

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Influencia del origen botánico y geográfico sobre la composición
fisicoquímica, parámetros de calidad y perfil sensorial de mieles
monoflorales de la región andina de Ecuador**

Fernando Estevan Alejandro Ruiz

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título de
Ingeniero en Alimentos

Quito, 09 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Influencia del origen botánico y geográfico sobre la composición
fisicoquímica, parámetros de calidad y perfil sensorial de mieles
monoflorales de la región andina de Ecuador**

Fernando Estevan Alejandro Ruiz

Nombre del profesor, Título académico

José Miguel Álvarez Suárez, PhD

Lucía de los Angeles Ramírez Cárdenas, PhD

Quito, 09 de mayo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Fernando Estevan Alejandro Ruiz

Código: 00325015

Cédula de identidad: 1104870868

Lugar y fecha: Quito, 09 de mayo de 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

La producción de miel de abeja en Ecuador representa una actividad de relevancia agroalimentaria. La calidad de la miel varía en función de su origen botánico y geográfico. En este estudio se analizó la composición fisicoquímica de mieles monoflORAles de aguacate (*Persea americana*) y eucalipto (*Eucalyptus spp.*) provenientes de las provincias de Cotopaxi, Pichincha e Imbabura, evaluando su calidad conforme a los parámetros establecidos por la norma ecuatoriana INEN 3209. Los resultados demostraron que todas las mieles analizadas cumplen con los requisitos normativos en cuanto a contenido de humedad, conductividad eléctrica, índice de diastasa, contenido de hidroximetilfurfural y azúcares, lo que evidencia buenas prácticas apícolas. Se observó que las mieles de Imbabura presentaron cenizas significativamente más altas que las de Cotopaxi; las de Pichincha no mostraron diferencia significativa con los extremos, además no se encontraron diferencias significativas en la actividad de agua ni en el pH entre los grupos. Las mieles de eucalipto mostraron menor contenido de aminoácidos libres. Respecto a los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante, la miel monofloral de aguacate destacó por su mayor contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, características asociadas a su coloración más oscura. Paralelamente, se llevó a cabo una evaluación sensorial afectiva con el objetivo de determinar la preferencia de los consumidores frente a mieles de distintas floraciones incluida una miel multifloral comercial. Mediante una prueba de ordenación por preferencia, se determinó que las mieles multiflorales y de eucalipto fueron las más preferidas. La menor preferencia hacia la miel de aguacate se puede explicar por su mayor contenido fenólico, que aporta sabores amargos y tonalidades oscuras, características menos familiares o atractivas para el consumidor. En conclusión, las mieles monoflORAles de aguacate y eucalipto producidas en las zonas estudiadas cumplen con los estándares de calidad establecidos y presentan perfiles fisicoquímicos y funcionales diferenciados, influenciados por su origen floral y geográfico.

Palabras clave: *Apis mellifera*; miel de aguacate; miel de eucalipto; calidad de miel de abeja.

ABSTRACT

Honey production in Ecuador represents an agro-food activity of significant importance. Honey quality varies depending on its botanical and geographical origin. This study analyzed the physicochemical composition of monofloral avocado (*Persea americana*) and eucalyptus (*Eucalyptus spp.*) honeys from the provinces of Cotopaxi, Pichincha, and Imbabura, assessing their quality based on the parameters established by the Ecuadorian standard INEN 3209. The results demonstrated that all analyzed honeys met the regulatory requirements regarding moisture content, electrical conductivity, diastase index, hydroxymethylfurfural content, and sugars, indicating good beekeeping practices. It was observed that honeys from Imbabura had significantly higher ash content than those from Cotopaxi; Pichincha honeys showed no significant differences with the extremes. Additionally, no significant differences were found in water activity or pH among the groups. Regarding bioactive compounds and antioxidant capacity, avocado honey stood out for its higher phenolic content and antioxidant activity, characteristics associated with its darker coloration. Simultaneously, an affective sensory evaluation was conducted to determine consumer preference for honeys of different floral origins, including a commercial multifloral honey. A preference ranking test revealed that multifloral and eucalyptus honeys were the most preferred. The lower preference for avocado honey can be explained by its higher phenolic content, which imparts bitter flavors and darker tones, attributes less familiar or appealing to consumers. In conclusion, the monofloral avocado and eucalyptus honeys produced in the studied regions meet established quality standards and exhibit differentiated physicochemical and functional profiles influenced by their floral and geographical origin.

Keywords: *Apis mellifera*; avocado honey; eucalyptus honey; honey quality.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1 Recolección de muestras.....	12
2.2 Reactivos y solventes.....	13
2.3 Análisis fisicoquímico	13
2.3.1 Determinación del contenido de cenizas.....	13
2.3.2 Determinación de actividad de agua.	14
2.3.3 Determinación de pH.	14
2.3.4 Determinación de color.....	14
2.3.5 Determinación del contenido de aminoácidos libres.....	15
2.4 Análisis de calidad.....	16
2.4.1 Determinación del contenido de humedad.	16
2.4.2 Determinación de conductividad eléctrica.	16
2.4.3 Determinación del contenido de hidroximetilfulfural.....	17
2.4.4 Determinación del índice de diastasa.	18
2.4.5 Determinación del contenido de azúcares reductores.	19
2.5 Análisis de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.....	19
2.5.1 Determinación del contenido de fenoles totales.....	19
2.5.2 Determinación del contenido de flavonoides totales.....	20
2.5.3 Determinación de la actividad antioxidante (Método FRAP).	20
2.6 Evaluación sensorial	21
2.7 Análisis Estadístico	22

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1 Caracterización fisicoquímica.....	23
3.2 Evaluación de parámetros de calidad	26
3.3 Contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.....	29
3.4 Análisis de correlación.....	31
3.6 Análisis sensorial.....	33
4. CONCLUSIONES	37
5. REFERENCIAS.....	38
6. ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución del tamaño muestral por provincia y floración predominante	12
Tabla 2. Interpretación de color según milímetros Pfund.....	15
Tabla 3. Medias obtenidas en el análisis fisicoquímico de mieles monoflorales	23
Tabla 4. Medias obtenidas en el análisis de parámetros de calidad de mieles monoflorales de 3 provincias del Ecuador.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Provincias muestreadas de Ecuador	13
Figura 2. Contenido de fenoles totales, contenido de flavonoides totales, actividad antioxidante medida por FRAP.	29
Figura 3. Rango promedio de preferencia para las muestras de miel.....	35

