AT = \frac{(\text{Gasto del NaOH})(0.1N)(196.16)}{\text{g muestra}} \dots \text{EC 2}$$



Ilustración 11: Refractómetro ABBE de la marca CIVEQ con termómetro. Fuente: Probia.

3.2 Etapa 2: Actividad antioxidante y compuestos fenólicos totales

3.2.1 Actividad antioxidante lipofílica (Ensayo DPPH)

La capacidad antioxidante de las muestras fue evaluada mediante el ensayo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), siguiendo la metodología descrita por (Brand-Williams et al., 1995), con algunas modificaciones.

Se inició con la preparación de una solución madre de DPPH pesando 0.0020 g del reactivo y disolviéndolos en 50 ml de etanol. El extracto de la muestra se preparó añadiendo 1 g de la muestra de miel y 10 ml de solvente (agua destilada desionizada, etanol o metanol). Teniendo ya preparada la solución madre y el extracto, se procede añadiendo en un tubo de ensayo 100 µl del extracto y se añadieron posteriormente 900 µl de la solución de DPPH. Posteriormente se agitó y se dejó reposar en la oscuridad por 30 minutos. Se midió su absorbancia a 517 nm en el espectrofotómetro UV-Vis de la marca JENWAY™

modelo 7305 (ver la Ilustración 12), se realizó de forma previa al reposo y posteriores a este, así se tuvieron los datos de absorbancia inicial y final. Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición y como IC₅₀ (concentración inhibitoria del 50%) en unidades de microgramos de equivalentes de Trolox por gramo de muestra (µg ET/g).

Para obtener el porcentaje de inhibición se hará uso de la ecuación 3:

$$\%Inhibición = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \dots EC 3$$

Donde: A₀ Es la absorbancia inicial y A_f es la absorbancia final.

Así mismo, para obtener la concentración en µg ET/g se hizo uso de la ecuación de la recta con la cual fue calibrado el equipo:

$$y = 0.2303 x - 2.8247 \dots EC 4$$

Para hacer uso de esta ecuación se ha de despejar primero el valor de 'x' para posteriormente reemplazar en el valor de "y" el valor del porcentaje de inhibición.



Ilustración 12: Espectrofotómetro UV-Vis de la marca JENWAY. Fuente: Propia.

3.2.2 Actividad antioxidante total (Ensayo ABTS•+)

Se determinó la capacidad antioxidante mediante el ensayo del radical catiónico ABTS•⁺, conforme al procedimiento descrito por Re et al. (1999), con adaptaciones. Para preparar la solución madre de ABTS•⁺ se disolvieron 0.0194 g de ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)) y 0.0033 g de persulfato de potasio (K₂S₂O₈) en 5 ml de agua destilada desionizada y se dejó reaccionar en oscuridad durante 16 horas a temperatura de refrigeración, para permitir la formación del radical catiónico ABTS•⁺.

Previo a su uso, se ha de diluir esta mezcla en un frasco color ámbar con 30 ml etanol y 200 µl de la solución ABTS•+, se deja en reposo por 30 minutos y posteriormente se ajusta su absorbancia hasta lograr que sea de 0.700 ± 0.02 a 754 nm.

Para preparar la muestra se tuvo que diluir 1 g de miel en 10 ml de solvente (agua destilada desionizada, etanol o metanol). Se usaron 80 µl del extracto de la muestra y se mezclaron con 3920 µl de la solución diluida de ABTS•+. Se incubó la mezcla durante 7 minutos a temperatura ambiente en oscuridad. Se midió la absorbancia a 734 nm previo a la incubación de la muestra (A_0) y después de la incubación (A_f) haciendo uso del espectrofotómetro UV-Vis GENESYS 20 de la marca Thermo SCIENTIFIC™ (ver Ilustración 13). Se realizó el análisis por triplicado. Los resultados fueron expresados como porcentaje de inhibición y como microgramos de equivalentes de Trolox por gramo de muestra (µg ET/g).



Ilustración 13: Espectrofotómetro UV-Vis de la marca Thermo SCIENTIFIC. Fuente: Propia.

Para obtener el porcentaje de inhibición se hizo uso de la EC 3 al igual que en el ensayo DPPH y para obtener la concentración en µg ET/g se hizo uso de la ecuación de la recta con la cual el equipo fue calibrado:

$$y = 386.86 x + 3.2586 \dots EC 5$$

Al igual que con la ecuación empleada en DPPH, primero se ha de despejar el valor de “x” y posteriormente en el valor de “y” se insertan los porcentajes de inhibición calculados.

3.2.3 Contenido fenólico total (Ensayo Folin-Ciocalteu)

Se determinó el contenido total de compuestos fenólicos mediante el reactivo de Folin-Ciocalteu, siguiendo la metodología de Singleton et al. (1999), con modificaciones. Se preparó el extracto de la muestra diluyendo 1 g de miel en 10 ml de solvente (agua destilada desionizada, etanol o metanol), se agitó hasta disolver completamente. Se tomaron 50 µl del extracto de la muestra y mezclaron con 250 µl del reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido previamente al 50 % v/v en agua destilada). Se permitió reaccionar durante 8 minutos en oscuridad, y se añadió posteriormente 1250 µl de solución de carbonato de sodio al 5 % (p/v). Finalmente se mezclaron y dejaron incubar a temperatura ambiente durante 30 minutos, en condiciones protegidas de la luz. Se midió la absorbancia a 725 nm en el espectrofotómetro UV-Vis de la marca JENWAY™ modelo 7305 (ver ilustración 12). Los análisis se realizaron por triplicado.

Las absorbancias obtenidas fueron sometidas a la ecuación con la que se calibró el equipo para este ensayo:

$$y = 1.9196 x + 0.1124 \dots EC 6$$

Para obtener la concentración de fenoles se despejó la ecuación insertando directamente los valores de la absorbancia obtenidos en la experimentación. Los resultados fueron expresados como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g).

3.3 Etapa 3: Perfil de compuestos antioxidantes

3.3.1 Preparación de la muestra por Extracción Líquido-Líquido Asistida por Extracción con Ultrasonido (UAE-LLE)

Para poder realizar el análisis en el cromatógrafo de gases primero se tuvieron que aislar de la matriz los compuestos funcionales de la miel para lo cual se empleó la técnica de UAE-LLE (Ultrasound-Assisted Extraction Liquid-Liquid Extraction o en español Extracción Líquido-Líquido Asistida por Extracción con Ultrasonido). Para ello se siguió la metodología descrita por Sharin et al. (2021), con modificaciones para que, en un vial de 40 ml se depositaran 5 g de la muestra de miel en combinación de 5 ml de un solvente (dicloro metano y éter de petróleo) para posteriormente cerrarlo y someterlo a agitación por 10 minutos a temperatura ambiente, inmediatamente se llevó a baño maría con ultrasonido por 15 minutos a una temperatura de 28°C, al finalizar se filtró usando papel filtro y sulfato de sodio anhidro como agente desecante, se reservaron las muestras a temperatura de refrigeración hasta su análisis. Previo a inyectar la muestra en el cromatógrafo, los aislados de los compuestos funcionales fueron transferidos a viales de 1.5 ml que fueron sellados de forma hermética con un cierre superior abierto de un septum de PTFE/silicona.

3.3.2 Perfil de compuestos funcionales por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)

Para el análisis se usó el cromatógrafo gases de la marca Agilent Technologies® modelo 7890A el cual está acoplado al espectrómetro de masas Agilent Technologies® modelo 5975C (ver Ilustración 14) y se usó una columna capilar: HP5 ((5%-fenil-) metil polisiloxano no polar), de 30 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 25 µm de espesor de película. El inyector estuvo a 250 °C; el detector a 270°C; el horno tuvo una rampa de temperatura comenzando en 60°C, incrementando 12°/minuto hasta 194°C manteniéndolo por 2 minutos y aumentando 10°C/minuto hasta llegar a 295°C y manteniéndolo por 4 minutos.



Ilustración 14: Cromatógrafo de gases acoplado al espectrómetro de masas ambos de la marca Agilent Technologies. Fuente: Propia.

3.4 Etapa 4: Pruebas sensoriales

Se realizó una prueba de tipo afectiva y una más de tipo descriptiva a las muestras de miel.

La codificación en las muestras fue relacionada a la especie productora de cada tipo de miel siendo así: 025 (*A. mellifera*), 658 (*S. mexicana*) y 323 (*M. beecheii*). La codificación fue idéntica en todas las pruebas.

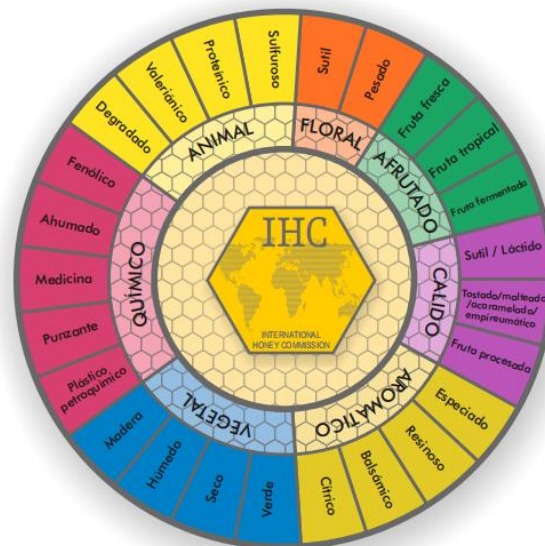
3.4.1 Prueba afectiva de preferencia

Se aplicó una prueba afectiva de preferencia pareada múltiple según lo que indica la norma ISO 5495:2005 (*Sensory analysis – Methodology – Paired comparison test*) (ISO, 2005) con algunas modificaciones. Se presentaron simultáneamente las muestras codificadas a los panelistas y se solicitó que, entre la prueba de muestra y muestra, refrescaran su boca con agua potable y esperaran al menos 20 segundos para probar la siguiente muestra y así poder percibir de forma apropiada el sabor de cada tipo de miel.

Posteriormente tuvieron que seleccionar la miel que, en términos generales, consideraron de su preferencia.

3.4.2 Prueba descriptiva (Método Check-All-That-Apply (CATA))

Se realizó una prueba de tipo CATA (Check- All-That-Apply en español Marca Todo lo que Aplica) de acuerdo con el método de Ciappini & Arias (2023) con algunas modificaciones. En esta prueba se evaluaron características como el color, aroma, sabor, textura y sensación en boca de las muestras proporcionadas de manera individual, los descriptores para aroma y sabor fueron extraídos de la rueda de olores y sabores de la comisión internacional de la miel (International Honey Comition por sus siglas en inglés).



La ejecución de la prueba fue realizada con dos paneles (uno entrenado y otro no entrenado), para ello se diseñó una tabla que contuviera las características antes mencionadas y los atributos más representativos de la miel, con esta tabla los paneles pudieron evaluar las muestras sin presentar confusiones en el reconocimiento de sus características (ver tabla 2).

Ilustración 15: Rueda de olores y sabores de la miel.
Fuente: IHC.

Para el panel entrenado se seleccionaron 5 personas cuyos perfiles profesionales permitieron realizar la prueba de las muestras diferenciando los atributos individuales de cada miel de forma adecuada. El panel no entrenado constó de 30 alumnos de la facultad de ingeniería química sin buscar características profesionales particulares.

La prueba fue guiada para ambos paneles explicando en que consiste la prueba, cómo debían probar las muestras y la forma en como llenar el formato. Los datos obtenidos

fueron redactados como variables dicotómicas (1 = marcado; 0 = no marcado) y organizados en matrices por muestra y descriptor en el programa de Excel®.

Tabla 2
Características y descriptores usados para la prueba CATA

	Características				
	Color	Aroma	Sabor	Textura	SEB
Atributos	Muy claro	Floral	Dulce suave	Líquida fluida	Astringente
	Ámbar claro	Frutal	Dulce intenso	Viscosa	Presencia corta
	Ámbar medio	Cítrico	Ácido	Cremosa	Presencia media
	Ámbar oscuro	Especiado	Amargo	Granulosa	Presencia larga
	Muy oscuro	Herbal	Salado		
		Caramelo	Afrutado		
		Ahumado	Floral		
		Fermentado	Especiado		
			Caramelo		
			Herbal		

3.5 Análisis estadístico de los datos

Para las pruebas fisicoquímicas y antioxidantes, los datos se analizaron en el software de Excel®, presentando los resultados en tablas comparativas entre las especies de abeja y reportando los valores como promedio \pm desviación estándar (DE) obtenidos a partir de las mediciones por triplicado de cada prueba. Se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) considerando como hipótesis nula (H_0) que “todas las muestras son estadísticamente idénticas” y como hipótesis alternativa (H_1) que “al menos una muestra es estadísticamente mayor o menor”, dichas hipótesis fueron adaptadas según la variable evaluada. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ para detectar diferencias significativas ($p<0.05$). En los casos donde la hipótesis nula fue rechazada, se aplicó la prueba de Tukey para un análisis post-hoc con el fin de determinar entre qué muestra ocurrían las diferencias. Adicionalmente, se estimó el tamaño de efecto mediante el estadístico ω^2 , con la cual se permitió clasificar la magnitud de diferencia de los resultados como: idénticos/irrelevantes (efecto pequeño), estadísticamente detectables (efecto mediano) o biológicamente relevantes (efecto grande).

En lo que respecta a los análisis sensoriales, se hizo uso de pruebas estadísticas diferentes debido a que generaron datos de diferente naturaleza: nominales en la prueba de preferencia y dicotómicos en la prueba CATA. De igual forma se empleó el software de Excel® para analizar la información generada. En la prueba de preferencia se aplicó la prueba de ajuste de bondad de chi-cuadrada para determinar la muestra que, según la distribución de juicios, sea aquella más o menos preferida. En caso de no obtener diferencias estadísticamente significativas se calculó el tamaño de efecto de Cohen (ω) con lo que se terminaría por concluir si existe o no alguna tendencia hacia la preferencia o rechazo de las muestras.

Por último, en la prueba CATA se determinaron las frecuencias de selección de cada atributo, por muestra y por panel, y se analizaron los resultados mediante la prueba Q de Cochran para identificar diferencias significativas ($p < 0.05$). Con los atributos más seleccionados y coincidentes entre ambos paneles se construyó el perfil sensorial de cada muestra de miel.

Capítulo IV: Discusión de los resultados

4.1 Etapa 1: Caracterización de las muestras

Antes de abordar los resultados es importante recordar que la caracterización constituye en la mayoría de los estudios científicos la primer línea de análisis para las mieles y en el aspecto normativo, son estudios obligatorios pues en ellos se abordan detalles que definen su comportamiento y composición.

4.1.1 Características fisicoquímicas generales

Los resultados de la caracterización fueron condensados en la Tabla 3 donde, en la determinación de la concentración de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$), la muestra de *A. mellifera* sobresale por dos razones: en primer lugar, es la que presenta la mayor concentración de sólidos solubles, con un valor cercano al 80% en su composición; y en segundo lugar por coincidir con lo reportado en diversos estudios, como el de Al-Ghamdi et al. (2025) donde

las mieles de esta especie alcanzaron concentraciones entre 81 y 83%. En lo general, este análisis permite estimar la proporción mayoritaria de sólidos en la miel, dado que hasta el 95% de su contenido corresponde a carbohidratos (Álvarez-Suárez, 2025). Los resultados del ANOVA confirmaron diferencias entre las especies ($p < 0.05$), y el tamaño de efecto (ω^2) indicó una magnitud grande, lo cual evidencia que la concentración de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$) depende fuertemente de la especie de abeja.

Por su parte, las mieles meliponinas mostraron menores concentraciones de sólidos solubles, con valores inferiores al 80%. Este comportamiento concuerda con lo descrito en investigaciones previas sobre abejas sin aguijón, como la realizada por A. C. dos Santos et al. (2025) en Brasil con la abeja *Melipona quadrifasciata* donde se reportó un contenido de sólidos solubles en torno al 70% y un porcentaje promedio de humedad del 40%. En este sentido la normativa nacional e internacional establece que la miel producida por *A. mellifera* no debe superar el 20% de humedad, límite que no aplica directamente a las mieles de abejas sin aguijón, cuya composición difiere significativamente. A su vez, el análisis estadístico mostró diferencias significativas en el porcentaje de humedad entre especies ($p < 0.05$; ω^2 grande), aunque las comparaciones de Tukey no identificaron específicamente entre los pares, debido a la alta variabilidad interna de las muestras.

Tabla 3
Características fisicoquímicas de las muestras de miel

Característica	<i>A. mellifera</i>	<i>M. beecheii</i>	<i>S. mexicana</i>
$^{\circ}\text{Bx}$	80±0.15	74.6±0.44	73.1±0.99
Viscosidad (cP)	4835±1605.8 (29±3.6°C)	299.3±12.3 (30°C)	250.2±5.2 (30°C)
pH	4.03±0.04	5.38±0.02	3.81±0.20
Humedad (%)	23.81±0.18	24.2±0.72	26.47±0.37
Acidez (meq/Kg)	20.21±1.50	67.92±4.16	133.71±3.57
Acidez titulable (%)	3.97±0.30	13.32±0.81	26.35±0.74

La acidez de las muestras es comparada con el ácido predominante en la miel (ácido glucónico) por lo que la interpretación completa sería ‘miliequivalentes de ácido glucónico por kilogramo de miel.

La cantidad de agua dentro de la matriz de la miel influye directamente en su comportamiento reológico, ya que un mayor contenido de humedad reduce la resistencia al esfuerzo cortante. Este fenómeno se refleja en la medición de la viscosidad, donde nuevamente la miel *A. mellifera* mostró el valor más elevado, alcanzando 4835 cP a 29°C,

frente a los cerca de 300 y 250 cP registrados para las muestras de *M. beecheii* y *S. mexicana*, respectivamente. Este comportamiento coincide con lo reportado por Oliveira et al. (2015), quienes describen un rango de viscosidad entre 600 y 30 000 cP para mieles de *A. mellifera*, dependiendo de la temperatura. El ANOVA evidenció diferencias significativas entre las especies ($p < 0.05$; ω^2 grande), confirmando que la especie influye de manera sustancial en la viscosidad; sin embargo, las comparaciones de Tukey no mostraron diferencias significativas entre los pares, lo que sugiere que, aunque los valores promedio son contrastantes, la variación estadística dentro de cada grupo limita la separación estadística.

En contraste, las mieles de los meliponinos presentan menor viscosidad debido a su mayor contenido de agua, como lo confirma Yah-Rosales et al. (2023), quien junto a su equipo observaron un comportamiento reológico similar en mieles de *M. beecheii*. En el caso de *S. mexicana*, la escasez de estudios limita la comparación directa, aunque sus propiedades fisicoquímicas son consistentes con las del resto de meliponinos, lo que sugiere un comportamiento reológico esperado.

Durante la obtención del porcentaje de humedad, la muestra de *A. mellifera* presentó una elevada turbidez, atribuida a la ausencia de centrifugación, lo que ocasionó la presencia de fragmentos de cera y un cambio notable en el color durante la homogeneización previa al análisis. Por este motivo, el índice de refracción (n) de esta miel se obtuvo de forma teórica, con el fin de estimar su porcentaje de humedad. Para ello, se empleó la ecuación propuesta por Nielsen (1998):

$$n_{miel} = n_{agua} + (0.0018 * \text{°Bx}) \dots \text{EC 7}$$

Donde: n corresponde al índice de refracción, °Bx a los grados Brix de la muestra en cuestión, y 0.0018 es la constante de corrección para la fructosa (carbohidrato principal en la miel).

Una vez obtenido el índice de refracción teórico, el porcentaje de humedad aproximado se calculó mediante la tabla de conversión incluida en el Anexo 1. Las muestras de las especies *S. mexicana* y *M. beecheii* no presentaron esta condición, por lo que la determinación de su humedad se realizó sin mayor dificultad. Aunque el valor obtenido

para la miel de *A. mellifera* supera el límite establecido por la legislación, es probable que su porcentaje real sea menor al estimado teóricamente.

En cuanto a las otras dos especies, los resultados se mantuvieron dentro de los rangos considerados normales para las mieles de los meliponinos, con valores de humedad superiores a los de *A. mellifera*. En casos excepcionales, estos pueden alcanzar hasta el 30%, como se observa en el estudio de Xolalpa-Aroche et al. (2024), quienes reportaron promedios de 23% y 25% para *M. beecheii* y *S. mexicana* respectivamente, y un valor máximo de 30% para esta última especie.

Dentro de las propiedades fisicoquímicas más relevantes se encuentra el pH, parámetro fácil de determinar y útil como indicador de la calidad. Para *A. mellifera*, el pH suele situarse entre 3.1 y 4.49, rango coincidente con lo reportado por Brelis et al. (2025) en Argentina (4.28-4.63). En la especie *M. beecheii*, el valor promedio obtenido fue de 5.38, el más cercano a la neutralidad entre las tres especies, aunque superior al documentado Álvarez-Suárez et al. (2018), quienes registraron un pH de 3.2 para esta misma especie. En la tercera especie, *S. mexicana*, el valor promedio de 3.81 que concuerda con los resultados obtenidos por Jiménez et al. (2016), quienes reportaron un rango de 3.5-3.96. En este sentido el ANOVA con los resultados para pH mostró diferencias altamente significativas entre las especies ($p < 0.05$; ω^2 muy grande), aunque nuevamente las pruebas de Tukey no detectaron diferencias significativas entre los pares, indicando que la magnitud del cambio entre especies es clara a nivel global, pero no lo suficiente para separar estadísticamente a cada grupo por sí mismo.

Finalmente, la acidez de la miel constituye otro parámetro de la calidad, ya que valores elevados pueden indicar procesos fermentativos. En este caso, la muestra de *A. mellifera* presentó la menor concentración de ácidos orgánicos (≈ 20 meq/Kg), valor consistente con los reportado por Nanda et al. (2009), para esta especie.

Por su parte, las mieles de meliponinos mostraron concentraciones considerablemente superiores, con 67.92 meq/Kg en la especie *M. beecheii* y 133.71 meq/Kg en la especie de *S. mexicana*, es decir, entre tres y seis veces más altas que en *A. mellifera*. El análisis estadístico confirmó diferencias altamente significativas entre las especies tanto en su concentración (meq/Kg) como para el porcentaje de acidez titulable ($p < 0.05$), y el tamaño




de efecto fue notorio ($\omega^2 > 0.14$, muy grande). Aunque las diferencias absolutas fueron marcadas por la prueba de Tukey que clasificó todos los pares como no significativos, debido a la baja variabilidad interna en cada especie, pero el contraste general entre grupos si fue estadísticamente claro. Este comportamiento no necesariamente representa una menor calidad, ya que sensorialmente las abejas sin aguijón se caracterizan por un perfil más ácido. Este patrón es congruente con lo documentado por Espinoza-Toledo et al. (2018), quienes reportaron valores de acidez entre 40 hasta 100 meq/Kg en el estado de Chiapas.

4.1.2 Obtención del color por mapeo de pixeles

La ejecución de esta prueba es original y diferente a lo registrado en diversas fuentes pues, ensayos como el realizado por Bodor et al. (2021) quienes proponen el uso de un sistema diferente para la medición del color de la miel ya que, la escala Pfund consideran no es capaz de captar diferencias pequeñas en el color de la miel ya que usa una única longitud de onda en los equipos colorimétricos más sofisticados y, con esto, puede acarrear errores, por ende es que proponen el uso del sistema CIELAB el cual emplea colorímetros de espectro completo (UV-Vis), sin embargo, durante la ejecución de esta prueba en un colorímetro de Hunter Lab se descubrió que las muestras de *M. beecheii* y *S. mexicana* poseen una absorbancia muy baja lo que imposibilitaba la obtención del color por este medio por lo que regresando a este mismo estudio, se optó por obtener el color en escala de Pfund mediante el uso de un espectrofotómetro pero, al observar la técnica que se emplea se descartó en automático la idea pues, la muestra de *A. mellifera* no está centrifugada y la presencia de los restos de cera podía hacer la dilución más opaca de lo necesario haciendo que esta muestra generara errores en su medición pues su absorbancia sería demasiado alta. En la búsqueda de nuevas formas para obtener el color de la miel se llegó al método mencionado por León et al. (2006), quienes hacen un mapeo de pixeles en fotografías en los canales de RGB, modificando este método es que se llegaron a los resultados de la Tabla 4, donde se promedian los colores amarillos en el canal de RGB de las fotografías y al final se obtiene el valor en CIELAB obteniendo así de forma satisfactoria una aproximación del color mediante este nuevo método.

Tabla 4

Obtención promedio de color en los componentes de color de RGB y CIELAB.

Especie	R	G	B	L	A	B	Color promedio
<i>A. mellifera</i> .	183	130	64	58.34	13.64	42.52	
<i>S. mexicana</i>	159	100	9	47.71	17.41	53.32	
<i>M. beecheii</i>	223	190	134	78.51	4.31	32.70	

En el canal de color RGB: R = Red, G = Green, B = Blue. En el canal de color de CIELAB: L = Luminosidad, A = Eje horizontal (rojo-verde), B = Eje vertical (amarillo-azul)

Esta técnica para obtener el color de una muestra aun es explorada en la investigación ya que otros estudios usan colorímetros o espectrofotómetros para obtener el color en canales más comunes ya que lo normal es su determinación mediante el uso de colorímetros o espectrofotómetros tal y como sucede por ejemplo en el estudio de Sun et al. (2025) quienes hacen uso de ambos equipos para obtener el color de mieles producidas por *A. mellifera*, en este estudio también se puede observar que las mieles analizadas se presentan en colores más oscuros en comparación con los resultados obtenidos por la experimentación pues para esta miel el valor de L* en la escala de CIELAB es casi el doble a lo presentado en el estudio comparado.

Cabe destacar que hay estudios como el desarrollado por Yangoua et al. (2024) quienes haciendo uso del software libre 'ImageJ' donde obtienen los canales de RGB para sus muestras de miel. Lo que diferencia al presente estudio es el desarrollo de una aplicación en el lenguaje de

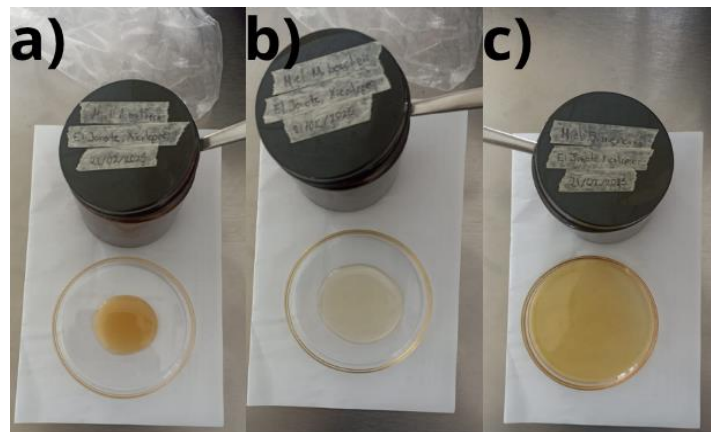


Ilustración 16: fotografías de las muestras de miel correspondientes a las especies a) *A. mellifera*, b) *M. beecheii* y c) *S. mexicana*.

programación Java Script para promediar el color en el canal RGB y su conversión en CIELAB, independientemente de ello el uso de fotografías para la cuantificación del color en estudios científicos sigue siendo limitado

A priori las diferencias en el color de las muestras de miel son bastante evidentes al compararse entre sí sin la necesidad de un equipo analítico como se aprecia en la Ilustración 16, sin embargo, la percepción humana puede variar entre los individuos y las condiciones

ambientales dadas (cantidad y/o tono de iluminación) por lo que determinar el color bajo estos medios puede generar sesgos muy grandes.

Hay que recordar que el color independientemente de la especie de la abeja está más influenciado por aspectos como el origen botánico de las mieles, la concentración y tipo de minerales presentes además de su contenido de compuestos fenólicos (Nordin et al., 2018).

4.2 Etapa 2: Actividad antioxidante y compuestos fenólicos totales

4.2.1 Ensayo DPPH

La totalidad de estas pruebas se llevaron a cabo en 3 diferentes solventes para de esta forma poder observar en que medio se obtienen mejores resultados para la activación de compuestos antioxidantes. En la prueba DPPH se obtuvieron resultados muy diversos tal y como se aprecia en la Tabla 5, donde entre los diferentes solventes y muestras empleadas se observan comportamientos interesantes.

Tabla 5
Resultados de DPPH en porcentaje de inhibición e IC₅₀ para los 3 tipos diferentes de solventes.

Especie	Agua		Etanol		Metanol	
	%In	IC ₅₀ ($\frac{\mu g ET}{ml}$)	%In	IC ₅₀ ($\frac{\mu g ET}{ml}$)	%In	IC ₅₀ ($\frac{\mu g ET}{ml}$)
<i>A. mellifera</i>	15.90±2.2.49	109.29±14.51	14.09±1.11	98.72±6.50	12.96±0.10	92.11±0.57
<i>S. mexicana</i>	13.53±0.94	93.45±5.34	15.05±0.69	102.19±3.92	14.09±1.02	96.69±5.82
<i>M. beecheii</i>	18.34±1.28	121.72±7.37	14.54±0.94	99.91±5.38	14.60±1.18	100.23±6.77

En lo general los resultados muestran valores de inhibición moderados en las tres mieles, y las diferencias radican en el solvente empleado. En el caso del uso de agua destilada como solvente, la miel de *M. beecheii* presentó el porcentaje de inhibición más alto de todas las muestras (18.34%) y de igual forma el mayor IC₅₀ ($121.72 \frac{\mu g ET}{ml}$). Datos que se complementan con lo obtenido en el ANOVA el cual señala si hay una diferencia

significativa entre las muestras, sin embargo, al rectificar con la prueba de Tukey encontramos que, dada la varianza de los datos obtenidos no es estadísticamente notable la diferencia entre los pares, este resultado se refuerza con lo obtenido por el efecto de tamaño ω^2 que, al ser grande confirma que más del 50% de la variabilidad de los resultados obtenidos dependen de la especie de la abeja productora. Esto sugiere la presencia de compuestos antioxidantes polares de eficiencia entre baja y media, para la neutralización del radical en la miel de *M. beecheii*. Cuando lo comparamos con estudios previos como el de Miranda et al. (2023) podemos notar que tiene un comportamiento similar a lo que desarrolla en su investigación donde encuentra una amplia variedad de concentraciones para este tipo de miel. En contraste, la muestra de *S. mexicana* mostró el valor más bajo de inhibición con un 13.53% y el IC_{50} más eficiente ($93.45 \frac{\mu g ET}{ml}$), lo que indica que los antioxidantes solubles en agua están en menor concentración, pero son de mayor eficiencia, dato que contrasta con estudios como el desarrollado por Juárez-Trujillo et al. (2024) quienes reportan porcentajes de inhibición mucho mayores generalmente alrededor del 80%.

Cuando se hace uso de etanol, las tres presentaron un comportamiento más equilibrado entre sí. La actividad antioxidante más alta se observó en *S. mexicana* mostrando un 15.05% de inhibición y un IC_{50} de $102.19 \frac{\mu g ET}{ml}$, mientras que las muestras de *A. mellifera* y *M. beecheii* mostraron valores ligeramente menores (14.09 y 14.54% de inhibición, respectivamente). En este solvente, el ANOVA tanto el generado para analizar el porcentaje de inhibición (%In) como el del IC_{50} niegan una diferencia estadística entre las muestras, de esta forma al corroborar con las pruebas de Tukey y ω^2 se obtiene el mismo resultado siendo que la prueba Tukey confirma que no hay diferencias entre los pares, mientras que el ω^2 genera un tamaño de efecto muy pequeño lo que sugiere un comportamiento muy uniforme para este tipo de solvente. Esto sugiere que el etanol propicia una extracción equitativa de compuestos antioxidantes para todas las mieles.

El metanol, siendo el último solvente empleado, produjo porcentajes de inhibición similares entre las especies ($\approx 14\%$) pero considerablemente más bajos comparados con los obtenidos por el etanol. En el análisis estadístico se mostró que, pese a que el ANOVA no detectó diferencias significativas en el porcentaje de inhibición y el IC_{50} , por su parte la

prueba de Tukey naturalmente no detectó diferencias entre los pares; sin embargo, en ambos casos el tamaño de efecto es grande lo que sugiere que la especie de la abeja si tiene algún tipo de influencia en la variabilidad de los resultados. Se puede apreciar una pequeña diferencia entre las muestras de metanol cuando se contrastan sus valores obtenidos para el IC₅₀ donde la muestra de *A. mellifera* presenta una concentración de compuestos más pequeña, pero a su vez más eficiente ($IC_{50} = 92.11 \frac{\mu g ET}{ml}$).

4.2.2 Ensayo ABTS•+

En este ensayo los resultados se obtuvieron de igual forma en los mismos 3 solventes pues así se permite un análisis más adecuado a causa de la interacción que se presenta en los diversos solventes. Los resultados para esta prueba se pueden apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6
Resultados de ABTS•+ en porcentaje de inhibición e IC₅₀ para los 3 tipos diferentes de solventes.

Especie	Agua		Etanol		Metanol	
	%In	IC ₅₀ ($\frac{\mu g ET}{ml}$)	%In	IC ₅₀ ($\frac{\mu g ET}{ml}$)	%In	IC ₅₀ ($\frac{\mu g ET}{ml}$)
<i>A. mellifera</i>	7.45±0.87	0.015±0.003	12.42±6.87	0.032±0.024	13.99±1.66	0.0373±0.0058
<i>S. mexicana</i>	14.90±0.76	0.040±0.003	15.71±0.36	0.042±0.001	25.74±1.36	0.0765±0.0046
<i>M. beecheii</i>	10.98±1.08	0.026±0.004	10.32±3.28	0.024±0.011	13.47±0.14	0.0350±0.0005

En este caso podemos apreciar una mayor variabilidad en los datos con respecto a lo que se observó con respecto a la prueba anterior y, de hecho, era de esperarse debido a la versatilidad de este ensayo en diferentes polaridades.

En lo que respecta al porcentaje de inhibición, en todas las muestras se presenta una tendencia creciente según aumenta la polaridad del solvente, siendo el metanol el medio donde se registran valores más altos. Destaca la muestra de *S. mexicana*, la cual alcanza el mayor porcentaje de inhibición con un 25.74% en el metanol. Este comportamiento coincide con el análisis estadístico, donde el ANOVA mostró diferencias significativas entre los grupos de este solvente, con un tamaño de efecto ω^2 muy grande con lo que se remarca que la variabilidad entre especies si es marcada. Sin embargo, en la prueba de

Tukey no se detectaron diferencias significativas entre la comparación de pares, por tanto, esto sugiere que, aunque si existe una tendencia sobresaliente en beneficio de la miel de *S. mexicana*, no muestra por pares una diferencia estadísticamente concluyente.

Por su parte *A. mellifera* muestra valores relativamente bajos en todos los solventes, de los cuales es el metanol donde alcanza una mayor inhibición con 13.99%, mientras que *M. beecheii* presenta una actividad intermedia frente a las otras dos especies teniendo un porcentaje de inhibición de 13.47% en este mismo solvente. En agua y metanol, el ANOVA mostró diferencias significativas entre especies con tamaños de efecto muy grandes pero sin diferencias significativas entre los pares lo que expone que, en efectos globales es perceptible una diferencia entre las especies para estos dos solventes, sin embargo, al comparar entre los pares no se puede identificar de una forma estadísticamente satisfactoria esta diferencia, al considerar el tamaño de efecto se puede atribuir esta alta variabilidad en los resultados a la especie productora.

Respecto a los valores de IC_{50} , se observa una relación inversa con el porcentaje de inhibición. En este caso son las muestras de *A. mellifera* las que presentan las cifras más bajas de concentración y que, inverso a como pasa con el porcentaje de inhibición, se obtienen cifras cada vez más bajas en la totalidad de las mieles conforme el medio se hace menos polar, siendo así que, en agua, *A. mellifera* presenta una cifra de apenas $0.015 \frac{\mu g ET}{ml}$, mientras que *S. mexicana* presenta una concentración de $0.040 \frac{\mu g ET}{ml}$ para inhibir el radical en este mismo solvente. Los resultados del ANOVA para etanol fueron los únicos que se mostraron diferentes respecto a los otros dos solventes debido a que, en este medio no se detectaron diferencias significativas globales, esto se rectificó con la prueba de Tukey donde, al comparar entre los pares, no hubo diferencias significativas, finalmente la prueba para efecto de tamaño indicó un tamaño pequeño lo que sugiere que las diferencias entre las muestras no son relevantes o dicho de otra forma, que son estadísticamente idénticas.

Al comparar los resultados obtenidos con la literatura disponible se observa una clara discrepancia frente a investigaciones previas. En el caso de *A. mellifera*, estudios como el de Ruiz-Ruiz et al. (2017) reportan porcentajes de inhibición cercanos al 64%, con un valor significativamente superior a lo registrado en esta investigación donde las inhibiciones

oscilaron entre 7 y 14% en los tres solventes valuados. Una situación similar se presenta con *M. beecheii*; por ejemplo, Sánchez-Chino et al. (2019) reportan un promedio de inhibición del 25% para esta especie, cifra que nuevamente supera a los valores obtenidos en este estudio, los cuales se mantuvieron en el rango de 10 a 15%.

Finalmente, la especie de *S. mexicana*, que dentro de este trabajo fue la especie con mejor desempeño antioxidante, la comparación con estudios como el de Juárez-Trujillo et al. (2024) revela también diferencias notables. Dicho autor reporta concentraciones más elevadas, con valores que fluctúan entre 0.61 y 1.13 mg ET/g, superiores a los aquí registrados. En conjunto, estos contrastes evidencian que las tres mieles analizadas presentan una eficiencia antioxidante menor en relación con lo documentado por otros autores.