1. INTRODUCCIÓN

La miel es un producto natural complejo cuya composición fisicoquímica y propiedades funcionales varían significativamente según su origen botánico y geográfico. Esta variabilidad influye directamente en su calidad, autenticidad y valor comercial, despertando un creciente interés científico por su caracterización integral. A lo largo de la historia, la miel ha sido valorada no solo como alimento, sino también por sus propiedades terapéuticas en diversas culturas. Su compleja composición química y sus potenciales beneficios para la salud han impulsado numerosas investigaciones, orientadas a caracterizar sus propiedades bioactivas y establecer estándares de calidad que permitan diferenciar sus variedades según su origen y composición (Meda et al., 2005). Más allá de sus beneficios nutricionales y bioactivos, la miel de abeja representa un recurso de gran valor en la sostenibilidad ambiental, económica y social de las comunidades apícolas. Su producción no solo impulsa la biodiversidad y la polinización, sino que también promueve el comercio local y fortalece la economía, consolidando su importancia en los ámbitos ambiental, social y económico. En el ámbito ecológico, la apicultura es fundamental para la polinización de cultivos y conservación de los ecosistemas naturales, favoreciendo la biodiversidad y la seguridad alimentaria. Se estima que aproximadamente el 75% de los cultivos dependen de polinizadores, lo que resalta la importancia de la apicultura en la regeneración de la flora nativa y el aumento de la productividad agrícola (Potts et al., 2016). A nivel social, la apicultura constituye una fuente de ingresos para pequeños y medianos productores, especialmente en zonas rurales. En el caso particular de Ecuador, la organización de asociaciones ha permitido mejorar el acceso a financiamiento, certificaciones y mercados especializados, incrementando el valor agregado del producto y promoviendo el comercio justo (Masaquiza et al., 2023).

Según el Codex Alimentarius (Codex Alimentarius Commission, 2001), la miel es un producto dulce de origen natural elaborado por las abejas *Apis mellifera* a partir del néctar de las flores o de secreciones provenientes de partes vivas de las plantas, así como de exudados de insectos que se alimentan de savia. Las abejas recolectan estos materiales, los transforman y los mezclan con sustancias propias, para luego almacenarlos en el panal, donde maduran y adquieren sus propiedades características. El Codex Alimentarius también establece dos categorías principales de miel según su origen: miel de flores o miel de néctar y miel de mielada. La miel de flores, o miel de néctar, se obtiene exclusivamente del néctar secretado por diversas especies vegetales, mientras que la miel de mielada proviene de las secreciones azucaradas que insectos succionadores de savia, como los pulgones (Hemiptera), dejan sobre las partes vivas de las plantas. En ambos casos, las abejas recolectoras transforman estos fluidos mediante la acción de enzimas específicas. Según Binkley (2014), entre estas enzimas se encuentra la invertasa (β -fructofuranosidasa), que cataliza la hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructosa, permitiendo la formación de una mezcla estable de azúcares. Asimismo, la glucosa oxidasa convierte parte de la glucosa en ácido glucónico y peróxido de hidrógeno, confiriendo a la miel propiedades antimicrobianas. Por otra parte, la diastasa (α -amilasa) interviene en la degradación de almidones y otros carbohidratos complejos, lo que influye en la textura y estabilidad del producto final. Posteriormente, una vez que se almacena en las celdas del panal, la miel experimenta una maduración progresiva, en la que las abejas obreras eliminan el exceso de humedad mediante ventilación activa, asegurando que la concentración de azúcares sea lo suficientemente alta para prevenir la fermentación. Como resultado, la miel se forma principalmente por carbohidratos, predominando la fructosa y la glucosa, además de otros disacáridos como la maltosa y la sacarosa. También contiene ácidos orgánicos como el ácido glucónico, cítrico y acético, los cuales

contribuyen a su pH bajo (3.2-4.5), favoreciendo su actividad antimicrobiana (Meda et al., 2005). Asimismo, la presencia de polifenoles y flavonoides le confiere una alta capacidad antioxidante, lo que protege contra el estrés oxidativo y el daño celular (Gheldorf & Engeseth, 2002). En términos biológicos, su actividad antimicrobiana está mediada por la producción de peróxido de hidrógeno, su baja actividad acuosa y la acción de péptidos bioactivos como la defensina B, lo que le permite inhibir microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* (Alvarez-Suarez et al., 2010).

Dado que estas propiedades dependen directamente de la composición química y el proceso de producción, es fundamental establecer parámetros que permitan diferenciar la miel pura de productos adulterados. En este sentido, la norma INEN 3209 regula la autenticidad y seguridad de la miel en el mercado ecuatoriano, estableciendo requisitos fisicoquímicos y microbiológicos para su control de calidad. La normativa ecuatoriana tiene como antecedentes la adopción inicial de estándares internacionales, fundamentados en las directrices del Codex Alimentarius, y fue publicada por primera vez en 2016 como resultado de una actualización significativa de normativas anteriores como la INEN 1572 (1988). Desde entonces, ha experimentado varias actualizaciones importantes con el propósito de mejorar la precisión y efectividad en los controles de calidad, siendo la versión más reciente publicada en el año 2024 (INEN, 2024). La aplicación rigurosa de esta normativa es esencial para proteger a los consumidores y fortalecer la competitividad del sector apícola ecuatoriano, especialmente en un contexto donde la adulteración y el fraude en la miel representan desafíos significativos.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la producción de miel se concentra en provincias como Pichincha, Imbabura, Tungurahua, Cotopaxi y Loja. Sin embargo, en la región Costa, la producción de miel enfrenta desafíos particulares debido

a las condiciones climáticas y ecológicas propias de esta zona. A diferencia de la Sierra y la Amazonía, donde la diversidad floral y las condiciones ambientales permiten una producción estable durante gran parte del año, en la Costa ecuatoriana la producción de miel se ve afectada por la presencia de monocultivos agrícolas.

En la industria alimentaria, la miel no solo se utiliza como edulcorante natural, sino también como agente funcional debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas derivadas de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales protegen lípidos y otros componentes oxidables en matrices alimenticias (Seif et al., 2024). Además, su actividad antimicrobiana, atribuida a peróxido de hidrógeno, ácidos orgánicos y compuestos volátiles, la convierte en un conservante natural viable en productos mínimamente procesados y libres de aditivos sintéticos (Meda et al., 2005).