4.2.3 Ensayo de Folin-Ciocalteu

Las concentraciones observadas en las muestras se presentan en la Tabla 7 donde, al igual que pasó con los ensayos antioxidantes, se analizaron en los mismos tres solventes anteriormente empleados.

Tabla 7
Resultados del ensayo Folin-Ciocalteu en tres solventes diferentes expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por mililitro

Especie	Agua mg EAG/ml	Etanol mg EAG/ml	Metanol mg EAG/ml
<i>A. mellifera</i>	0.017±0.007	0.033±0.012	0.058±0.021
<i>S. mexicana</i>	0.023±0.003	0.061±0.002	0.092±0.020
<i>M. beecheii</i>	0.014±0.005	0.039±0.005	0.050±0.012

En esta prueba nuevamente son las muestras en metanol son aquellas que presentan una mayor extracción de compuestos fenólicos, mientras que cuando se hace la prueba en agua la extracción disminuye drásticamente en todas las mieles.

Se denota que es la muestra de *S. mexicana* aquella que, en los tres solventes presenta la mayor extracción de compuestos fenólicos, alcanzando su punto más alto cuando la extracción se realiza en metanol alcanzando 0.092 mg EAG/ml, seguida de las mieles de *A. mellifera* y *M. beecheii* respectivamente para el mismo solvente. No obstante, a pesar de

las diferencias observadas en los promedios, el análisis estadístico indicó que, al menos en lo que respecta al etanol, no se presentan diferencias significativas, caso que se ve contrario a los otros dos medios (agua y metanol) donde el ANOVA expone si existe una diferencia en al menos una muestra, sin embargo, con la prueba de Tukey se muestra que en todos los solventes no hay diferencias significativas entre los pares. Estos resultados sugieren que, aunque no hay diferencias significativas entre los pares (probablemente debido al número de repeticiones que genera una alta varianza), si se presenta una desviación en las variabilidades de los resultados. Este último dato se reafirma con el tamaño de efecto ω^2 el cual es grande en todos los solventes, con esto se confirma que la variabilidad del contenido de fenoles si tiene una relevancia biológica y si existe un favorecimiento hacia la especie *S. mexicana*.

En los tres casos se observan concentraciones menores a los reportado por autores que han hecho estudios similares quienes han obtenido, por ejemplo, en el caso de *A. mellifera* concentraciones desde 16.5 hasta 133.3 mg EAG/100 g (Attanzio et al., 2016), por parte de *M. beecheii* se reportan valores que oscilan un promedio de 95.39 mg EAG/100 g y finalmente, aunque bibliográficamente *S. mexicana* es una especie poco estudiada, comparte características con especies similares como *Scaptotrigona pectoralis* que es una especie con quien inclusive puede llegar a compartir territorio, esto nos lleva al estudio de Leyva-Moguel et al. (2022) quienes analizaron la miel de esta especie en el estado de Yucatán y reportaron valores alrededor de 22 mg EAG/10 kg.

4.3 Etapa 3: Perfil de compuestos funcionales por GC-MS

Tras correr las muestras en el cromatógrafo se generaron los cromatogramas. Se corrieron las tres mieles para los dos solventes donde se realizó la extracción (ver Ilustración 17) por lo que se obtuvieron al final 6 cromatogramas mostrando los compuestos obtenidos (ver anexos 2 a 4).

Todas las tablas de los resultados de los cromatogramas fueron filtradas para omitir todos los compuestos que sean ajenos a la miel, además, se omitieron todos los compuestos

cuyo porcentaje de área fuese menor que el 10% y su porcentaje de probabilidad en la detección fuese menor que el 20%, habiendo terminado el filtrado de la información se obtuvieron las tablas por especie y solvente (véanse los anexos 5 a 7) y se preparó una tabla general donde se agrupan todos los compuestos encontrados en todas las mieles y para ambos solventes (ver Tabla 8).

Comparando las mieles encontramos que aquella donde hubo una mayor riqueza general en los compuestos funcionales es la de *S. mexicana* donde se detectaron 10 compuestos en total, para los casos de *M. beecheii* y *A. mellifera* se encontraron 6 compuestos en cada miel.

Los compuestos encontrados en todas las mieles fueron agrupados en sus respectivos grupos químicos obteniendo así: alcoholes, aldehídos, cetonas, hidrocarburos alifáticos, ésteres, amidas, aminas alifáticas, alcaloides e imidazol (compuesto nitrogenado).

Entre los alcoholes el primero que se menciona es el fenil etanol y el óxido de linalol, en el primer caso está asociado al olor característico de la miel y otros aromas dulces, en el caso del óxido de linalol está más bien relacionado a olores flores y herbales en la miel por ser un terpeno (Shimoda et al., 1996). Un alcohol consecuente es el 1-hexadecanol que es un alcohol de cadena media asociado a los ácidos grasos, este compuesto junto al 1-nonadeceno que es un hidrocarburo alifático son compuestos asociados a la actividad antioxidante de la miel y sobre todo este último mencionado está relacionado a actividad antimicrobiana y anticancerígena (Ngaini et al., 2021).

El veratraldehído, por su parte, es un compuesto que es poco citado en la literatura científica pero su presencia en la miel sugiere un aporte en las notas florales y una ligera actividad antimicrobiana (Karabagias et al., 2019).



Ilustración 17: Muestras de miel en contacto con los solventes (dicloro metano y éter de petróleo).

Tabla 8

Resumen de compuestos encontrados en las tres muestras de miel para ambos solventes

N	GQ	NC	AP (%)	EA	PA	ER
1	Alcoholes	Fenil etanol *	1.25	<i>S. mexicana</i>	MA, IB	(Shimoda et al., 1996)
2		(Z)-Óxido de linalol (furanoide) *	0.31	<i>A. mellifera</i>	MA	(Shimoda et al., 1996), (Karabagias et al., 2019)
3		1-Octanol	0.17	<i>M. beecheii</i>	MA	(Shimoda et al., 1996),
4		1-Hexadecanol *	0.14	<i>M. beecheii</i>	ATO	(Ngaini et al., 2021)
5		Hexilenglicol	17.66	<i>M. beecheii</i>	ATM	(Zen et al., 2023)
6	Aldehídos	Veratraldehído *	3.97	<i>S. mexicana</i>	MA, ATM	(El-Naggar et al., 2021)
7		E-15-Heptadecenal	0.37	<i>A. mellifera</i>	MA	(Karabagias et al., 2019)
8	Cetonas	2-Ciclopentano-1,4-diona	5.16	<i>S. mexicana</i>	MA	(Karabagias et al., 2019)
9		2-Ciclopentano-1,4-diona	1.10	<i>A. mellifera</i>	ATO, ATM	(Mishra et al., 2017), (Fizza et al., 2025)
10	Hydrocarburos alifáticos	3-Metoxi-2-fenilquinona-4-ácido carboxílico	0.25	<i>A. mellifera</i>	ATO, ATM	(Kisiriko et al., 2021)
11		Muscalura *	5.02	<i>S. mexicana</i>	IB	(A. B. Dos Santos & Do Nascimento, 2015)
12		1-Nonadeceno *	6.51	<i>S. mexicana</i>	ATO, ATM, ATC	(Ngaini et al., 2021)
13		7-Pentadecino	0.72	<i>M. beecheii</i>	ATO, ATI, ATM	(Borreby et al., 2023), (Pacula-Miszewska et al., 2023), (Venn-Watson & Schork, 2023)
14	Ésteres	9-Octil-eicosano	0.49	<i>S. mexicana</i>	ATM	(Ewonkem et al., 2023)
15		Palmitato de butilo *	1.44	<i>M. beecheii</i>	ATM	(Ewonkem et al., 2023)
16		n-Propil 11-octadecenoato	12.93	<i>M. beecheii</i>		
17	Amidas	N-(3-metilbutil)acetamida	0.39	<i>S. mexicana</i>	ATO, ATI	(Karovi'c et al., 2025)
18	Amina alifática	Bis(3-aminopropil)amina	0.40	<i>S. mexicana</i>	ATI, ATC	(Chia et al., 2022)
19	Alcaloides	5-Metil-indolizina	1.01	<i>S. mexicana</i>	ATI, ATM, ATC	(Dawood & Abbas, 2020)
20		Cafeína *	4.57	<i>S. mexicana</i>	IB, ATO, ATI, ATC	(Jerković et al., 2014), (Socala et al., 2021), (Saraiva et al., 2023)
20	Imidazol	2,4-dimetilimidazol	0.43	<i>A. mellifera</i>	ATO, ATI, ATM, ATC	(Tolomeu & Manssour, 2023)

N = Numero del compuesto dentro de la presente lista, GQ = Grupo químico al que pertenece el compuesto, NC = Nombre común del compuesto, AP (%) = Área del pico en porcentaje dentro del cromatograma, EA = Especie de abeja, PA = Propiedad asociada que pueden ser MA (marcador aromático), IB (indicador botánico), ATO (antioxidante), ATI (antiinflamatorio), ATM (antimicrobiano) o ATC (anticancerígeno), ER = Estudio relacionado, el marcador “*” esta fijo en los compuestos cuya PA esté mejor fundamentada.

Alcaloides como la 5-metil-indolizina o la cafeína son compuestos interesantes dado el hecho de que, además de dar un aporte en notas aromáticas florales, refuerzan la actividad antioxidante en las mieles (Jerković et al., 2014; C et al., 2017).

A partir de la cantidad de compuestos detectados y, sobre todo, de la funcionalidad comprobada de estos, se observa que la miel producida por *S. mexicana* destaca por presentar las mejores características. Esto se debe a que posee una riqueza composicional superior a las otras dos especies, tanto en número de compuestos como en la solidez de las funciones asociadas. En segundo lugar, se ubica la miel de *M. beecheii*, en la cual no todos los compuestos cuentan con evidencia funcional plenamente establecida y cuya actividad se atribuya principalmente al grupo químico al que pertenecen. Finalmente, la miel del *A. mellifera* presenta una menor proporción de compuestos con funcionalidad confirmada; además. Dos de ellos se caracterizan principalmente por ser marcadores aromáticos. En consecuencia, su perfil funcional se considera más limitado debido tanto a la menor diversidad de compuestos como a las bajas concentraciones en que se encuentran.

No obstante, es importante señalar que la miel producida por esta especie no debe interpretarse como “de mala calidad”, sino como menos eficiente en comparación de la obtenida de los dos meliponinos. En términos generales, las mieles se reconocen por aportar beneficios a la salud, entre los que destacan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antibacterianas, antifúngicas, anticancerígenas, cicatrizantes e inmunomoduladoras, entre otras (Cianciosi et al., 2018; Saad, 2025). Por otro lado, algunos de los compuestos presentes en las mieles son catalogados principalmente como marcadores florales que ayudan en la identificación de su origen botánico y que además acentúan olores más o menos perceptibles en la miel (Soria et al., 2009; Isidorov et al., 2023).

4.4 Etapa 4: Análisis sensorial

Habiendo terminado el análisis de los compuestos volátiles, se inició con la última etapa que comprende el análisis sensorial con el fin de relacionar la composición química de las mieles con su percepción sensorial. Para evitar una preferencia hacia alguna miel por

asimilación en su nombre es que las muestrsa fueron codificadas como: 025 (*A. mellifera*), 323 (*M. beecheii*) y 658 (*S. mexicana*) (ver ilustración 18).

4.4.1 Prueba afectiva de preferencia

La prueba afectiva de preferencia fue la primera en realizarse y fue con la que se esperaba encontrar sí se presentaba alguna tendencia hacia la preferencia o rechazo de alguna de las tres mieles.

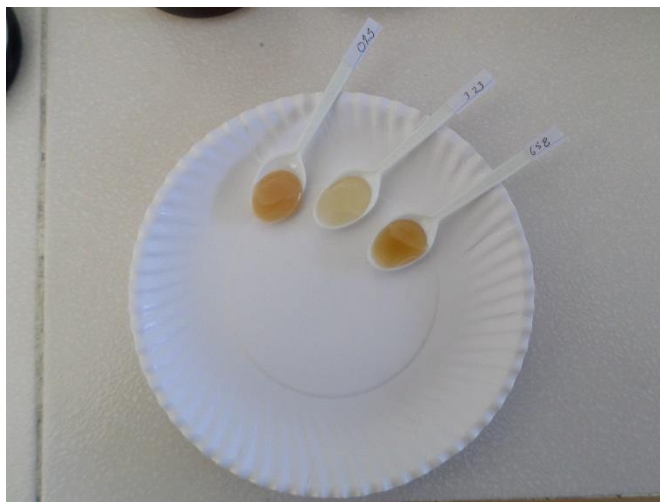


Ilustración 18: Muestras ofrecidas a los paneles entrenado y no entrenado para la prueba de las mieles ordenadas de izquierda a derecha como 025 (*A. mellifera*), 323 (*M. beecheii*) y 658 (*S. mexicana*). Fuente: Propioa.

Esta prueba fue realizada por el panel no entrenado ya que su objetivo fue, de un potencial público consumido, saber cuál era la tendencia en la aceptación o rechazo

en las mieles en términos generales sin tomar en cuenta un análisis detallado de sus características. Al final se obtuvieron los resultados de esta prueba los cuales se agruparon en la tabla 9.

Tabla 9
 Conteo de juicios en la preferencia de las mieles.

Muestra	Juicios
025 (<i>A. mellifera</i>)	12
323 (<i>M. beecheii</i>)	6
658 (<i>S. mexicana</i>)	12

Previo al análisis de los datos se definieron las hipótesis por las cuales esta prueba se iba a regir siendo así la hipótesis nula (H_0) que “no hay una tendencia en la preferencia de una miel en particular” y en caso contrario la hipótesis alternativa (H_1) sería que “al menos

una miel tiene tendencia en ser más o menos preferida”. De esta forma se logró realizar la prueba estadística de ajuste de bondad de chi-cuadrada (χ^2) (Hutcheson & Groce Brown, 2024) para la cual se calculó una χ^2_{obt} que tuvo un valor de 2.4 y, siendo que esta es inferior al valor de χ^2_{crit} de 5.991 para un nivel de significancia (α) de 0.05, es que se acepta la hipótesis nula y se determina que no hay una tendencia estadísticamente significativa hacia alguna miel, sin embargo, en conjunto se realizó la prueba de tamaño de efecto de Cohen (ω) para la cual se obtuvo un resultado de 0.283 lo que significa que su efecto es mediano y se puede deducir que, aunque no hay una diferencia estadísticamente significativa dado el tamaño del panel, se observa una tendencia moderada hacia el que, en este caso, se presenta como el rechazo parcial en una de las mieles, siendo esta la de *M. beecheii* (323) que, como se puede observar en la Ilustración 19 es la que resulta ser menos elegida frente a las mieles de *S. mexicana* (658) y *A. mellifera* (025) las cuales tienen una igualdad aparente en su preferencia.

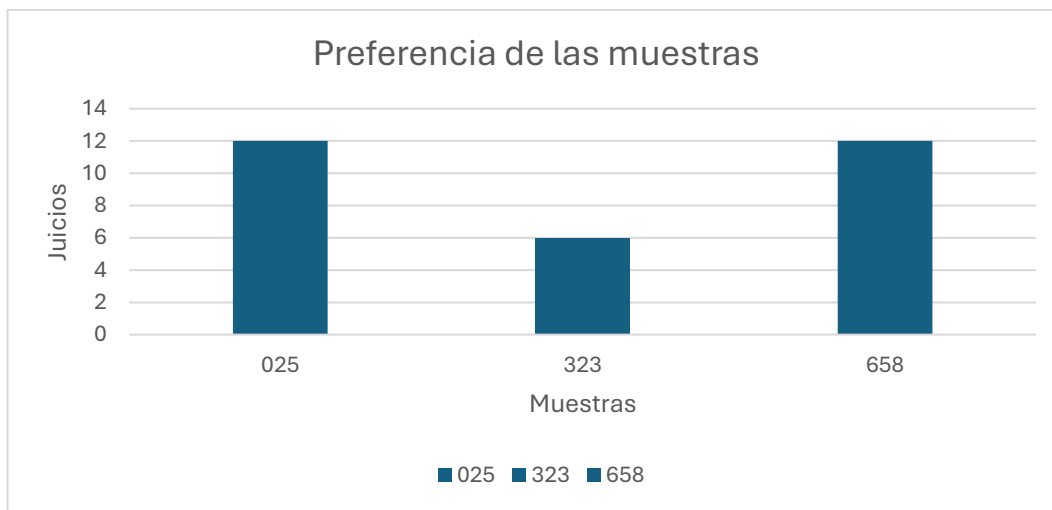


Ilustración 19: Gráfico de barras comparando las preferencias de las mieles. Fuente: Propia.

Dadas las limitaciones encontradas por la cantidad de muestra al momento de desarrollar esta prueba es que el panel se mantuvo en el mínimo requerido de 30 personas, sin embargo, para poder disminuir estas discrepancias la única alternativa segura sería el aumentar la cantidad de panelistas.

Este tipo de comportamiento en los panelistas no es nuevo pues, en diferentes investigaciones se ha notado una preferencia o un rechazo particular a algún tipo de miel con la cual el consumidor no esté familiarizado, un ejemplo de esto está documentado por Vit et al. (2013) donde desarrollan una prueba de aceptación usando mieles de diferentes especies de abejas sin aguijón (mieles de potes), en dicha prueba usaron un panel de consumidores españoles quienes, después de probar las diferentes mieles tuvieron un rechazo en todas las muestras siendo que la miel producida por *Melipona favosa* fue la “menos rechazada”.

Analizando este comportamiento y considerando la distribución geográfica de las especies de las abejas en el presente estudio, se puede deducir que, las mieles producidas por *A. mellifera* y *S. mexicana* tuvieron un mejor índice de preferencia pues, en el caso de la primera especie es la más comercial lo que hace que todos los consumidores la hayan probado en al menos una ocasión, por su parte *S. mexicana* al ser una especie cuya distribución natural está en el estado de Puebla (específicamente en la Sierra Nororiental del estado) hace que, aunque muy probablemente los consumidores nunca hayan probado la miel de esta especie, al polinizar favorablemente especies vegetales en la región su sabor sea más del agrado de los consumidores locales.

4.4.2 Prueba descriptiva (CATA)

La prueba fue ejecutada en dos paneles (ver Ilustración 20), uno entrenado (con 5 personas) y uno no entrenado (con 30 personas), esta diferencia es importante pues así sabremos que atributos son los que caracterizan a la muestra, pero al mismo tiempo, cuales son aquellos que un consumidor no experimentado considera al momento de seleccionar una miel. Las tablas 10 y 11 representan los resultados de los paneles entrenado y no entrenado, respectivamente, los datos recopilados fueron tratados en el programa de Excel convirtiendo los juicios en variables dicotómicas (1 y 0) con los cuales se realizó el análisis estadístico de las muestras. Ambas tablas incluyen los resultados de la prueba estadística

de Q de Cochran, la cual, al ser comparada con el nivel de significancia ($\alpha=0.05$), permite determinar si cada atributo es significativo para la diferenciación entre las muestras de miel.