En la última década, se han realizado diversas investigaciones en Ecuador que han permitido profundizar en la caracterización de la miel de *Apis mellifera* y sus propiedades fisicoquímicas y bioactivas. Estudios recientes como el de Álvarez-Suárez et al. (2018) han aportado significativamente al conocimiento del estado del arte al evaluar muestras de miel monofloral provenientes de regiones específicas de Ecuador. Dichas investigaciones demostraron que mieles obtenidas de fuentes botánicas como aguacate, eucalipto y colza poseen elevadas concentraciones de compuestos fenólicos, alta capacidad antioxidante y una marcada capacidad para inhibir la formación de biofilms bacterianos in vitro. De la misma manera, Salvador (2019) destacó la variabilidad existente en parámetros críticos como contenido de humedad, perfil de azúcares y actividad enzimática, esenciales para evaluar la autenticidad y calidad del producto. Estos hallazgos sugieren que la miel ecuatoriana posee características bioactivas comparables o superiores a mieles provenientes de otras regiones del mundo, consolidando su potencial como un alimento funcional con beneficios para la salud humana. A pesar de

estos avances, aún existe un amplio margen para profundizar en las interacciones entre estas variables y su influencia en la calidad de la miel ecuatoriana. Una comprensión más detallada de estos aspectos permitirá el desarrollo de estándares más precisos y ajustados a la diversidad productiva del país, lo que fortalecerá su competitividad tanto en el mercado nacional como en el internacional. En este contexto, la presente tesis se planteó los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo General

Evaluar la influencia del origen botánico y geográfico sobre la composición fisicoquímica, los parámetros de calidad y el perfil sensorial de mieles monoflorales de aguacate (*Persea americana*) y eucalipto (*Eucalyptus spp.*) provenientes de las provincias de Cotopaxi, Pichincha e Imbabura.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la composición fisicoquímica de las muestras de miel mediante métodos analíticos estandarizados por la AOAC y la normativa ecuatoriana NTE INEN 3209.
- Evaluar la conformidad de los parámetros de calidad de las mieles analizadas frente a los valores establecidos en la NTE INEN 3209.
- Analizar estadísticamente la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos mediante estadística descriptiva e inferencial, identificando patrones de similitud, correlaciones y diferencias significativas entre las muestras.
- Comparar la preferencia sensorial de las mieles monoflorales frente a una miel multifloral comercial mediante una prueba de ordenamiento por preferencia.

2. METODOLOGÍA

2.1 Recolección de muestras

Se recolectaron 44 muestras de miel de abeja en tres provincias de la región andina del Ecuador: Pichincha, Cotopaxi e Imbabura (Figura 1). Las muestras fueron recolectadas directamente por los apicultores y en envases estériles. En la provincia de Pichincha, en la parroquia de Píntag, sector San Juanito, aproximadamente a 3.000 m sobre el nivel del mar (s.n.m.), se recolectaron 20 muestras. En la provincia de Cotopaxi, en el cantón Salcedo, se recolectaron 21 muestras a altitudes entre 2.600 y 3.000 m s.n.m. En la provincia de Imbabura, en la parroquia San Antonio de Ibarra, a 2.200 m s.n.m., se recolectaron 15 muestras. La distribución se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución del tamaño muestral por provincia y floración predominante

Provincia	Floración predominante	
	Eucalipto	Aguacate
Imbabura	5	10
Pichincha	15	5
Cotopaxi	21	-

Las muestras fueron almacenadas a 4°C hasta su análisis. En cada caso, el origen monofloral se comprobó a través de un análisis melisopalínológico, el cual permitió clasificar las mieles de acuerdo con el contenido de polen, considerando como monoflorales aquellas que presentaron más del 55 % de granos de polen de *Persea americana* (aguacate) (García-Tenesaca et al., 2018) o más del 70 % de *Eucalyptus spp.* (eucalipto) (Valdés-Silverio et al., 2018). Adicionalmente, se tomó en cuenta la declaración de los apicultores sobre procedencia de las colmenas, así como la ubicación en plantaciones específicas vinculadas a cada floración bajo esquemas de trashumancia controlada. La determinación de la frecuencia relativa de los tipos polínicos se realizó siguiendo los criterios establecidos por Louveaux et al. (1978).

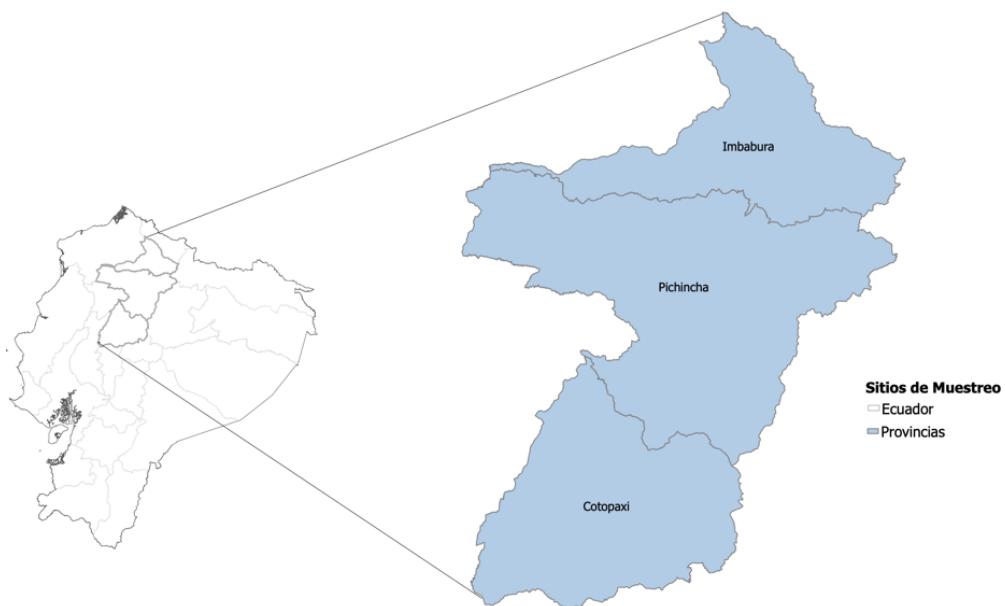


Figura 1. Provincias muestreadas de Ecuador

2.2 Reactivos y solventes

Todos los reactivos y solventes utilizados en este estudio fueron de grado analítico y adquiridos en Sigma-Aldrich (St. Louis, EE.UU).