Los resultados evidencian que el panel entrenado es más selectivo, identificando menos atributos como discriminantes, particularmente en características relacionadas con el sabor y la textura. En contraste, los resultados

del panel no entrenado muestran mayor dispersión, lo que se traduce en una mayor cantidad de atributos considerados estadísticamente discriminantes. Esta diferencia es especialmente notoria en características como lo son el color, aroma, sabor y textura.

En el Anexo 8 se encuentran los gráficos de telaraña con los que se puede interpretar de manera visual las diferencias en la percepción de ambos paneles para los tres tipos de miel. Generalmente hablando, el panel entrenado (PE, línea naranja) mostró una mayor discriminación y una amplitud superior en la selección de los atributos, mientras que el panel no entrenado (PNE, línea azul) mostró no ser capaz de identificar una amplia cantidad de los descriptores por lo que se limitaban en la cantidad de elementos seleccionados.

Hablando individualmente en cada característica, en el color, el panel entrenado logró ser más objetivo seleccionando el color de las mieles exceptuando la muestra 658 (*S. mexicana*) donde se distribuyó entre los colores ámbar medio y claro, caso que fue contrario para el panel no entrenado donde definieron de mejor manera su color como ámbar medio.

Para el aroma se observaron mayores coincidencias en la elección de notas aromáticas, pero el panel entrenado gracias a su entrenamiento logró identificar una mayor cantidad de notas, como las fermentadas y las especiadas las cuales son ausentes o menos marcadas en el panel no entrenado.



Ilustración 20: a) Prueba CATA aplicada a los paneles a) Entrenado y b) No entrenado. Fuente: Propia.

En lo que respecta al sabor, ambos paneles lograron tener mayores coincidencias en lo que respecta a las notas dulces y ácidas, sin embargo, el panel entrenado destacó con un espectro de sabores más complejo mientras que el panel no entrenado se centraba en los sabores frutales y dulces.

Tabla 10
Resultados del panel entrenado para la prueba de Cochran Q para la identificación de atributos sensoriales discriminantes en las muestras de miel.

Característica	Atributo	Q	Valor p	Significancia ($\alpha=0.05$)
Color	Muy claro	4.67	0.10	NS
	Ámbar claro	0.50	0.78	NS
	Ámbar medio	6.00	0.05	Significativo
	Ámbar oscuro	2.00	0.37	NS
Aroma	Muy oscuro	0.00	1.00	NS
	Floral	2.67	0.26	NS
	Frutal	0.67	0.67	NS
	Cítrico	6.50	0.04	Significativo
	Especiado	1.50	0.47	NS
	Herbal	0.67	0.72	NS
	Caramelo	3.00	0.22	NS
	Ahumado	3.00	0.22	NS
Sabor	Fermentado	4.00	0.14	NS
	Dulce suave	0.67	0.72	NS
	Dulce intenso	6.80	0.03	Significativo
	Ácido	8.40	0.01	Significativo
	Amargo	2.00	0.37	NS
	Salado	1.00	0.61	NS
	Afrutado	2.00	0.37	NS
	Floral	4.67	0.10	NS
	Especiado	3.60	0.17	NS
	Caramelo	4.67	0.10	NS
Textura	Herbal	4.00	0.14	NS
	Líquida fluida	6.00	0.05	Significativo
	Viscosa	1.50	0.47	NS
	Cremosa	6.00	0.05	Significativo
Sensación en boca	Granulosa	4.00	0.14	NS
	Astringente	1.00	0.61	NS
	Persistencia corta	6.00	0.05	Significativo
	Persistencia media	5.20	0.07	NS
	Persistencia larga	3.00	0.22	NS

NS = No significativo.

Tabla 11

Resultados del panel no entrenado para la prueba de Cochran Q para la identificación de atributos sensoriales discriminantes en las muestras de miel.

Característica	Atributo	Q	Valor p	Significancia ($\alpha=0.05$)
Color	Muy claro	46.00	0.00	Significativo
	Ámbar claro	4.45	0.11	NS
	Ámbar medio	18.24	0.00	Significativo
	Ámbar oscuro	10.17	0.01	Significativo
	Muy oscuro	2.00	0.37	NS
Aroma	Floral	5.06	0.08	NS
	Frutal	6.00	0.05	Significativo
	Cítrico	3.26	0.20	NS
	Especiado	4.57	0.10	NS
	Herbal	0.12	0.94	NS
	Caramelo	7.52	0.02	Significativo
	Ahumado	0.55	0.76	NS
	Fermentado	11.20	0.00	Significativo
	Sabor	Dulce suave	1.53	0.47
Dulce intenso		6.78	0.03	Significativo
Ácido		15.36	0.00	Significativo
Amargo		8.13	0.02	Significativo
Salado		4.00	0.14	NS
Afrutado		0.14	0.93	NS
Floral		1.40	0.50	NS
Especiado		1.27	0.53	NS
Caramelo		10.00	0.01	Significativo
Herbal		0.14	0.93	NS
Textura		Líquida fluida	42.00	0.00
	Viscosa	27.30	0.00	Significativo
	Creмоса	4.50	0.11	NS
	Granulosa	26.00	0.00	Significativo
Sensación en boca	Astringente	4.00	0.14	NS
	Persistencia corta	1.28	0.53	NS
	Persistencia media	0.52	0.77	NS
	Persistencia larga	3.86	0.15	NS

NS = No significativo.

La textura fue la menos variable para ambos paneles pues ambos grupos las clasificaron como viscosas, con pequeñas variaciones hacia la cremosidad en la muestra 025 (*A. mellifera*) y con la fluidez en las muestras 323 y 658 (*M. beecheii* y *S. mexicana* respectivamente).

Por su parte la sensación en boca fue percibida mayormente como larga y ligeramente astringente para los resultados del panel entrenado, contraste el panel no entrenado registraba sensaciones más suaves y de menor duración.

En conjunto se analizaron los descriptores más frecuentes en ambos paneles para así poder construir el perfil sensorial de cada muestra, dichos perfiles se encuentran detallados en la Tabla 12 la cual, de la misma forma, funciona como resumen de las características seleccionadas para cada miel.

Tabla 12
Perfil sensorial general de las muestras de miel

Categoría	025	323	658
Color	Ámbar medio con ligera tendencia a claro	Muy clara ligeramente ámbar	Ámbar medio ligeramente oscuro
Aroma	Fuerte aroma a caramelo con ligeras notas herbales, especiadas y frutales	Fuerte presencia fermentada y frutal, ligeramente especiada, herbal y cítrica	Predominante presencia cítrica y acaramelada con tenues notas florales, frutales y un pequeño rastro fermentado
Sabor	Dulce intenso con resabio a caramelo, especias y frutas	Notable presencia frutal y ácida con restos en notas herbales, florales y amargas	Sabor ácido intenso con predominantes notas florales y frutales y un ligero rastro herbal
Textura	Viscosa y notoriamente cremosa	Viscosa con fluides y cremosidad notoria	Muy fluida con una viscosidad ligera
Sensación en boca	Presencia media corta	Presencia corta ligeramente astringente	Presencia media larga

La miel de *A. mellifera* (025) se caracteriza principalmente por una viscosidad alta y cremosa con aroma y sabor intenso a caramelo y ligeras notas frutales, sensorialmente puede ser muy agradable, aunque, en exceso puede llegar a presentarse hostigaste.

En el caso de la miel de *M. beecheii* (323) se presentó como aquella, notoriamente, mucho más clara frente a las otras 2 siendo muy translúcida y teniendo apenas un leve tono amarillo muy claro, con una fluidez más alta y un aroma a fruta fermentada recordando al tepache, con un sabor ácido de notas amargas fue la miel menos preferida por el panel no entrenado.

Finalmente, la miel de *S. mexicana* (658) destacó por percibirse como la más persistente en su sensación en boca, con una fluidez alta y sabores más ácidos y frutales fue, al igual que la miel de *A. mellifera*, una de las más aceptadas por el panel no entrenado diferenciándose de esta otra miel por una presencia más notoria en diferentes notas olfativas y gustativas.

Las notas destacables de cada miel coinciden de manera adecuada con lo observado en estudios previos como el de Menezes et al. (2025) quienes compran los perfiles de la miel de *A. mellifera* con los de otros dos meliponinos permitiéndonos notar que, la miel producida por la especie de *A. mellifera* es casi siempre relacionada a olores y sabores más dulces mientras que las mieles de los meliponinos son asociadas con notas más diversas tanto en sabor como en olor.

Capítulo V: Conclusiones

El análisis de las mieles analizadas en el presente estudio proporcionó resultados satisfactorios demostrando que la hipótesis inicial fue cierta, las mieles presentaron características completamente únicas con respecto a la miel de la abeja europea (*A. mellifera*) y distintivas entre las especies de meliponinos del estudio (*M. beecheii* y *S. mexicana*) pese a que las tres están ubicadas en la misma región.

Durante la caracterización fisicoquímica la miel de la especie *A. mellifera* demostró mantenerse dentro de los rangos establecidos por la normativa nacional (SADER, 2020) e internacional (FAO/OMS, 2001) y, aunque su contenido de humedad no quedó del todo demostrado dadas las complicaciones en la muestra causadas por la cera residual en el medio, sus demás características como el contenido de sólidos solubles (°BX), viscosidad, pH y acidez titulable son coherentes con análisis previos (Oliveira et al., 2015; Al-Ghamdi et al., 2025; Brelis et al., 2025), lo mismo se pudo notar en las mieles de los meliponinos debido a que después de ser sometidas a los análisis, se obtuvieron sus características específicas siendo así que demostraron tener un índice de humedad mayor y por tanto ser más fluidas en comparación con *A. mellifera*, esto refuerza el hecho que, en México hace falta el desarrollo de una normativa para este tipo de mieles pues sus características son principalmente comparadas con estudios semejantes y, dado la amplia diferencia que existe con la miel de *A. mellifera* hace que evaluar estas mieles sea más complejo. Un punto importante durante la caracterización fue el color, cuyo método pudo proveer resultados satisfactorios demostrando una concordancia entre el color observado y el obtenido,

demostrando que la miel más oscura fue la de *S. mexicana*, seguida de *A. mellifera* y por último la de *M. beecheii* que fue la más clara.

En este último punto se refuerza lo dicho en diversos estudios como los de Y. H. Chen et al. (2021), Yangoua et al. (2024) y Zaldivar et al. (2025) donde se relaciona el color oscuro de la miel con una mayor actividad antioxidante y riqueza de compuestos fenólicos, dato que se respalda en las pruebas de DPPH, ABTS y Folin-Ciocalteu donde, nuevamente, la miel de la especie *S. mexicana* sobresalió por encima de las muestras de *A. mellifera* y *M. beecheii* obteniendo resultados más favorables con mejores índices en el porcentaje de inhibición y demostrando tener una mayor concentración de compuestos fenólicos que refuerzan sus propiedades nutrimentales.

El análisis de los compuestos funcionales evidenció una gran abundancia en compuestos bioactivos que estas mieles contienen y, de hecho, demostró que cada miel contiene un perfil completamente único y distintivo que las hace completamente únicas y, aun en el hecho de que las mieles de *S. mexicana* y *A. mellifera* solo coincidían en la presencia de dos compuestos (cafeína y veratraldehído) sus concentraciones son completamente diferentes y favorables para la especie *S. mexicana* siendo la que tenía una mayor concentración de estos mismos. Recordando al estudio de Álvarez-Suárez et al. (2018) se puede explicar que, en este caso, la abeja *S. mexicana* puede tener un favoritismo en la polinización de plantas donde este tipo de compuestos están presentes, o en su defecto, dada su taxonomía tener una mejor técnica de polinización de este tipo de flora.

En el análisis sensorial, más específicamente en la prueba de preferencia, se pudo notar que la miel de *M. beecheii* es la menos preferida por los consumidores y esto se puede deber al tipo de notas olfativas y gustativas con que se relacionó. En los casos de *A. mellifera* y *S. mexicana* se debería hacer la prueba con un panel más grande o excluir la muestra de *M. beecheii* para poder saber cuál de estas dos muestras es la preferida por los consumidores y de esta forma saber qué es lo que consideran las personas al momento de elegir una miel, si se basan en el sabor y aromas que contenga o en su dulzor.

Agrupando los datos, se puede confirmar que, todas las mieles presentaron características completamente diferentes y únicas, comparando con *A. mellifera* y aun entre los meliponinos estudiados lo que refuerza su valor tanto comercial como nutrimental.

Aunado a esto, los resultados obtenidos en esta investigación abren pauta al desarrollo de nuevos trabajos experimentales que profundicen en el potencial uso, no solo de la miel, sino de los diferentes productos derivados de la práctica pecuaria de la meliponicultura, así como los beneficios funcionales que puedan ofrecer. De igual forma, en el caso particular de la miel, resulta pertinente explorar sus aplicaciones nutraceuticas y gastronómicas con el propósito de promover su incorporación en nuevos usos que impulsen su distribución como producto de mayor valor agregado.

Este trabajo contribuye al conocimiento científico de estas especies dentro de la región de Xicotepec de Juárez y resalta la importancia de la conservación de las especies nativas cuya diversidad representa un recurso biocultural de gran relevancia para la región y el estado.

5.1 Referencias

- AENOR. (2010). *UNE- EN ISO 5492:2008*. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Alcalá, K. (2024). *Características altamente nutricionales de la miel, polen y jalea real*. INIFAP. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/caracteristicas-altamente-nutricionales-de-la-miel-polen-y-jalea-real>
- Al-Ghamdi, S., Alsulami, T., Alshamri, G., Ahmed, M., Ibrahim, M., Husain, F. M., Alameen, A. A., Fulleros, R., & Elamin, W. (2025). Physicochemical properties of honey and honey-like foods and their impact on E. coli survival: A comparative study. *Food Chemistry Advances*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100891>
- Al-Mahasneh, M., Al-U'Datt, M., Rababah, T., Al-Widyan, M., Abu Kaeed, A., Al-Mahasneh, A. J., & Abu-Khalaf, N. (2021). Classification and Prediction of Bee Honey Indirect Adulteration Using Physiochemical Properties Coupled with K-Means Clustering and Simulated Annealing-Artificial Neural Networks (SA-ANNs). *Journal of Food Quality*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6634598>
- Álvarez-Suárez, J. M. (2025). Carbohydrates. En J. M. Alvarez-Suarez (Ed.), *Bee Products – Chemical and Biological Properties* (Second Edition, pp. 49–52). Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-89049-9>
- Álvarez-Suárez, J. M., Giampieri, F., & Battino, M. (2013). Honey as a Source of Dietary Antioxidants: Structures, Bioavailability and Evidence of Protective Effects Against

Human Chronic Diseases. *Current Medicinal Chemistry*, 20(5), 621–638.
<https://doi.org/10.2174/092986713804999358>

- Álvarez-Suárez, J. M., Giampieri, F., Brenciani, A., Mazzoni, L., Gasparrini, M., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., Morroni, G., Simoni, S., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Giovanetti, E., & Battino, M. (2018). *Apis mellifera* vs *Melipona beecheii* Cuban polyfloral honeys: A comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties. *LWT*, 87, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.079>
- Anton Paar. (2023). *Instruction Manual and Safety Information ViscoQC 100*.
- AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis: Revision 1* (18th ed.). Aoac Intl.
- Arnold, N., Zepeda, R., & Vásquez Dávila Miriam Aldasoro Maya, M. (2018). *Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México con catálogo de especies* (1a ed.). CONABIO. www.ecosur.mx
- Attanzio, A., Tesoriere, L., Allegra, M., & Livrea, M. A. (2016). Monofloral honeys by Sicilian black honeybee (*Apis mellifera* ssp. *sicula*) have high reducing power and antioxidant capacity. *Heliyon*, 2(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00193>
- Beekman, M., & Ratnieks, F. L. W. (2000). Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. *Functional Ecology*, 14(4), 490–496. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00443.x>
- Berhe, A., Tesfaye, E., & Terle, D. (2018). Evaluation of Physicochemical Properties of Honey Bees (*Apis Mellifera*) in Godere Woreda, Gambella, Ethiopia. *American Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 50–56. <https://doi.org/10.12691/ajfst-6-1-8>
- Berrones, M., Hernández, H., & Márquez, E. M. (2022). Abejas sin aguijón: meliponas con diversidad, potencial funcional, terapéutico y biotecnológico. En *Abejas sin aguijón: meliponas con diversidad, potencial funcional, terapéutico y biotecnológico* (pp. 47–78).
- Biesmeijer, J. C., & Slaa, E. J. (2004). Information flow and organization of stingless bee foraging. *Apidologie*, 35(2), 143–157. <https://doi.org/10.1051/apido:2004003>
- Bodor, Z., Benedek, C., Urbin, Á., Szabó, D., & Sipos, L. (2021). Colour of honey: can we trust the Pfund scale? – An alternative graphical tool covering the whole visible spectra. *LWT*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111859>
- Borreby, C., Lillebæk, E. M. S., & Kallipolitis, B. H. (2023). Anti-infective activities of long-chain fatty acids against foodborne pathogens. *FEMS Microbiology Reviews*, 47(4). <https://doi.org/10.1093/femsre/fuad037>

- Bozkuş, T. N. (2025). Correlation of Total Polyphenol and Flavonoid Content With Antioxidant Activity of Caucasian Bee Honey. *Food Science and Nutrition*, 13(1). <https://doi.org/10.1002/fsn3.4611>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brelis, L. E., Sanchez, R., Sanguinetti, A., & Busch, V. M. (2025). Honey from Butia palm groves: Pollen profile, physicochemical properties, and sensory attributes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108299>
- C, S., Venugopala, K., Khedr, M., Attimarad, M., Padmashali, B., Kulkarni, R. S., Venugopala, R., & Odhav, B. (2017). review-on-chemistry-of-natural-and-synthetic-indolizines-with-their-chemical-and-pharmacological-properties.PDF. *Journal of Basic and Clinical Pharmacy*, 8(2), 49–60.
- Castillo, M. (2022). La vida de la abeja nativa en Cuetzalan, Puebla. *Voces y Saberes*, 3, 28–40. <https://www.aragon.unam.mx/fes-pub/documents/revistas/rvs/rvysn3/revista-voces-y-saberes.pdf>
- Chen, B., Lin, X., Liang, Z., Chang, X., Wang, Z., Huang, M., & Zeng, X. A. (2025). Advances in food flavor analysis and sensory evaluation techniques and applications: Traditional vs emerging. *Food Chemistry*, 494. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146235>
- Chen, Y. H., Chuah, W. C., & Chye, F. Y. (2021). Effect of drying on physicochemical and functional properties of stingless bee honey. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15328>
- Chia, T. Y., Zolp, A., & Miska, J. (2022). Polyamine Immunometabolism: Central Regulators of Inflammation, Cancer and Autoimmunity. *Cells*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/cells11050896>
- Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparrini, M., Reboredo-Rodríguez, P., Manna, P. P., Zhang, J., Lamas, L. B., Flórez, S. M., Toyos, P. A., Quiles, J. L., Giampieri, F., & Battino, M. (2018). Phenolic compounds in honey and their associated health benefits: A review. *Molecules*, 23(9). <https://doi.org/10.3390/molecules23092322>
- Ciappini, M. C., & Arias, L. M. (2023). Perfil sensorial y Check-All-That-Apply (CATA) como herramientas para evaluar las características sensoriales de la miel. *EUNK Revista Científica de Abejas y Apicultores*, 2(1), 28–37. <https://doi.org/10.52559/eunk.v2i1.37>