2.3 Análisis fisicoquímico

2.3.1 Determinación del contenido de cenizas.

El contenido de cenizas en miel se determinó mediante el método AOAC 920.181 (AOAC, 2016) basado en la calcinación en mufla. Para ello, en una balanza analítica Mettler Toledo ML204T se pesaron 3 g de miel en crisoles de cerámica previamente tarados. Se realizó una precalcincación de la miel en plancha de calentamiento a 250°C, posteriormente, la muestra en los crisoles fue incinerada a 500°C durante 4 horas. Una vez terminado el tiempo de incineración y tras el enfriamiento de la mufla, las muestras se colocaron en un desecador para evitar la absorción de humedad del ambiente. Finalmente, los crisoles con las cenizas fueron pesados y el porcentaje de ceniza se determinó con la ecuación 1:

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{(M_2 - M_0)}{(M_1 - M_0)} * 100 \quad (1)$$

Donde M_0 es el peso del crisol vacío, M_1 es el peso del crisol más la muestra inicial y M_2 es el peso del crisol con la ceniza. El contenido de cenizas se expresó en gramos de cenizas por 100 gramos de miel (g/100 g).

2.3.2 Determinación de actividad de agua.

La actividad de agua de la miel se determinó utilizando un medidor de actividad de agua Hygrolab C1 Rotronic, siguiendo el método expuesto por Díaz (1992). Para ello, se depositaron 2 g de miel en la cámara de medición del equipo, asegurando que la muestra cubriera completamente el sensor sin burbujas de aire. La medición se realizó a temperatura ambiente de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, permitiendo que la lectura se estabilizara antes del registro. Los resultados se expresaron en valores de a_w (0 - 1).

2.3.3 Determinación de pH.

El pH de las muestras de miel se determinó utilizando un potenciómetro EasyPlus Titration Mettler Toledo EG11 BNC, previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4,00 y 7,00. Para el análisis, se pesaron 10 g de miel y se diluyeron en 20 mL de agua destilada, asegurando su completa disolución mediante agitación sin aplicar calor. La medición se realizó sumergiendo el electrodo en la solución de miel preparada, asegurando la estabilidad del valor antes del registro a 25°C . Los resultados obtenidos fueron expresados en la escala internacional de pH, de acuerdo con el método descrito en AOAC 973.41 (AOAC, 2016).

2.3.4 Determinación de color.

El color de las muestras de miel se determinó mediante el método espectrofotométrico, utilizando la escala de Pfund descrita en el protocolo de la AOAC 985.25 (AOAC, 2016). Para la preparación de la muestra, se pesaron 0,5 g de miel y se diluyeron en 10 mL de agua destilada. Posteriormente, 1 mL de esta dilución se transfirió a una cubeta de cuarzo

de 1 cm de paso óptico. La absorbancia se midió a 635 nm en un espectrofotómetro Hanon UV-VIS I3. Para el cálculo de los milímetros Pfund a partir de los valores de absorbancia se empleó la ecuación 2:

$$mm\ Pfund = -38,79 + 371,39 \times Absorbancia_{635\ nm} \quad (2)$$

Los resultados obtenidos se expresaron en milímetros Pfund (mmPfund) y su interpretación fue acorde con la escala de color establecida para mieles expuesta en la Tabla 2.

Tabla 2. Interpretación de color acorde al protocolo AOAC 985.25

Nombre del color	Escala de Pfund en milímetros
Blanco agua	<9
Extra blanco	9-17
Blanco	18-34
Ámbar extra claro	35-50
Ámbar claro	51-85
Ámbar	86-114
Ámbar oscuro	>114

2.3.5 Determinación del contenido de aminoácidos libres.

La cuantificación de aminoácidos libres en las muestras de miel se realizó mediante el método colorimétrico Ninhidrina-Cadmio, descrito por Doi, Shibata & Matoba (1981). Este método se basa en la reacción de los grupos amínicos libres con la ninhidrina en presencia de cloruro de cadmio ($CdCl_2$) bajo condiciones controladas de temperatura y pH, generando un complejo coloreado medido espectrofotométricamente. Para el análisis, se pesaron 1,25 g de miel y se diluyeron en 25 mL de agua destilada. Posteriormente, 1 mL de esta solución se mezcló con 2 mL de la solución de trabajo, la cual se preparó disolviendo 0,8 g de ninhidrina en 80 mL de etanol 99,5% y 10 mL de ácido acético, incorporando luego 1 g de $CdCl_2$ previamente disuelto en 1 mL de agua destilada. La mezcla de reacción se incubó a 84°C durante 5 minutos en baño maría. Tras el enfriamiento en un bloque frío, la absorbancia se midió a 507 nm en un espectrofotómetro

Hanon UV-VIS I3. Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración utilizando soluciones estándar de L-leucina (2,4-21 mg/mL, $R^2=0,996$) y L-prolina (50-800 mg/mL, $R^2=0,986$). El contenido de leucina se expresó en mg de leucina por 100 g de miel (mg/100 g miel) y el contenido de prolina se expresó en mg de prolina por kilogramo de miel (mg/kg miel).

2.4 Análisis de calidad

2.4.1 Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad en miel se determinó mediante el método AOAC 969.38 (AOAC, 2016). Para ello, en una balanza analítica Mettler Toledo ML204T se pesaron 5 g de miel en un recipiente previamente tarado y se colocó en una estufa de secado ECOCELL 111 a 105°C durante 4 horas. Posteriormente, las muestras se retiraron de la estufa y se enfriaron en un desecador para evitar la absorción de humedad del ambiente. Una vez alcanzada la temperatura ambiente, se pesaron las muestras para calcular la pérdida de peso debida a la evaporación del agua. Para el cálculo del contenido de humedad se utilizó la ecuación 3.

$$\% \text{ humedad} = \frac{(M_2 - M_0)}{(M_1 - M_0)} * 100 \quad (3)$$

Donde M_0 es el peso del recipiente vacío, M_1 es el peso del recipiente más la muestra inicial y M_2 es el peso del recipiente con la muestra seca. El contenido de humedad se expresó en %.