- Ciappini, M. C., Pozzo, L., Díaz, P., & Arias, L. M. (2022). Sensory profile and preference map for Argentine honeys of different floral origins. *AgriScientia*, 39(1), 133–142. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n1.35250>
- Cortopassi-Laurino, M., & Ramalho, M. (1988). POLLEN HARVEST BY AFRICANIZED APIS MELLIFERA AND TRIGONA SPINIPES IN SÃO PAULO BOTANICAL AND ECOLOGICAL VIEWS. *Apidologie*, 19, 1–24. <https://doi.org/10.1051/apido:19880101>
- Dawood, K. M., & Abbas, A. A. (2020). Inhibitory activities of indolizine derivatives: a patent review. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*. <https://doi.org/10.1080/13543776.2020.1798402>
- Dos Santos, A. B., & Do Nascimento, F. S. (2015). Cuticular hydrocarbons of orchid bees males: Interspecific and chemotaxonomy variation. *PLoS ONE*, 10(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145070>
- dos Santos, A. C., Faima, M. R., Gonzaga, L. V., & Oliveira, A. C. (2025). Evaluating maturity indicators in stingless bee honey: The role of soluble solids over pot condition in harvesting standards. *Journal of Food Composition and Analysis*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106869>
- El-Naggar, M. Y., Barakat, K. M., Aly-Eldeen, M. A., Ghoneim, H. B., & Hamdan, A. M. (2021). Veratraldehyde as a food additive produced by the marine isolate *Streptomyces diastaticus* LC360811. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 25(2), 1–19. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2021.156581>
- Espinosa, L. (2021). *La miel en México*. Atlas Nacional De Las Abejas Y Derivados Apícolas. <https://atlas-abejas.agricultura.gob.mx/cap3.html#a001>
- Espinoza-Toledo, C., Vázquez-Ovando, A., Torres de los Santos, R., López-García, A., Albores-Flores, V., & Grajales-Conesa, J. (2018). Stingless bee honeys from Soconusco, Chiapas: A complementary approach. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1536–1546. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32181>
- Estevinho, L., Pereira, A. P., Moreira, L., Dias, L. G., & Pereira, E. (2008). Antioxidant and antimicrobial effects of phenolic compounds extracts of Northeast Portugal honey. *Food and Chemical Toxicology*, 46(12), 3774–3779. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2008.09.062>
- Ewonkem, M. B., Deussom, P. M., Mbock, M. A., Tiakouang, E. N., Toze, A. F. A., & Wansi, D. J. (2023). Antibacterial, antifungal activities and toxicity of new synthetic fatty acid salicylate esters. *Medicinal Chemistry Research*, 32(4), 736–748. <https://doi.org/10.1007/s00044-023-03034-w>

- FAO/OMS. (2001). *CODEX NORMA PARA LA MIEL CODEX STAN 12-1981 1*.
- Fizza, C., Israr, M., Khan, M. J., Sarwar, A., Aziz, T., Chun, C., Zhao, L., Alhomrani, M., Alsanie, W. F., Alamri, A. S., Al-Asmari, F., & Al-Joufi, F. A. (2025). Cyclodipeptides (CDPs), the enzymatic synthesis, and the potential functional properties to exhibit broad varieties of pharmacological properties—A comprehensive review. *Italian Journal of Food Science*, 37(1), 106–127. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v37i1.2829>
- Gerginova, D., Popova, M., Chimshirova, R., Trusheva, B., Shanahan, M., Guzmán, M., Solorzano-Gordillo, E., López-Roblero, E., Spivak, M., Simova, S., & Bankova, V. (2023). The Chemical Composition of *Scaptotrigona mexicana* Honey and Propolis Collected in Two Locations: Similarities and Differences. *Foods*, 12(17). <https://doi.org/10.3390/foods12173317>
- Hutcheson, A. T., & Groce Brown, K. (2024). Chi-Square. En *Statistics for Psychology Research A Short Guide Using Excel* (pp. 161–165). Palgrave macmillan. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-60970-1>
- INEGI. (1995a). Agricultura. En *Xicotepec estado de Puebla Cuaderno Estadístico Municipal* (pp. 76–80). INEGI.
- INEGI. (1995b). Aspectos Geográficos. En *Xicotepec estado de Puebla Cuaderno Estadístico Municipal* (pp. 1–7). INEGI.
- Isidorov, V. A., Maslowiecka, J., Pellizzer, N., Miranda, D., & Bakier, S. (2023). Chemical composition of volatile components in the honey of some species of stingless bees. *Food Control*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109545>
- ISO. (2005). *ISO 5495:2005 Sensory analysis — Methodology — Paired comparison test*.
- Jerković, I., Tuberoso, C. I. G., Kuš, P. M., Marijanović, Z., & Kranjac, M. (2014). Screening of *Coffea* spp. honey by different methodologies: Theobromine and caffeine as chemical markers. *RSC Advances*, 4(105), 60557–60562. <https://doi.org/10.1039/c4ra11105b>
- Jiménez, M., Beristain, C. I., Azuara, E., Mendoza, M. R., & Pascual, L. A. (2016). Physicochemical and antioxidant properties of honey from *Scaptotrigona mexicana* bee. *Journal of Apicultural Research*, 55(2), 151–160. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1205294>
- Juárez-Trujillo, N., Carrouche, S., Mendozal-López María, Monribot-Villanueva, J., Guerrero-Analco, J., & Jiménez-Fernández, M. (2024). Influencia del tipo de recipiente y de los métodos tradicionales en el almacenamiento a largo plazo de la

- miel producida por *Scaptotrigona mexicana* sin aguijón: compuestos bioactivos y propiedades antioxidantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 323–343. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6458>
- Karabagias, I. K., Karabagias, V. K., & Badeka, A. V. (2019). The Honey volatile code: A collective study and extended version. *Foods*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/foods8100508>
- Karovi'c, M., Nikoli'c, M., Nedeljkovi'c, N., Vesovi'c, M., Nikoli'c, M., Anđić, M., Lazarevi'c, N., Jakovljevi'c, V., Nedeljkovi'c, J., Đakovi'c, S., Boškovi'c, J., & Dobriči'c, V. (2025). From Chemistry to Pharmacology: Exploring the Anti-Inflammatory and Antioxidant Potential of Novel Dexketoprofen Amide Derivatives. *Antioxidants*, 14. <https://doi.org/10.3390/antiox14070796>
- Khalil, M. I., Sulaiman, S. A., & Boukraa, L. (2010). Antioxidant Properties of Honey and Its Role in Preventing Health Disorder. *The Open Nutraceuticals Journal*, 3, 6–16. <https://doi.org/10.2174/18763960010030100006>
- Kisiriko, M., Anastasiadi, M., Terry, L., Yasri, A., Beale, M., & Ward, J. (2021). Phenolics from Medicinal and Aromatic Plants: Characterisation and Potential as Biostimulants and Bioprotectants. *Molecules*, 26, 1–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules26216343>
- Lawless, H., & Heymann, H. (2010). Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. En D. Heldman (Ed.), *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (Second Edition). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- León, K., Mery, D., Pedreschi, F., & León, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084–1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
- Leyva-Moguel, K., Sosa-Moguel, O., Pino, J. A., Bolivar-Moreno, D., & Cuevas-Glory, L. (2022). Physicochemical parameters of liquid and spray-dried honey of stingless bee *Scaptotrigona pectoralis*. *Journal of Apicultural Research*, 61(1), 91–99. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1688509>
- Liang, D., Wen, H., Zhou, Y., Wang, T., Jia, G., Cui, Z., & Li, A. (2023). Simultaneous qualitative and quantitative analyses of volatile components in Chinese honey of six botanical origins using headspace solid-phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(15), 7631–7642. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12850>
- Menezes, B. do A. D., Mattietto, R. de A., Silva, E. V. C. da, Silva, A. C. P. da, & Lourenço, L. de F. H. (2025). Sensorial profile and descriptive terminology of honey from *Apis mellifera* and stingless bees *Melipona fasciculata* and *Melipona flavo-*

lineata from the Amazon region. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, 23(3), 1–20. <https://doi.org/10.55905/oelv23n3-071>

- Miguel, M. G., Antunes, M. D., & Faleiro, M. L. (2017). Honey as a complementary medicine. *Integrative Medicine Insights*, 12, 1–15. <https://doi.org/10.1177/1178633717702869>
- Miranda, I. R., Ancona, D. B., & Ordóñez, Y. M. (2023). Influence of phenolic compounds and flavonoids on the colour and antioxidant activity of Melipona beecheii honey from deciduous forest of Yucatan, Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 35(12), 1–10. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.3198>
- Mishra, A. K., Choi, J., Choi, S. J., & Baek, K. H. (2017). Cyclodipeptides: An overview of their biosynthesis and biological activity. *Molecules*, 22(10). <https://doi.org/10.3390/molecules22101796>
- Moret, S., Purcaro, G., & Conte, L. S. (2014). Tecniche tradizionali di preparazione del campione e loro sviluppi. En *Il campione per l'analisi chimica* (pp. 18–22). Springer Milan. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-5738-8>
- Muñoz Langarica, L., Robles Sandoval, M. I., Muñoz Urias, A., & Torres-Morán, M. I. (2024). La abeja Melipona en Puebla: registro de una producción sustentable. *e-CUCBA*, 12(24), 74–78. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi24.380>
- Nanda, V., Singh, B., Kumar, V., & Singh, A. (2009). Characterisation of honey produced from different fruit plants of northern India. *International Journal of Food Science & Technology*, 44, 2629–2636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02094.x>
- Negera, T., Degu, A., & Tigu, F. (2024). Comparative analysis of the physicochemical, proximate, and antioxidant characteristics of stingless bee (*Meliponula beccarii*) honey from modern and wild beehives in Ethiopia. *Food Science and Nutrition*, 12(3), 1673–1685. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3861>
- Ngaini, Z., Kelabo, E. S., Hussain, H., & Wahi, R. (2021). High therapeutic properties of honey from the borneo stingless bee, heterotrigona itama. *International Journal of Current Research and Review*, 13(4), 100–107. <https://doi.org/10.31782/IJCRR.2021.SP131>
- Nielsen, S. Suzanne. (1998). *Food Analysis* (Second Edition). Aspen Publishers.
- Nordin, A., Sainik, N. Q. A. V., Chowdhury, S. R., Saim, A. Bin, & Idrus, R. B. H. (2018). Physicochemical properties of stingless bee honey from around the globe: A comprehensive review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 73, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.06.002>

- Nunes, F., Lucena, L., Moreira, L., Souza, L., de Sousa, M., Monteiro, S., Alencar, T., dos Santos, M., & Suely, M. (2023). Quality of Brazilian stingless bee honeys: *Cephalotrigona capitata*/mombucão and *Melipona scutellaris* Latrelle/uruçu. *Food Chemistry*, 404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134306>
- Ochola, J. B., Nganso, B. T., Subramanian, S., & Nkoba, K. (2024). Evaluation of volatiles from ethnobotanical plants as attractants for the honey bee swarms in Kenya. *Journal of Applied Entomology*, 148(8), 938–947. <https://doi.org/10.1111/jen.13312>
- Oliveira, D. M., Kwiatkowski, A., Rosa, C. I. L. F., Clemente, E., De Pontara, L. P. M., & Haminiuk, C. W. I. (2015). Physicochemical and rheological evaluation of cassava flower honey produced by Africanized *Apis mellifera*. *Food Science and Technology Research*, 21(1), 23–29. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.23>
- Owusu-Apenten, R., & Vieira, E. R. (2023). Quality and Sensory Evaluation of Food. En Fifth Edition (Ed.), *Elementary Food Science* (p. 120). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-65433-7_5
- Pacula-Miszewska, A. J., Obieziurska-Fabisiak, M., Jastrzębska, A., Długosz-Pokorska, A., Gach-Janczak, K., & Ścianowski, J. (2023). The Influence of Long Carbon Chains on the Antioxidant and Anticancer Properties of N-Substituted Benzisosenazolones and Corresponding Diselenides. *Pharmaceuticals*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/ph16111560>
- Panseri, S., Manzo, A., Chiesa, L. M., & Giorgi, A. (2013). Melissopalynological and volatile compounds analysis of buckwheat honey from different geographical origins and their role in botanical determination. *Journal of Chemistry*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/904202>
- Pimentel, T. C., Rosset, M., de Sousa, J. M. B., de Oliveira, L. I. G., Mafaldo, I. M., Pintado, M. M. E., de Souza, E. L., & Magnani, M. (2022). Stingless bee honey: An overview of health benefits and main market challenges. *Journal of Food Biochemistry*, 46(3). <https://doi.org/10.1111/jfbc.13883>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). ANTIOXIDANT ACTIVITY APPLYING AN IMPROVED ABTS RADICAL CATION DECOLORIZATION ASSAY. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231–1237. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Reineccius, G., & Quian, M. (2024). Gas Chromatography. En B. Ismail & S. Nielsen (Eds.), *Food Analysis* (Sixth Edition, pp. 207–229). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-50643-7_14

- Ruiz-Ruiz, J. C., Matus-Basto, A. J., Acereto-Escoffié, P., & Segura-Campos, M. R. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory activities of phenolic compounds isolated from *Melipona beecheii* honey. *Food and Agricultural Immunology*, 28(6), 1424–1437. <https://doi.org/10.1080/09540105.2017.1347148>
- Saad, B. (2025). Immunomodulatory and Anti-Inflammatory Properties of Honey and Bee Products. *Immuno*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/immuno5020019>
- SADER. (2020). *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones*. DOF. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5592435&fecha=29/04/2020#gsc.tab=0
- Sánchez-Chino, X. M., Jiménez-Martínez, C., Ramírez-Arriaga, E., Martínez-Herrera, J., Corzo-Ríos, L. J., & Godínez García, L. M. (2019). Actividad antioxidante y quelante de metales de las mieles de *Melipona beecheii* y *Frieseomelitta nigra* originarias de Tabasco, México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.186>
- Saraiva, S. M., Jacinto, T. A., Gonçalves, A. C., Gaspar, D., & Silva, L. R. (2023). Overview of Caffeine Effects on Human Health and Emerging Delivery Strategies. *Pharmaceuticals*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/ph16081067>
- SECTUR. (2019). *Xicoteppec de Juárez, Puebla*. SECTUR. <https://www.gob.mx/sectur/articulos/xicoteppec-de-juarez-puebla>
- SEMARNAT. (2024). Por las Abejas Guía didáctica para atender la problemática de la muerte masiva de abejas. *SEP*, 21–23. www.gob.mx/semarnat
- Sharin, S. N., Sani, M. S. A., Jaafar, M. A., Yuswan, M. H., Kassim, N. K., Manaf, Y. N., Wasoh, H., Zaki, N. N. M., & Hashim, A. M. (2021). Discrimination of Malaysian stingless bee honey from different entomological origins based on physicochemical properties and volatile compound profiles using chemometrics and machine learning. *Food Chemistry*, 346. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128654>
- Shimoda, M., Wu, Y., & Osajima, Y. (1996). Aroma Compounds from Aqueous Solution of Haze (*Rhus succedanea*) Honey Determined by Adsorptive Column Chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(12), 3913–3918. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf9601168>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods In Enzymology*, 2, 152–178. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

- Socała, K., Szopa, A., Serefko, A., Poleszak, E., & Wlaź, P. (2021). Neuroprotective effects of coffee bioactive compounds: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 1–64. <https://doi.org/10.3390/ijms22010107>
- Sopade, P. A., Halley, P., Bhandari, B., D’Arcy, B., Doebler, C., & Caffin, N. (2003). Application of the Williams–Landel–Ferry model to the viscosity–temperature relationship of Australian honeys. *Journal of Food Engineering*, 56(1), 67–75. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00149-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00149-8)
- Soria, A. C., Sanz, J., & Martínez-Castro, I. (2009). SPME followed by GC-MS: A powerful technique for qualitative analysis of honey volatiles. *European Food Research and Technology*, 228(4), 579–590. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0966-z>
- Standars Malaysia. (2017). *MALAYSIAN STANDARD Kelulut (Stingless bee) honey-Specification*. <http://www.sirim.my>
- Sun, Z., Liu, L., Zhang, H., Zhang, M., Xu, B., Wang, Y., Li, X., Mu, D., & Wu, X. (2025). High-resolution mass spectrometry-based assessment of chemical composition’s effect on the honey color. *Journal of Chromatography A*, 1748. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2025.465880>
- Tolomeu, H. V., & Manssour, C. A. (2023). Imidazole: Synthesis, Functionalization and Physicochemical Properties of a Privileged Structure in Medicinal Chemistry. *Molecules*, 28(2). <https://doi.org/10.3390/molecules28020838>
- Venn-Watson, S., & Schork, N. J. (2023). Pentadecanoic Acid (C15:0), an Essential Fatty Acid, Shares Clinically Relevant Cell-Based Activities with Leading Longevity-Enhancing Compounds. *Nutrients*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/nu15214607>
- Vit, P., Chuttong, B., Ramírez-Arriaga, E., Enríquez, E., Wang, Z., Cervancia, C., Vossler, F., Kimoloi, S., Engel, M. S., Contreras, R. R., Mduda, C. A., & Tomás-Barberán, F. (2025). Stingless bee honey: Nutraceutical properties and urgent call for proposed global standards. *Trends in Food Science and Technology*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104844>
- Vit, P., R.M. Pedro, S., & Roubik, D. W. (2013). Acceptance of Pot-Honeys from Different Species of Meliponini. En P. Vit, S. R.M. Pedro, & D. W. Reoubik (Eds.), *Pot-Honey A legacy of stingless bees* (pp. 354–357). Springer. <https://doi.org/DOI10.1007/978-1-4614-4960-7>
- Wu, M.-C., Wu, C.-Y., Klaithin, K., Tiong, K. K., & Peng, C.-C. (2022). Effect of harvest time span on physicochemical properties, antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities of Meliponinae honey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(13), 5750–5758. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11924>