2.4.2 Determinación de conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica de las muestras se midió siguiendo la metodología propuesta por Bogdanov et al. (2008), utilizando un conductímetro MW306 MXO, calibrado previamente con una solución estándar de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C. Para el análisis, se pesaron

5 g de miel y se diluyeron en 25 mL de agua destilada, asegurando su completa disolución mediante agitación. Posteriormente, se sumergió el electrodo en la solución y se registró la conductividad en milisiemens por centímetro (mS/cm).

2.4.3 Determinación del contenido de hidroximetilfurfural.

La determinación del contenido de hidroximetilfurfural (HMF) de la miel se realizó mediante el método espectrofotométrico dado por la AOAC 980.23 (AOAC, 2012). Para ello, se prepararon las siguientes soluciones: solución Carrez I, disolviendo 15 g de ferrocianuro de potasio trihidratado ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$) en 100 mL de agua destilada; solución Carrez II, disolviendo 30 g de acetato de zinc dihidratado ($Zn(AcO)_2 \cdot 2H_2O$) en 100 mL de agua destilada; y solución de bisulfito de sodio al 40 %, disolviendo 20 g de bisulfito ácido de sodio ($NaHSO_3$) en 50 mL de agua destilada, de la cual se tomó 0,5 mL y se diluyó en 100 mL de agua destilada para obtener la solución de trabajo. Para el análisis, se pesaron 5 g de miel y se disolvieron en 25 mL de agua destilada mediante agitación sin aplicación de calor. La solución obtenida se transfirió a un matraz aforado de 50 mL, donde se añadieron 0,5 mL de la solución Carrez I y 0,5 mL de la solución Carrez II, completando el volumen con agua destilada y filtrando posteriormente a través de papel filtro. Se pipetaron 3 mL de la solución filtrada en dos tubos de ensayo: en el primero, correspondiente a la muestra, se añadieron 3 mL de agua destilada; mientras que en el segundo, utilizado como referencia, se añadieron 3 mL de la solución de bisulfito de sodio. La absorbancia se midió a 284 nm y 336 nm en un espectrofotómetro Hanon UV-VIS I3, utilizando la referencia como punto de ajuste. El contenido de HMF se calculó mediante la ecuación 4:

$$\frac{mg\ HMF}{kg\ miel} = ((\Delta_{284-336})_{muestra} - (\Delta_{284-336})_{referencia}) \times 149,7 \times \left(\frac{5}{P}\right) \quad (4)$$

Donde P es el peso de la muestra en gramos y 149,7 es el factor de conversión para expresar los resultados en miligramos de hidroximetilfulfural sobre kg de miel (mg HMF/kg)

2.4.4 Determinación del índice de diastasa.

El índice de diastasa en las muestras de miel se determinó según el método espectrofotométrico descrito en el protocolo AOAC 958.09 (AOAC, 2016), basado en la degradación del almidón por las enzimas diastásicas presentes en la miel y la posterior medición de la absorbancia. Para el análisis, se pesaron 2 g de miel y se diluyeron en 10 mL de agua destilada mediante agitación sin aplicar calor. Se preparó una solución de almidón soluble al 1 % (p/v) en buffer fosfato pH 5,2, la cual se utilizó como sustrato. Se pipetearon 10 mL de la solución de almidón en dos tubos de ensayo: uno conteniendo 5 mL de la solución de miel y otro, utilizado como referencia, con 5 mL de agua destilada. Ambas muestras se incubaron a 40 °C en un baño termostatado. Se tomaron alícuotas de 1 mL de la mezcla de reacción cada 5 minutos, comenzando desde el minuto 0, y se mezclaron con 10 mL de reactivo de yodo, preparado con yodo 0,0007 M e yoduro de potasio 0,02 M. La absorbancia de cada alícuota se midió a 660 nm en un espectrofotómetro Hanon UV-VIS I3, utilizando la muestra de referencia como blanco. La toma de muestras continuó hasta que la absorbancia descendió a 0,235 ± 0,005, que es el punto de referencia establecido para la conversión de actividad enzimática con la siguiente ecuación 5:

$$ID = \frac{300}{t_{abs=0,235}} \quad (5)$$

Donde t es el tiempo en minutos que tomó llegar a dicha absorbancia. Los resultados se expresaron en unidades de diastasa (U Schade). Una unidad Schade corresponde a la cantidad de enzima que hidroliza 0,01 g de almidón por hora a 40 °C y pH 5,2.

2.4.5 Determinación del contenido de azúcares reductores.

La cuantificación de los azúcares reductores en las muestras de miel se realizó mediante el método colorimétrico del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), el cual permite la determinación de carbohidratos reductores a partir de su reacción con el reactivo DNS bajo condiciones de calentamiento, produciendo un cambio de color que se mide espectrofotométricamente (Miller, 1959). Para la preparación de la muestra, se pesaron 0,1 g de miel y se diluyeron en 1 mL de agua destilada, realizando una dilución 1:50 mediante la adición de 20 μ L de miel en 980 μ L de agua destilada. Luego, 100 μ L de esta dilución se colocaron en tubos Eppendorf junto con 300 μ L de agua destilada y 600 μ L del reactivo DNS. Para el blanco, se preparó una solución con 400 μ L de agua y 600 μ L de reactivo DNS. El reactivo DNS se preparó disolviendo 8 g de NaOH en 200 mL de agua destilada, seguido de la adición de 5 g de DNS en 100 mL de agua, aplicando calor a 35°C y dejando en agitación toda la noche antes de aforar a volumen con solvente. Las muestras y el blanco se calentaron a 96°C durante 10 minutos en un baño maría con agitación JULABO SW22 y luego se enfriaron en un baño de hielo por 5 minutos. La absorbancia se midió a 540 nm en un espectrofotómetro Hanon UV-VIS I3. Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración con soluciones estándar de glucosa (0,25-2 mg/mL, $R^2=0,988$) y fructosa (0,5-2 mg/mL, $R^2=0,993$). Los resultados se expresaron como gramos de azúcares reductores por 100 de miel (g/100g).