- Xolalpa-Aroche, A., Hernández-Mena, D. I., Moguel-Chin, W. I., Contreras-Peruyero, H., Rivero-Cruz, B. E., Ortiz-Vázquez, E., Rivero-Cruz, J. F., M, R. A. V., & Delgado-Suárez, E. J. (2024). Physicochemical Properties of Two Mexican Stingless Bee honeys to Strengthen Their Biocultural Value. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 34(5), 1129–1139. <https://doi.org/10.1007/s43450-024-00566-z>
- Yah-Rosales, L. A., Chel-Guerrero, L. A., Sacramento-Rivero, J. C., & Baz-Rodríguez, S. A. (2023). Physicochemical, Rheological, and Thermal Properties of Pot-Honey from the Stingless Bee *Melipona beecheii*. *Ingenieria e Investigacion*, 43(3). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.103232>
- Yangoua, H., Dibacto, R. E. K., Tchuenta, B. R. T., Nyobe, E. C., Wandji Nguedjo, M., Alex Dimitri, T. K., & Kamini, M. F. G. (2024). Physicochemical properties and antioxidant potential of honey from Cameroon agroecological zones. *Heliyon*, 10(22). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40232>
- Zaldivar, A., Flores, E., Castro, F., Vázquez, P., Hernández, M., Garduño, A., Hernández, E., & Ángeles, J. (2025). Estimation of phenolic, flavonoid, and antioxidant properties of stingless bees honey based on colour and chemical characteristics using artificial neural networks (ANN). *Animal - Science proceedings*, 16(1), 295–297. <https://doi.org/10.1016/j.anscip.2025.04.224>
- Zen, I., Delbem, A. C. B., Hosida, T. Y., Sampaio, C., de Moraes, L. A., Martins, T. P., Monteiro, D. R., & Pessan, J. P. (2023). Antimicrobial Effect of Low-Fluoride Toothpastes Containing Polyphosphate and Polyols: An In Vitro Assessment of Inhibition Zones. *Antibiotics*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/antibiotics12081333>

5.2 Anexos

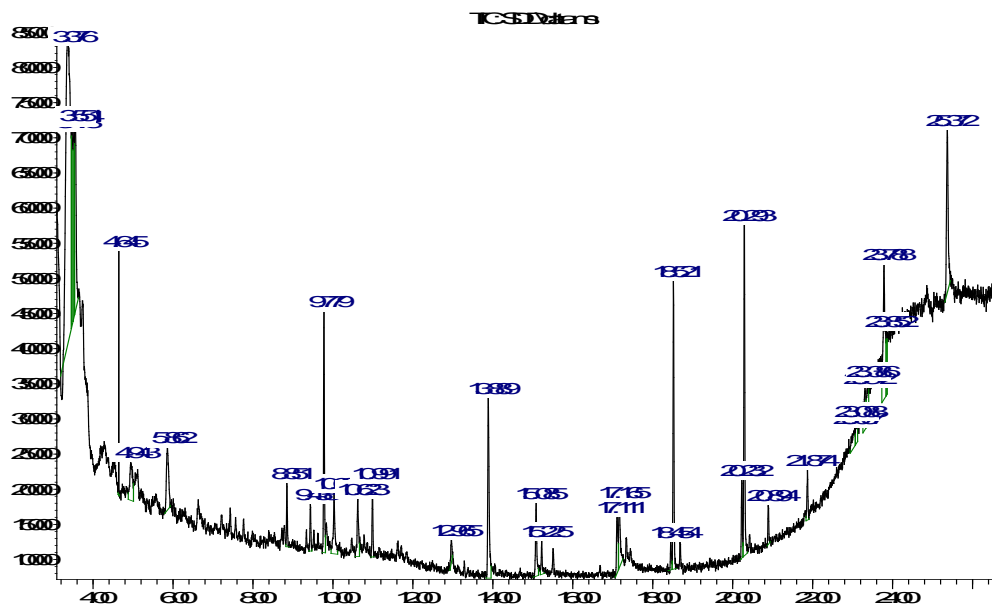
Anexo 1: Tabla de conversión de índice de refracción a 20°C a porcentaje de humedad en miel, tomada del libro de los métodos oficiales de análisis de la AOAC (AOAC, 2006).

Tabla 13
Relación entre índice de refracción y el índice de contenido de agua en miel

Contenido de Agua (%)	In. Refracción a 20°C	Contenido de Agua (%)	In. Refracción a 20°C	Contenido de Agua (%)	In. Refracción a 20°C
13.0	1.5044	17.2	1.4935	21.4	1.4830
13.2	1.5038	17.4	1.4930	21.6	1.4825
13.4	1.5033	17.6	1.4925	21.8	1.4820
13.6	1.5028	17.8	1.4920	22.0	1.4815
13.8	1.5023	18.0	1.4915	22.2	1.4810
14.0	1.5018	18.2	1.4910	22.4	1.4805
14.2	1.5012	18.4	1.4905	22.6	1.4800
14.4	1.5007	18.6	1.4900	22.8	1.4795
14.6	1.5002	18.8	1.4895	23.0	1.4790
14.8	1.4997	19.0	1.4890	23.2	1.4785
15.0	1.4992	19.2	1.4885	23.4	1.4780
15.2	1.4987	19.4	1.4880	23.6	1.4775
15.4	1.4982	19.6	1.4875	23.8	1.4770
15.6	1.4976	19.8	1.4870	24.0	1.4765
15.8	1.4971	20.0	1.4865	24.2	1.4760
16.0	1.4966	20.2	1.4860	24.4	1.4755
16.2	1.4961	20.4	1.4855	24.6	1.4750
16.4	1.4956	20.6	1.4850	24.8	1.4745
16.6	1.4951	20.8	1.4845	25.0	1.4740
16.8	1.4946	21.0	1.4840		
17.0	1.4940	21.2	1.4835		

Anexo 2: Cromatogramas de compuestos encontrados en GC-MS para la muestra de *S. mexicana* en ambos solventes.

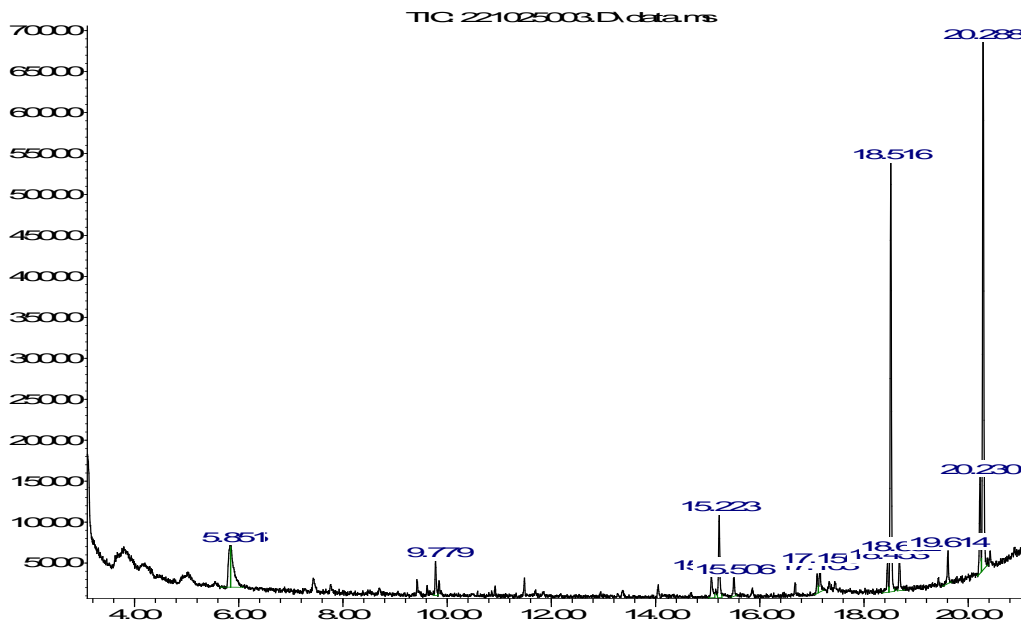
Abundance



Te>

Ilustración 21: Cromatograma del extracto de la muestra de *S. mexicana* en dicloro metano. Fuente Propia.

Abundance



Time->

Ilustración 22: Cromatograma del extracto de la muestra de *S. mexicana* en éter de petróleo. Fuente Propia.

Anexo 3: Cromatogramas de compuestos encontrados en GC-MS para la muestra de *A. mellifera* en ambos solventes

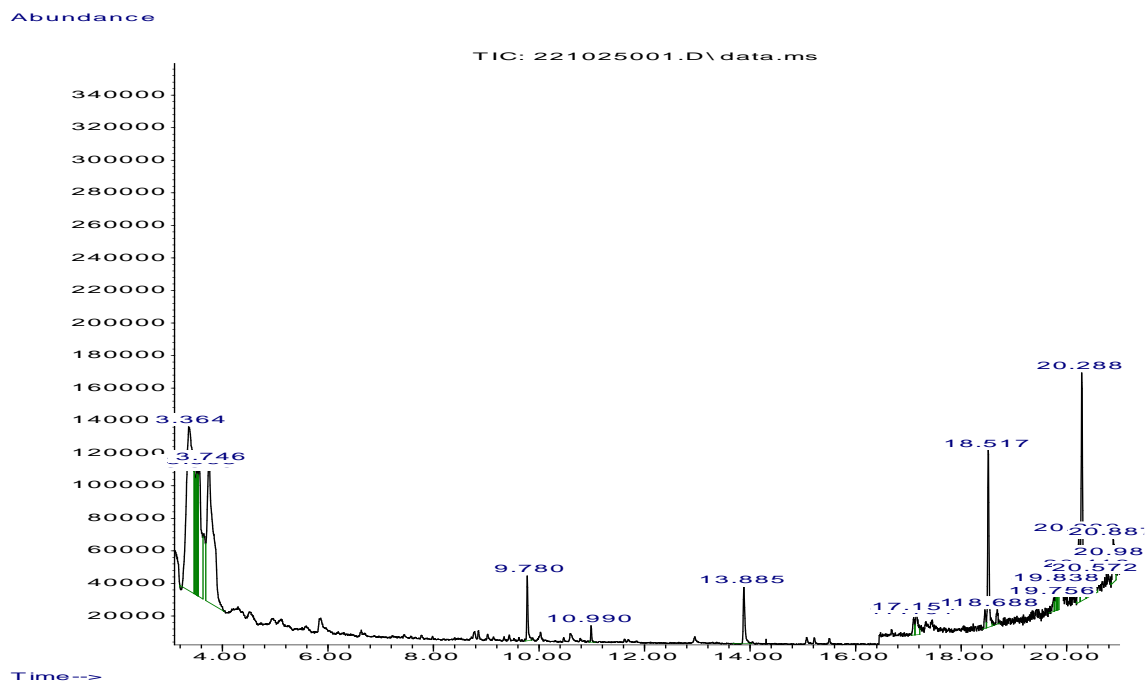


Ilustración 23: Cromatograma del extracto de la muestra de *A. mellifera* en dicloro metano. Fuente Propia.

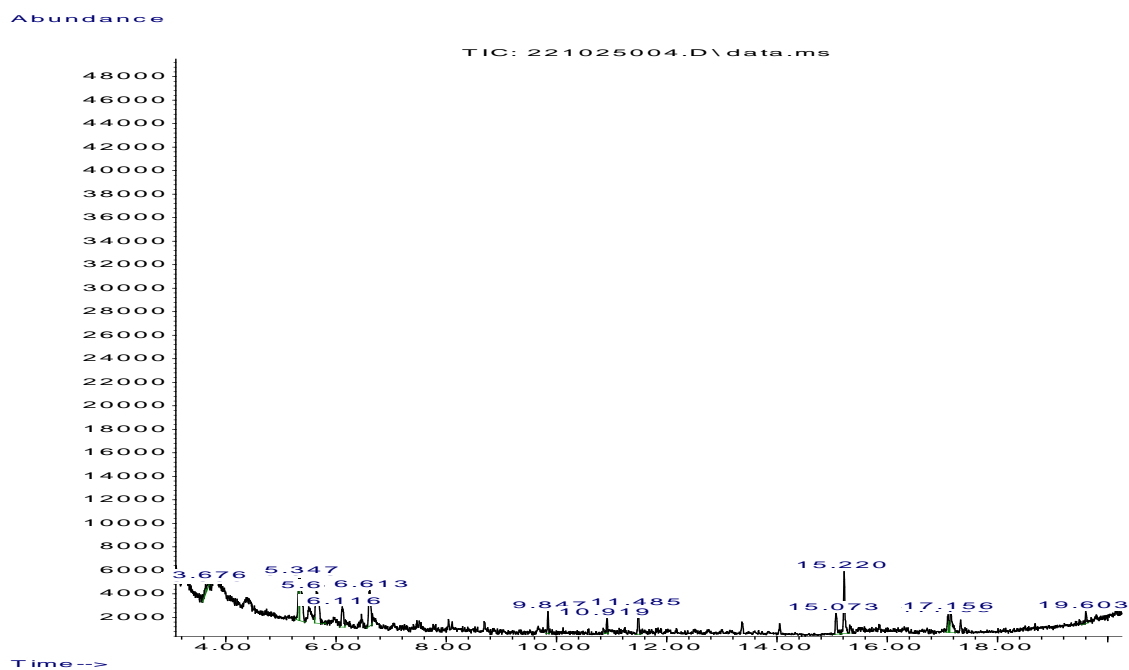
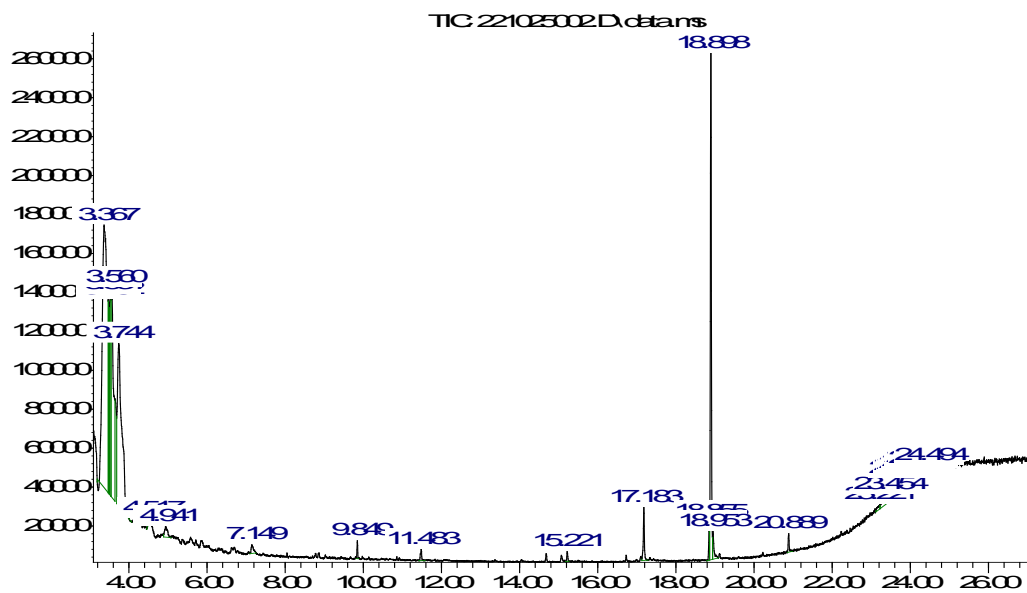


Ilustración 24: Cromatograma del extracto de la muestra de *A. mellifera* en éter de petróleo. Fuente Propia.

Anexo 4: Cromatogramas de compuestos encontrados en GC-MS para la muestra de *M. beecheii* en ambos solventes.

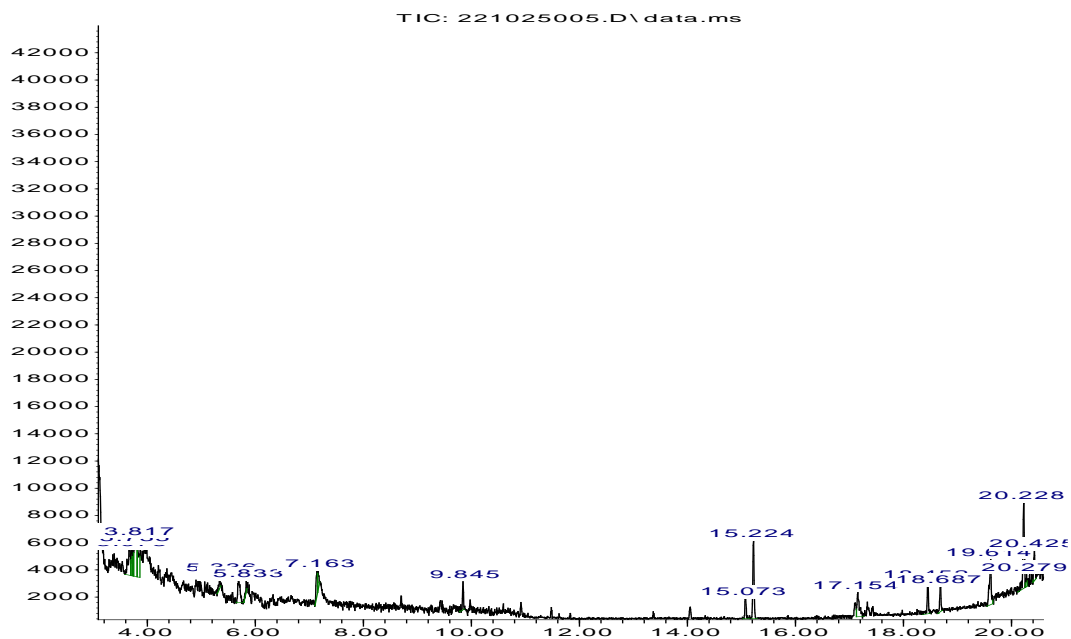
Abundance



Time-->

Ilustración 25: Cromatograma del extracto de la muestra de *M. beecheii* en dicloro metano. Fuente Propia.

Abundance



Time-->

Ilustración 26: Cromatograma del extracto de la muestra de *M. beecheii* en éter de petróleo. Fuente Propia.

Anexo 5: Tablas individuales de los compuestos encontrados en la GC-MS para la muestra de *S. mexicana* en ambos solventes

Tabla 14

Lista de compuestos detectados en la miel de *S. mexicana* usando dicloro metano como solvente.

NP	TR	NC	FE	AP	#CAS	PP
8	8.853	5-Metil-indolizina	C ₉ H ₉ N	1.01	1761-19-9	50
10	9.778	Veratraldehído	C ₉ H ₁₀ O ₃	3.97	120-14-9	96
15	13.891	Cafeína	C ₈ H ₁₀ N ₄ O ₂	4.57	58-08-2	95
21	18.523	E-15-Heptadecenal	C ₁₇ H ₃₂ O	5.16	1000130-97-9	96
23	20.293	1-Nonadeceno	C ₁₉ H ₃₈	6.51	18435-45-5	70

Nota: NP=Número del pico dentro de cromatograma, TR=Tiempo de retención en minutos, NC=Nombre común del compuesto detectado, FE=Fórmula empírica, AP=Área del pico (%), #CAS=Número de identificación CAS (Chemical Abstracts Service) asociado al compuesto detectado, PP=Porcentaje de probabilidad de que el compuesto detectado sea correcto.

Tabla 15

Lista de compuestos detectados en la miel de *S. mexicana* usando éter de petróleo como solvente.