2.5 Análisis de compuestos bioactivos y actividad antioxidante

2.5.1 Determinación del contenido de fenoles totales.

El contenido total de fenoles en las muestras de miel se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, siguiendo el procedimiento descrito por Singleton & Rossi (1965). Para la preparación de la muestra, se pesaron 0,5 g de miel y se diluyeron en 10 mL de agua destilada. Posteriormente, 100 μ L de esta solución se mezclaron con 500 μ L de reactivo

de Folin-Ciocalteu (0,2 N) y se dejó reaccionar durante 5 minutos en oscuridad. Luego, se añadieron 400 μ L de una solución de carbonato de sodio (0,7 M) y la mezcla se dejó incubar en la oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas. La absorbancia de la solución se midió a 760 nm en un espectrofotómetro Hanon UV-VIS I3, utilizando un blanco de referencia con agua y reactivo Folin-Ciocalteu (0,2 N) . La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración con ácido gálico como estándar (180-600 μ M, $R^2=0,999$). Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico por kilogramo de miel (mg EAG/kg miel).

2.5.2 Determinación del contenido de flavonoides totales.

La cuantificación de flavonoides totales en las muestras de miel se realizó mediante el método colorimétrico basado en la formación de complejos con cloruro de aluminio ($AlCl_3$), el cual permite la determinación de flavonoides a partir de su reacción con el ion aluminio, produciendo un cambio de color que se mide espectrofotométricamente (Chang et al., 2002). Para la preparación de la muestra, se pesaron 0,5 g de miel y se diluyeron en 10 mL de agua destilada. Se tomó 500 μ L de esta dilución y se mezcló con 1,5 mL de metanol al 95%, 100 μ L de $NaNO_2$ al 5% y 100 μ L de cloruro de aluminio al 10%. Posteriormente, la mezcla se dejó incubar a temperatura ambiente durante 5 minutos y se añadió 1 mL de $NaOH$ al 1 M. La absorbancia se midió a 510 nm en un espectrofotómetro Hanon UV-VIS I3. Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración con soluciones estándar de catequina (6,25-500 μ M, $R^2=0,999$). Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de catequina por kg de miel (mg EC/kg miel).

2.5.3 Determinación de la actividad antioxidante (Método FRAP).

La actividad antioxidante de las muestras de miel se determinó mediante el método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), basado en la reducción del ion férrico (Fe^{3+}) a su forma ferrosa (Fe^{2+}) en condiciones ácidas, lo que genera un cambio en la absorbancia

medido espectrofotométricamente (Benzie & Strain, 1996) Para la preparación de la muestra, se pesaron 0,5 g de miel y se diluyeron en 10 mL de agua destilada. Se tomó 100 μ L de esta dilución y se mezcló con 900 μ L del reactivo FRAP, compuesto por una solución de acetato de sodio (300 mM, pH 3.6), 10 mM de 2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) en HCl 40 mM y 20 mM de cloruro férrico (FeCl₃) en proporción 10:1:1. La solución se incubó a temperatura ambiente durante 15 minutos en oscuridad. La absorbancia se determinó a 593 nm en un espectrofotómetro Hanon UV-VIS I3, utilizando una curva de calibración con soluciones estándar de Trolox (12,5-300 μ M, R^2 = 0,994). Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox por 100 gramos de miel (μ mol ET/100 g).

2.6 Evaluación sensorial

Se realizó una evaluación sensorial mediante una prueba ordenación por preferencia utilizando tres muestras de miel recolectadas en la provincia de Pichincha, Ecuador, codificadas aleatoriamente con números de tres dígitos: 412 (floración de aguacate), 527 (eucalipto) y 284 (multiflora – miel comercial). La miel multifloral se incluyó para evaluar la preferencia frente a un producto comúnmente disponible en el mercado, permitiendo tener una referencia. Los parámetros fisicoquímicos de las mieles fueron analizados previa a la evaluación (Anexo 1).

Las mieles fueron presentadas a temperatura ambiente (20 °C) en recipientes plásticos transparentes de polipropileno biorientado (BOPP) de una onza de capacidad, conteniendo 10 g de producto por porción, siguiendo un diseño secuencial equilibrado. Participaron 70 evaluadores no entrenados (33 hombres y 37 mujeres) con edades comprendidas entre 18 y 53 años. A cada evaluador se le proporcionó un vaso con agua y una galleta tipo soda como vehículo (Lawless & Heymann, 2010). Se solicitó a los evaluadores ordenar su preferencia dentro de un rango del 1 (más preferida) al 3 (menos

preferida). Los datos fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Friedman y, posteriormente, mediante la prueba post hoc de Nemenyi, estableciendo un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, conforme a las recomendaciones metodológicas para estudios de consumidores no entrenados (Piana et al., 2004; Hough et al., 2006; Feás et al., 2010; Stone et al., 2020).

2.7 Análisis Estadístico

Las muestras se analizaron por triplicado y los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar (SD). El procesamiento y análisis estadístico se realizó utilizando Minitab 19 (Minitab LLC, State College, PA, USA) y SPSS Statistics (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Para la comparación de los grupos se utilizó un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA de un factor), seguido por una prueba de separación de medias mediante el test de Tukey (HSD, Honestly Significant Difference) al 95% de confianza. En los casos en que los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) y independencia de los residuos no se cumplieron —verificados mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene—, se aplicó una transformación de Box-Cox previa al análisis para estabilizar la varianza y aproximar la distribución normal de los datos. Las correlaciones entre variables se analizaron mediante coeficientes de correlación de Pearson (r), considerando un nivel de significancia del 95% ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización fisicoquímica

La Tabla 3 muestra el análisis fisicoquímico de mieles según la provincia y floración.