NP	TR	NC	FE	AP	#CAS	PP
2	5.852	Fenil etanol	C ₈ H ₁₀ O	1.25	60-12-8	64
4	15.073	N-(3-metilbutil) acetamida	C ₇ H ₁₅ NO	0.39	13434-12-3	40
9	18.454	Bis(3-aminopropil)amina	C ₆ H ₁₇ N ₃	0.40	56-18-8	23
10	18.518	Muscalura	C ₂₃ H ₄₆	5.02	27519-02-4	99
11	18.684	9-octil-eicosano	C ₂₈ H ₄₆	0.49	13475-77-9	38

Nota: NP=Número del pico dentro de cromatograma, TR=Tiempo de retención en minutos, NC=Nombre común del compuesto detectado, FE=Fórmula empírica, AP=Área del pico (%), #CAS=Número de identificación CAS (Chemical Abstracts Service) asociado al compuesto detectado, PP=Porcentaje de probabilidad de que el compuesto detectado sea correcto.

Anexo 6: Tablas individuales de los compuestos encontrados en la GC-MS para la muestra de *A. mellifera* en ambos solventes

Tabla 16

Lista de compuestos detectados en la miel de *A. mellifera* usando dicloro metano como solvente.

NP	TR	NC	FE	AP	#CAS	PP
10	9.778	Veratraldehído	C ₉ H ₁₀ O ₃	0.37	120-14-9	96
14	13.886	Cafeína	C ₈ H ₁₀ N ₄ O ₂	0.43	58-08-2	97
23	18.518	2-ciclopentano-1,4-diona	C ₅ H ₄ O ₂	1.10	930-60-9	43
39	19.887	3-metoxi-2-fenil-quinona-4-ácido carboxílico	C ₁₇ H ₁₃ NO ₃	0.25	41957-64-6	27
45	20.288	2,4-dimetilimidazol	C ₅ H ₈ N ₂	1.63	930-62-1	37

Nota: NP=Número del pico dentro de cromatograma, TR=Tiempo de retención en minutos, NC=Nombre común del compuesto detectado, FE=Fórmula empírica, AP=Área del pico (%), #CAS=Número de identificación CAS (Chemical Abstracts Service) asociado al compuesto detectado, PP=Porcentaje de probabilidad de que el compuesto detectado sea correcto.

Tabla 17

Lista de compuestos detectados en la miel de *A. mellifera* usando éter de petróleo como solvente.

NP	TR	NC	FE	AP	#CAS	PP
4	5.349	(Z)-óxido de linalol (furanóide)	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.31	5989-33-3	32

Nota: NP=Número del pico dentro de cromatograma, TR=Tiempo de retención en minutos, NC=Nombre común del compuesto detectado, FE=Fórmula empírica, AP=Área del pico (%), #CAS=Número de identificación CAS (Chemical Abstracts Service) asociado al compuesto detectado, PP=Porcentaje de probabilidad de que el compuesto detectado sea correcto.

Anexo 7: Tablas individuales de los compuestos encontrados en la GC-MS para la muestra de *M. beecheii* en ambos solventes

Tabla 18

Lista de compuestos detectados en la miel de *M. beecheii* usando dicloro metano como solvente.

NP	TR	NC	FE	AP	#CAS	PP
5	5.745	Hexilenglicol	C ₆ H ₁₄ O ₂	17.66	107-41-5	14
12	17.180	Palmitato de butilo	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	1.44	111-06-8	64
13	18.855	7-Pentadecino	C ₁₅ H ₂₈	0.72	22089-89-0	96
14	18.897	n-Propil-11-octadecenoato	C ₂₁ H ₄₀ O ₂	12-93	1000336-71-7	87

Nota: NP=Número del pico dentro de cromatograma, TR=Tiempo de retención en minutos, NC=Nombre común del compuesto detectado, FE=Fórmula empírica, AP=Área del pico (%), #CAS=Número de identificación CAS (Chemical Abstracts Service) asociado al compuesto detectado, PP=Porcentaje de probabilidad de que el compuesto detectado sea correcto.

Tabla 19

Lista de compuestos detectados en la miel de *M. beecheii* usando éter de petróleo como solvente.

NP	TR	NC	FE	AP	#CAS	PP
14	17.154	1-Octanol	C ₈ H ₁₈ O	0.17	111-87-5	22
15	18.454	1-hexadecanol	C ₁₆ H ₃₄ O	0.14	36653-82-4	35

Nota: NP=Número del pico dentro de cromatograma, TR=Tiempo de retención en minutos, NC=Nombre común del compuesto detectado, FE=Fórmula empírica, AP=Área del pico (%), #CAS=Número de identificación CAS (Chemical Abstracts Service) asociado al compuesto detectado, PP=Porcentaje de probabilidad de que el compuesto detectado sea correcto.

Anexo 8: Diagramas de telaraña comparativos entre el panel entrenado (PE) y el panel no entrenado (PNE) para las características evaluadas en el ensayo CATA.

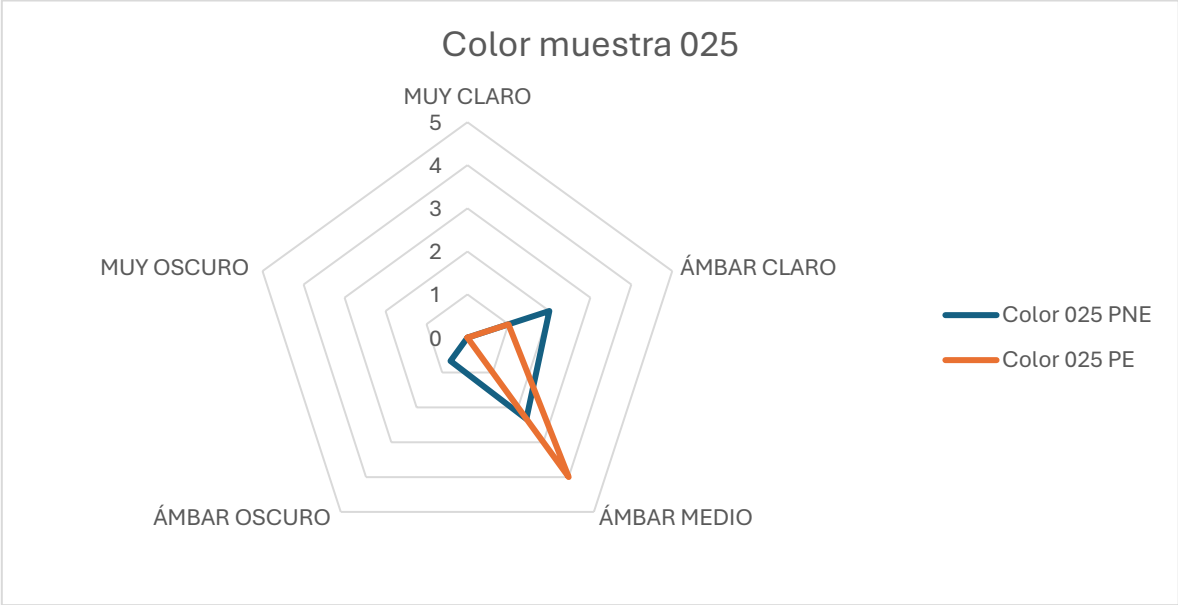


Ilustración 27: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el color de la muestra 025 (*A. mellifera*). Fuente: Propia.



Ilustración 28: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el color de la muestra 323 (*M. beecheii*). Fuente: Propia.

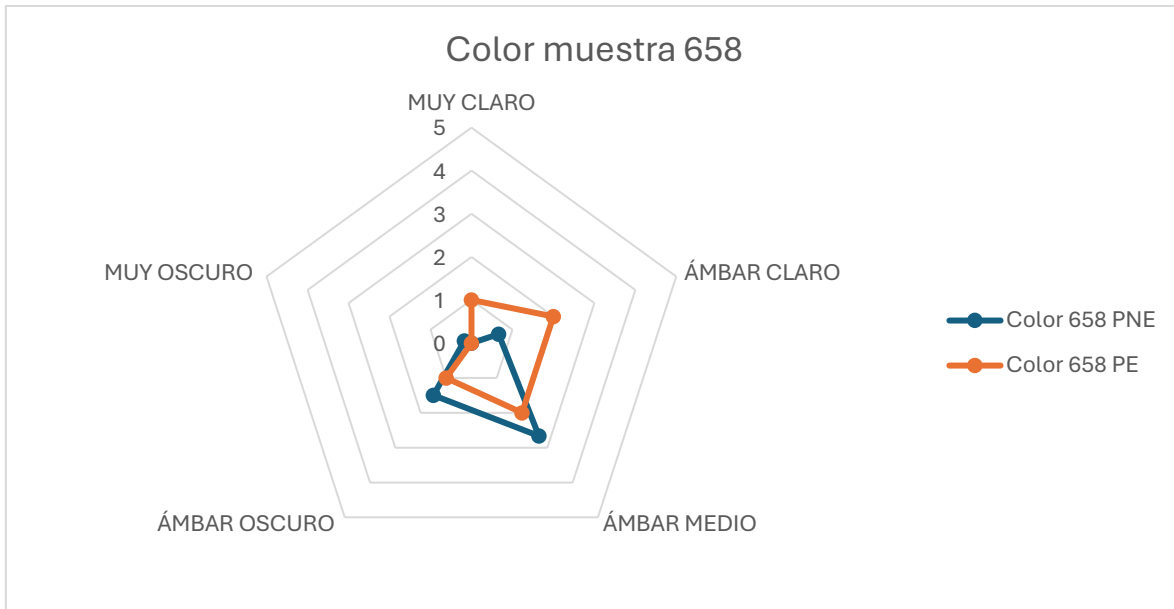


Ilustración 29: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el color de la muestra 658 (S. mexicana). Fuente: Propia.

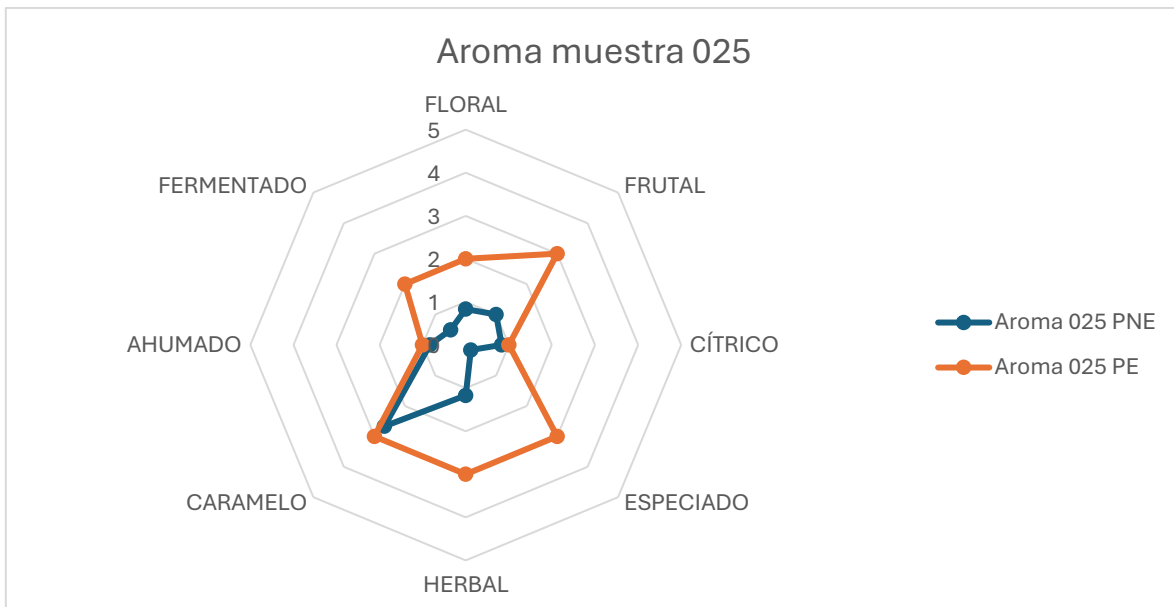


Ilustración 30: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el aroma de la muestra 025 (A. mellifera). Fuente: Propia.

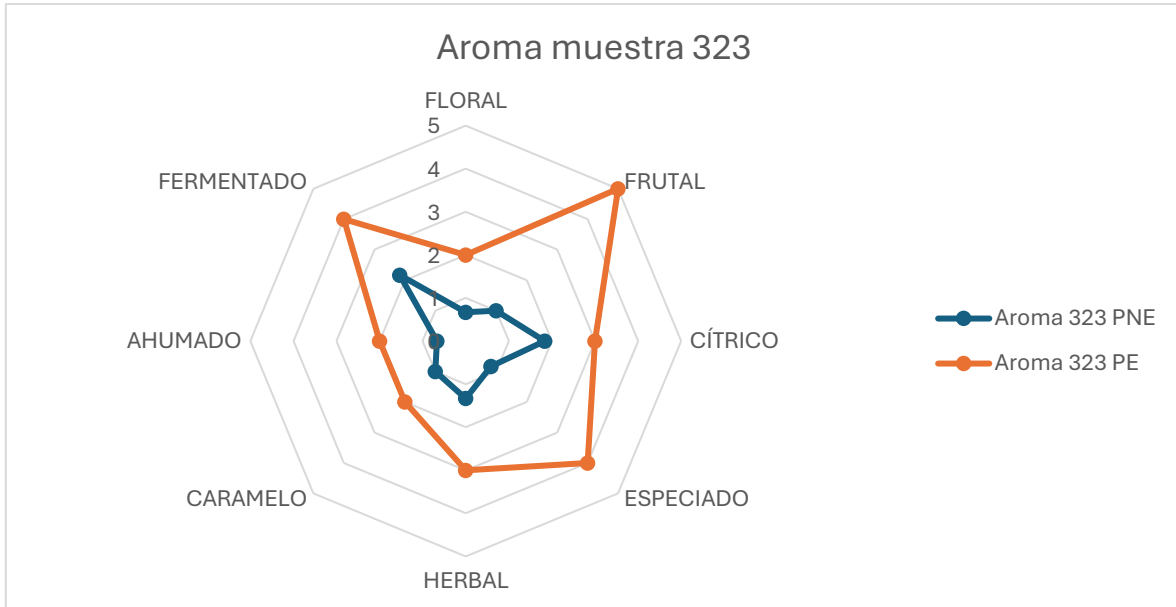


Ilustración 31: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el aroma de la muestra 323 (M. becheii). Fuente: Propia.

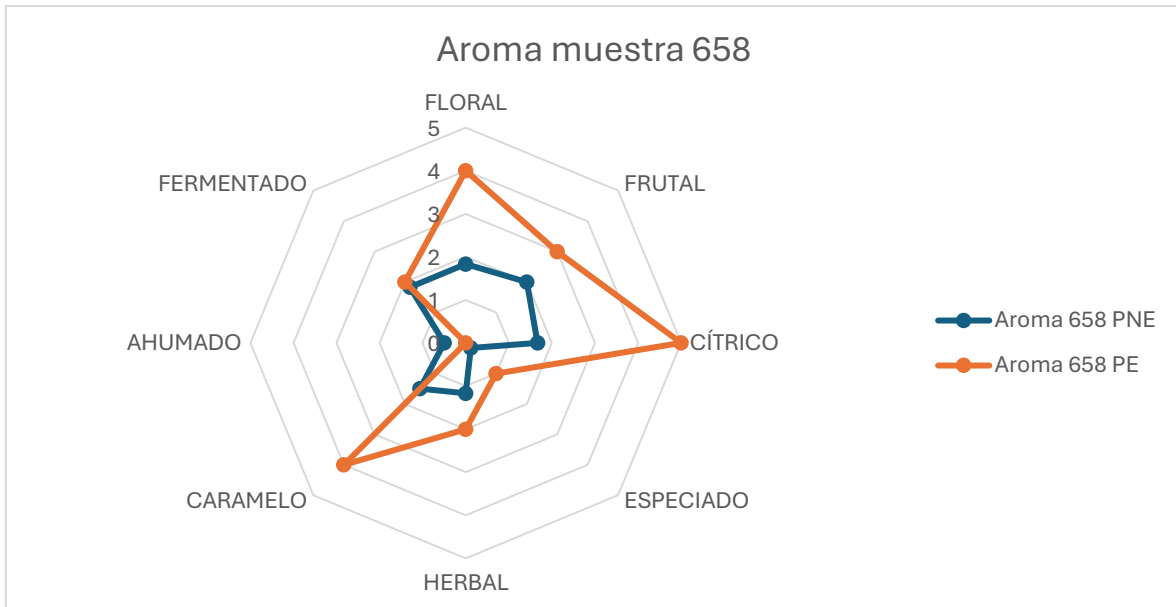


Ilustración 32: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el aroma de la muestra 658 (S. mexicana). Fuente: Propia.

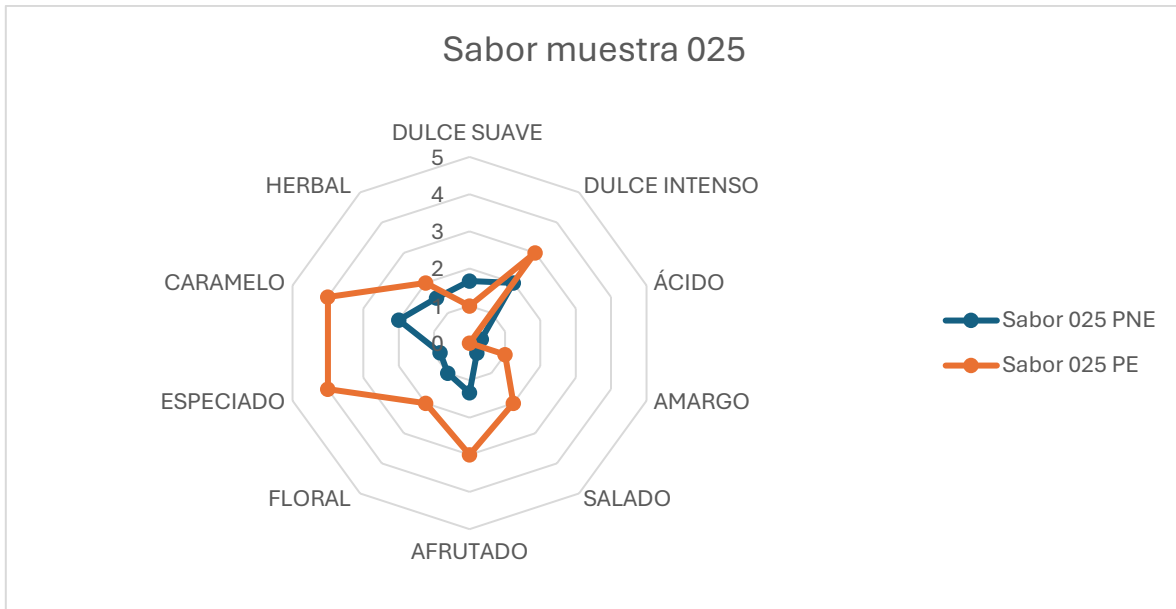


Ilustración 33: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el sabor de la muestra 025 (A. mellifera). Fuente: Propia.