Tabla 3. Medias obtenidas en el análisis fisicoquímico de mieles monoflorales

Parámetro	Imbabura		Pichincha		Cotopaxi
	Eucalipto	Aguacate	Eucalipto	Aguacate	Eucalipto
Ceniza (%)	0,81 ± 0,09 ^a	0,84 ± 0,07 ^a	0,62 ± 0,17 ^{ab}	0,66 ± 0,14 ^{ab}	0,60 ± 0,16 ^b
a_w	0,56 ± 0,01 ^a	0,58 ± 0,02 ^a	0,56 ± 0,03 ^a	0,60 ± 0,01 ^a	0,59 ± 0,02 ^a
pH	3,80 ± 0,74 ^a	3,65 ± 0,43 ^a	3,97 ± 0,16 ^a	3,83 ± 0,25 ^a	3,88 ± 0,26 ^a
Color (mm Pfund)	57,2 ± 9,71 ^b	87,96 ± 3,65 ^a	54,57 ± 8,74 ^b	76,37 ± 2,37 ^a	63,84 ± 1,99 ^b
Clasificación	Ámbar claro	Ámbar	Ámbar claro	Ámbar claro	Ámbar claro
Leucina (mg/100g)	24,04 ± 6,20 ^c	102,70 ± 26,10 ^a	14,39 ± 2,60 ^c	61,77 ± 15,10 ^b	13,04 ± 5,98 ^c
Prolina (mg/kg)	487,00 ± 81,10 ^c	2679,00 ± 264,70 ^a	394,50 ± 64,70 ^c	1670,00 ± 373,00 ^b	362,40 ± 25,90 ^c

Nota: Medias en la misma fila seguidas por al menos una misma letra no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey. Las muestras se analizaron por triplicado. Valores reportados como media ± desviación estándar.

El contenido de cenizas en las muestras analizadas varió entre 0,60% y 0,84%, lo que evidencia una composición mineral heterogénea entre las mieles evaluadas. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras de Imbabura y Cotopaxi, mientras que las de Pichincha no difirieron significativamente respecto a las demás provincias. Asimismo, no se observaron diferencias significativas entre floraciones dentro de una misma provincia. Las mieles provenientes de Imbabura y Pichincha presentaron los valores más elevados de cenizas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Noor (2016), quien observó contenidos de cenizas más bajos en mieles recolectadas en zonas no volcánicas, lo que respalda la hipótesis de que los suelos volcánicos ricos en minerales, como los presentes en Imbabura y Pichincha, favorecen una mayor concentración de sólidos inorgánicos en el néctar. De hecho, se ha documentado que los suelos de estas provincias, clasificados como Andisoles, contienen elevados niveles de minerales secundarios como óxidos de hierro, aluminio, fósforo,

potasio y sílice, los cuales pueden contribuir al incremento de la fracción inorgánica en productos vegetales y derivados apícolas (Mihai et al., 2023). En línea con estos resultados, García-Tenesaca et al. (2018) reportaron valores de cenizas de hasta 1,05% en mieles monoflorales de aguacate y de hasta 0,25% en mieles de eucalipto de la región andina de Ecuador, destacando que dicha variabilidad también puede atribuirse a factores apícolas, como el manejo del colmenar, los métodos de recolección y el procesamiento de la miel. En cuanto a la actividad de agua (a_w), los valores oscilaron entre 0,55 y 0,62, sin diferencias significativas entre los grupos evaluados. Si bien no se identificaron patrones asociados con el tipo de floración o la provincia de origen, estos valores coinciden con lo reportado por Velásquez et al. (2013) en mieles de la región andina, quienes registraron valores promedio cercanos a 0,60. Tales cifras reflejan el comportamiento higroscópico de la miel y su alta concentración de azúcares, lo que reduce la disponibilidad de agua libre y favorece su estabilidad microbiológica (Chirife et al., 2006).

En cuanto al pH, los valores oscilaron entre 3,65 y 3,97, sin observarse diferencias significativas entre provincias ni entre floraciones. Las muestras presentaron un pH ácido, característico de la miel, asociado a la presencia de ácidos orgánicos, principalmente ácido glucónico (Álvarez-Suarez et al., 2010). Estos resultados coinciden con los reportados por Valdés-Silverio et al. (2018), quienes, al analizar mieles de la región andina del Ecuador, no encontraron diferencias significativas entre muestras provenientes de diferentes apiarios. De manera similar, Beretta et al. (2005) indicaron que el pH de la miel tiende a mantenerse relativamente estable, incluso ante variaciones en la composición floral, lo que respalda los hallazgos del presente estudio. No obstante, pequeñas fluctuaciones podrían estar relacionadas con factores postcosecha, como el

procesamiento y almacenamiento, ya que procesos oxidativos y fermentativos pueden alterar ligeramente el pH (Bogdanov et al., 2009).

En relación con el parámetro de color, los valores oscilaron entre 54,57 y 87,96 mm Pfund. De acuerdo con la escala internacional de color de miel, los valores cercanos a 54 mm se clasifican como ámbar claro, mientras que aquellos superiores a 85 mm corresponden a la categoría ámbar (AOAC, 2016). Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) únicamente entre floraciones, pero no entre provincias. Las mieles de floración de aguacate presentaron un color más oscuro (ámbar), en contraste con las mieles de eucalipto, que mostraron un tono ámbar claro. Esta observación concuerda con lo reportado por García-Tenesaca et al. (2018), quienes encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el color entre mieles de aguacate y de eucalipto, donde las mieles de eucalipto presentaron el color más oscuro (ámbar). Esta variabilidad se atribuye principalmente al origen floral, ya que factores como el tipo de néctar, la presencia de minerales, presencia de compuestos fenólicos y otros pigmentos (carotenos) influyen directamente en la coloración de la miel (Alvarez-Suarez et al., 2010).

En cuanto al contenido de leucina, los valores oscilaron entre 13,04 y 102,70 mg/100 g. La miel de aguacate proveniente de Imbabura presentó la concentración más alta, seguida por la miel de aguacate de Pichincha. Las mieles de eucalipto recolectadas en Imbabura, Cotopaxi y Pichincha no mostraron diferencias significativas entre sí. García-Tenesaca et al. (2018) también reportaron un mayor contenido de aminoácidos libres en mieles de aguacate en comparación con floraciones como eucalipto y colza, atribuyendo esta diferencia a la composición proteica del néctar de aguacate, caracterizado por un perfil de aminoácidos más concentrado, así como a factores relacionados con la maduración de la miel e incluso con las técnicas de recolección.

Por otra parte, la prolina, el aminoácido predominante en la miel y considerado un marcador de madurez mostró un comportamiento similar al de la leucina, con concentraciones que variaron entre 362,4 y 2779 mg/kg de miel. Por otra parte, la prolina, el aminoácido predominante en la miel y considerado un marcador de madurez, mostró un comportamiento similar al de la leucina, con concentraciones que variaron entre 362,4 y 2779 mg/kg de miel, también presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos evaluados. García-Tenesaca et al. (2018) reportaron diferencias similares entre floraciones. En conjunto, se ha señalado que el contenido de leucina y prolina en mieles de aguacate no está determinado únicamente por la composición inicial del néctar, sino también por procesos de maduración más prolongados. Dado que durante la maduración la hidrólisis de proteínas conduce a la liberación de aminoácidos, lo que incrementa los niveles de prolina y leucina en la miel (García-Tenesaca et al., 2018).