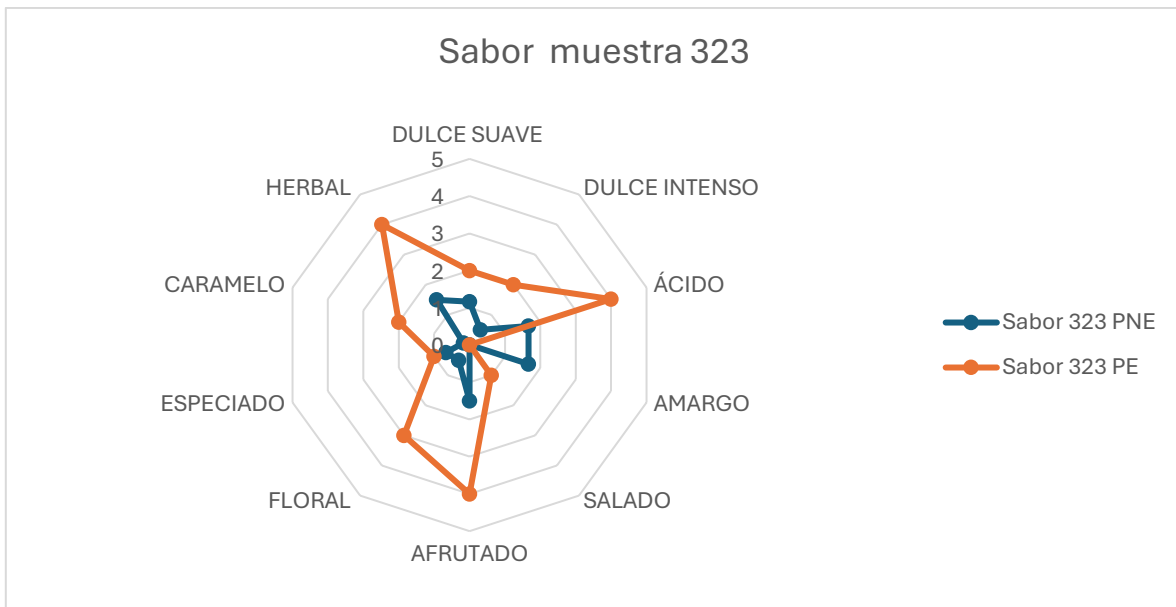


Ilustración 34: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el sabor de la muestra 323 (M. beecheii). Fuente: Propia.

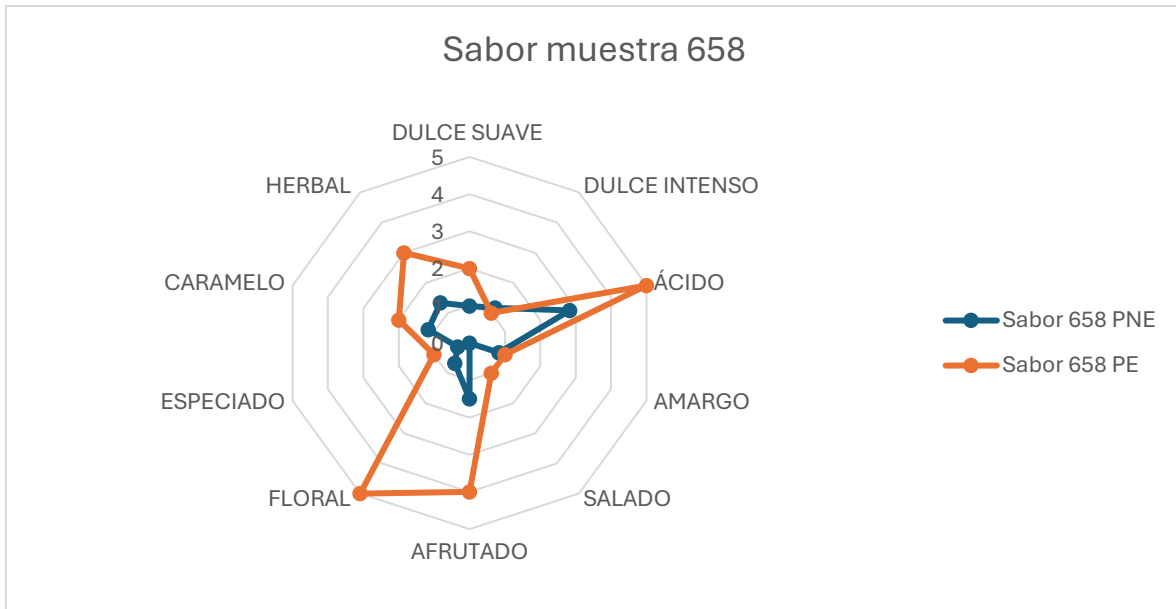


Ilustración 35: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para el sabor de la muestra 658 (*S. mexicana*). Fuente: Propia.

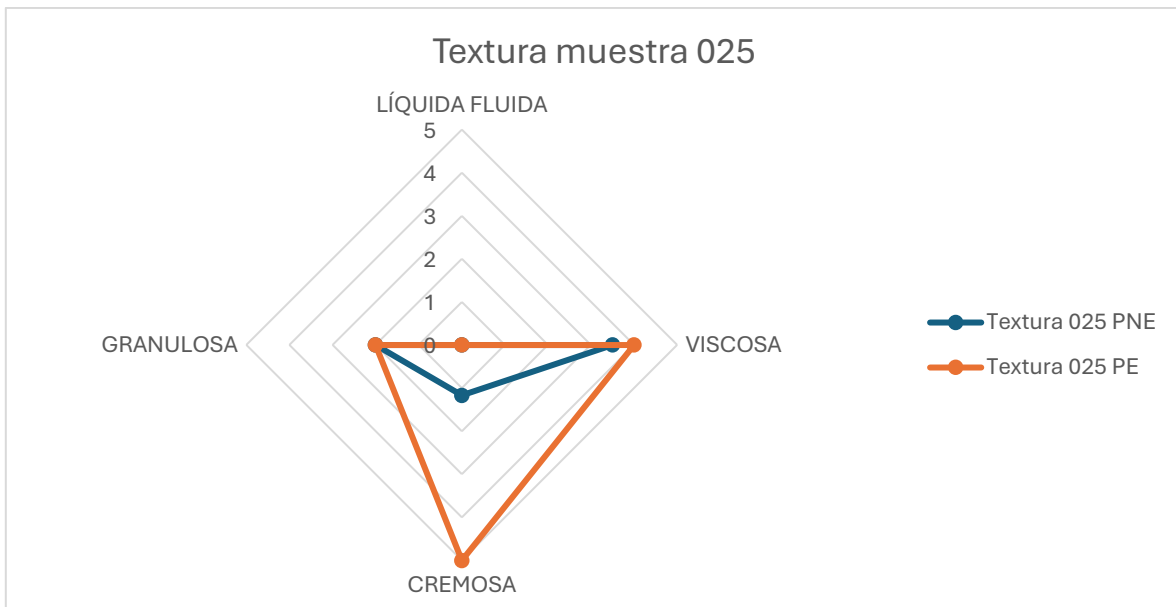


Ilustración 36: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para la textura de la muestra 025 (*A. mellifera*). Fuente: Propia.

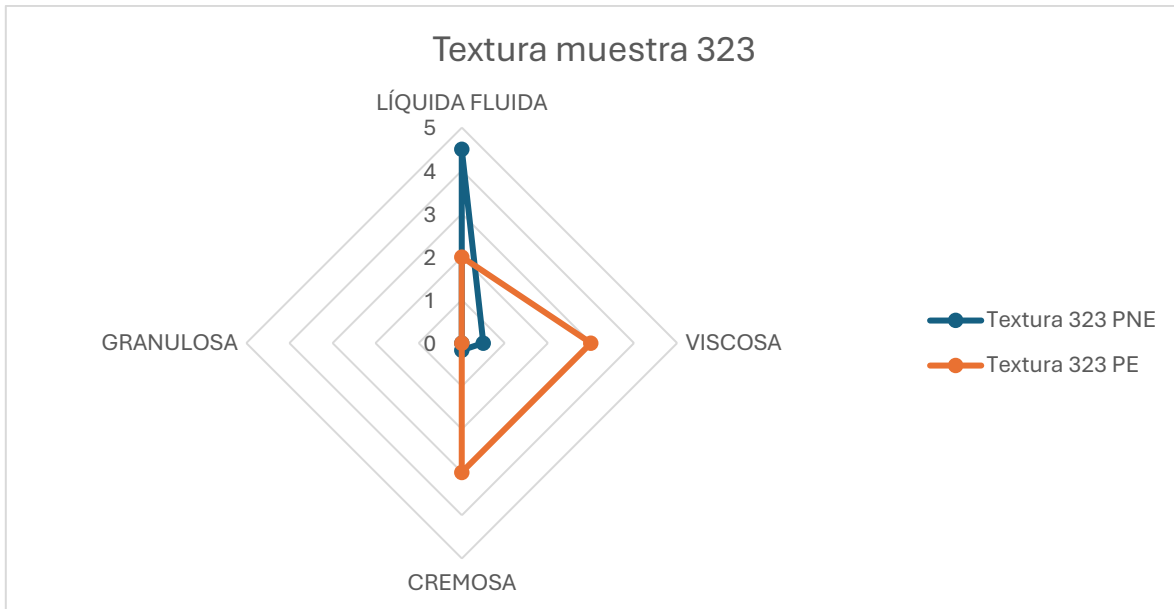


Ilustración 37: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para la textura de la muestra 323 (M. becheii). Fuente: Propia.

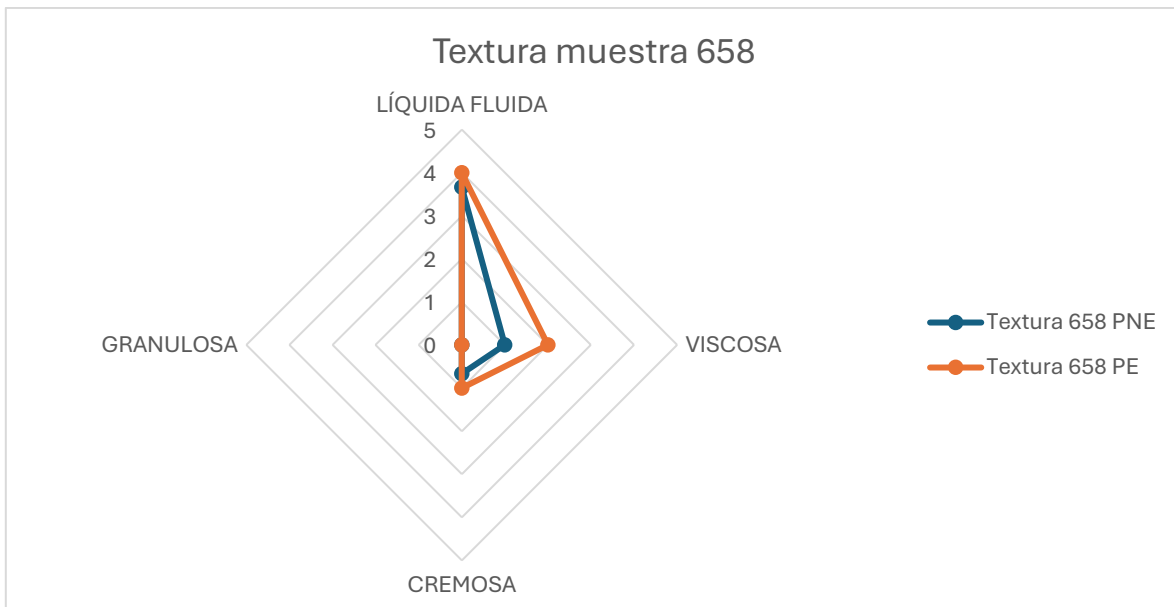


Ilustración 38: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para la textura de la muestra 658 (S. mexicana). Fuente: Propia.

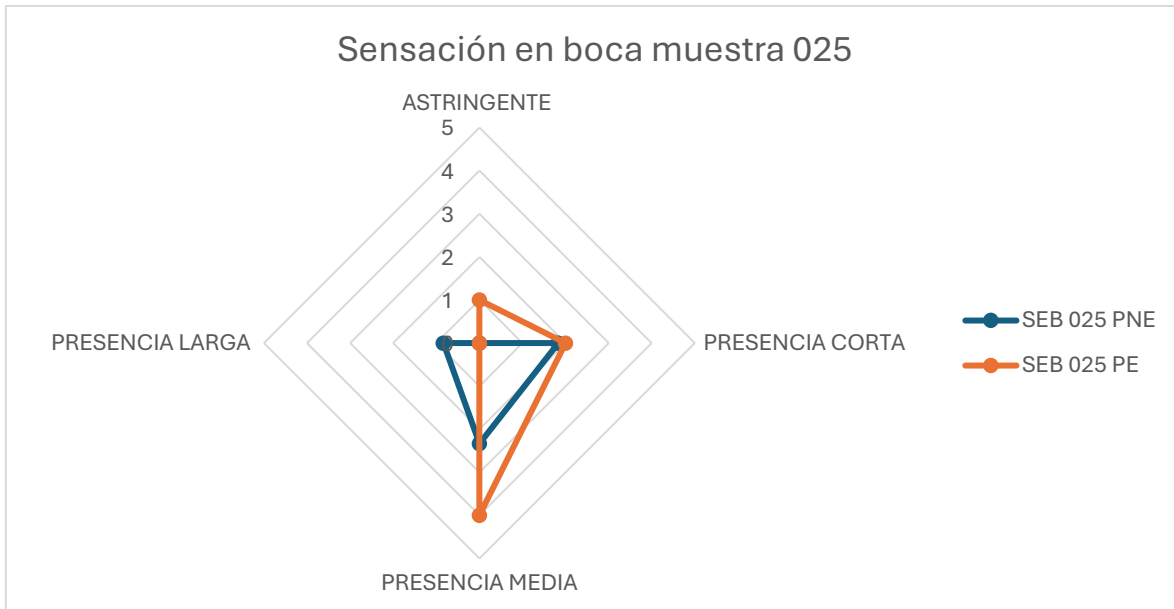


Ilustración 39: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para la sensación en boca de la muestra 025 (A. mellifera). Fuente: Propia.

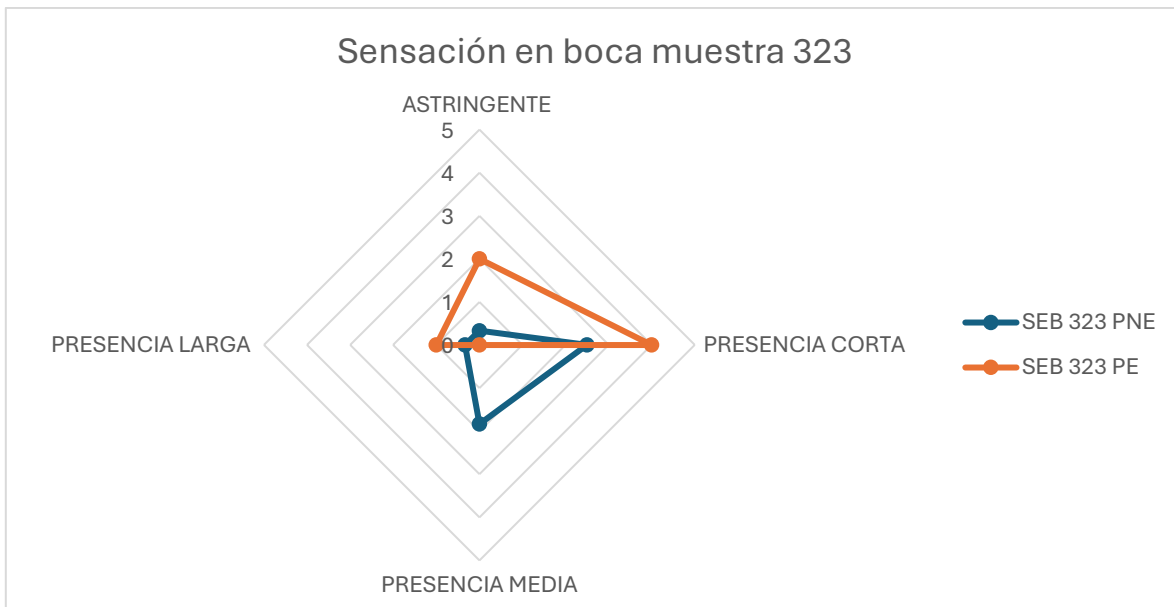


Ilustración 40: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para la sensación en boca de la muestra 323 (M. beecheii). Fuente: Propia.

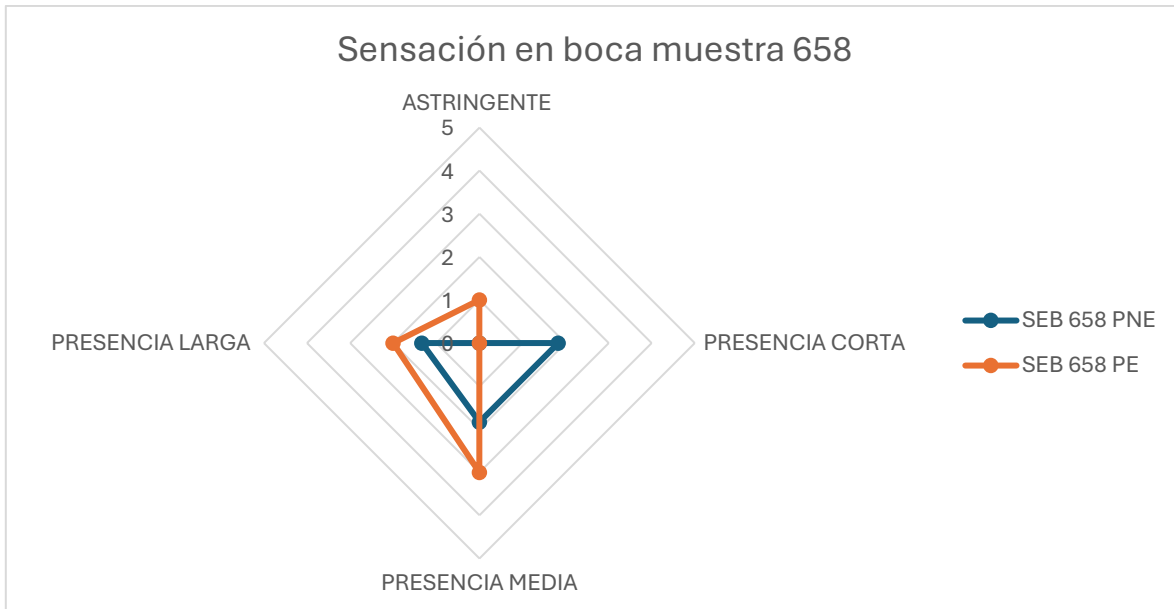


Ilustración 41: Diagrama de telaraña comparando los resultados de los paneles entrenado y no entrenado para la sensación en boca de la muestra 658 (S. mexicana). Fuente: Propia.