3.2 Evaluación de parámetros de calidad

La Tabla 4 resume los valores de media obtenidos en parámetros de calidad, junto con los límites establecidos por la Norma INEN 3209 (2024).

Todas las mieles analizadas cumplieron con los requisitos establecidos por la NTE INEN 3209:2024, lo que evidencia un adecuado manejo postcosecha y la autenticidad del producto. En cuanto al contenido de humedad, los valores oscilaron entre 13,49% y 15,11%, todos por debajo del límite máximo del 20% establecido por la normativa (INEN, 2024), y sin diferencias significativas entre los grupos. Esta baja humedad es indicativa de una buena maduración de la miel y reduce el riesgo de fermentación, lo cual concuerda con estudios previos como los de Velásquez y Goetschel (2019) y García-Tenesaca et al. (2018), quienes reportaron valores promedio de 15% y 16,4% en mieles producidas en Ecuador.

Tabla 4. Medias obtenidas en el análisis de parámetros de calidad de mieles monoflorales de 3 provincias del Ecuador.

Parámetro	Imbabura		Pichincha		Cotopaxi	Referencia*
	Eucalipto	Aguacate	Eucalipto	Aguacate	Eucalipto	
Humedad (%)	14,75 ± 1,45 ^a	13,49 ± 1,95 ^a	14,41 ± 1,56 ^a	15,11 ± 1,85 ^a	14,97 ± 1,41 ^a	< 20%
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0,66 ± 0,06 ^a	0,71 ± 0,15 ^a	0,51 ± 0,04 ^b	0,53 ± 0,28 ^{ab}	0,53 ± 0,11 ^{ab}	< 0,8 mS/cm
HMF (mg/kg)	13,59 ± 2,51 ^a	13,03 ± 2,48 ^a	13,28 ± 2,52 ^a	11,73 ± 1,71 ^a	13,41 ± 2,08 ^a	< 40 mg/kg
ID (U Schade)	11,93 ± 2,19 ^c	27,31 ± 4,50 ^a	15,47 ± 2,83 ^{bc}	19,4 ± 6,56 ^b	14,17 ± 3,68 ^c	> 8
Glucosa (g/100g)	30,46 ± 1,52 ^c	34,81 ± 2,32 ^{bc}	34,76 ± 2,64 ^{bc}	46,59 ± 5,94 ^a	36,22 ± 4,33 ^b	
Fructosa (g/100g)	31,63 ± 1,50 ^c	35,92 ± 2,28 ^{bc}	35,87 ± 2,60 ^{bc}	47,52 ± 5,85 ^a	37,30 ± 4,27 ^b	
Suma de ambas (g/100g)	62,09	70,73	70,63	84,11	73,52	≥60 g/100g

HMF: Hidroximetilfulfural, ID: Índice de diastasa. *Valores referenciales dados por la norma INEN 3209 (2024). Medias en la misma fila seguidas por al menos una misma letra no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey. Las muestras se analizaron por triplicado. Valores reportados como media ± desviación estándar.

Por otro lado, los valores de conductividad eléctrica, que oscilaron entre 0,56 y 0,66 mS/cm, coincidieron con el perfil de cenizas descrito en la Tabla 3, reflejando el contenido iónico de la miel. Todas las muestras se mantuvieron por debajo de 0,8 mS/cm, umbral que suele diferenciar a las mieles florales de las mieladas, confirmando así que las muestras analizadas son de origen nectarífero (INEN, 2024). Las mieles de Imbabura y las de floración de aguacate provenientes de Pichincha presentaron los valores más altos de conductividad, aunque sin diferencias significativas en comparación con la miel de eucalipto de Cotopaxi y la miel de aguacate de Pichincha. Estas, a su vez, solo compartieron diferencias significativas ($p < 0,05$) con la miel de eucalipto de Pichincha, que registró el valor más bajo. Estudios previos han documentado diferencias significativas ($p < 0,05$) entre mieles de distintas floraciones. Por ejemplo, García-Tenesaca et al. (2018) reportaron valores de conductividad de hasta 1,39 mS/cm en mieles de aguacate y alrededor de 0,39 mS/cm en mieles de eucalipto.

El contenido de hidroximetilfurfural (HMF), parámetro clave para evaluar el deterioro térmico de la miel, se mantuvo entre 11,73 y 13,59 mg/kg, muy por debajo del límite máximo permitido de 40 mg/kg. No se observaron diferencias significativas entre las muestras. Valores por debajo de 15 mg/kg son típicos de mieles frescas y bien conservadas (Velásquez & Goetschel, 2019). Estos resultados confirman que las muestras no fueron sometidas a procesos de calentamiento, técnica comúnmente utilizada para fluidificar la miel, pero que puede incrementar el contenido de HMF, compuesto asociado a efectos citotóxicos y mutagénicos (Fallico et al., 2004). Asimismo, el índice de diastasa (ID), que evalúa la actividad enzimática y, por ende, la frescura y la ausencia de tratamientos térmicos intensos, presentó valores entre 11,93 y 27,31 unidades Schade, superando ampliamente el mínimo exigido por la normativa de 8 unidades (INEN, 2024) confirmando la frescura y autenticidad de las mieles estudiadas. La miel de aguacate de Imbabura presentó la mayor actividad diastásica (27 U), posiblemente atribuible a una mayor carga enzimática relacionada con su origen floral. Las mieles de eucalipto mostraron niveles adecuados, aunque más bajos, y no se observaron diferencias significativas entre las muestras de Pichincha. Las menores actividades se registraron en las mieles de eucalipto de Cotopaxi e Imbabura, compartiendo significancia estadística con la miel de eucalipto de Pichincha. Estos resultados coinciden con lo observado por Kaskoniene et al. (2009), quienes relacionaron las floraciones oscuras con una mayor protección enzimática frente a la degradación. Valores similares en mieles de diferentes floraciones fueron reportados por Pasias et al. (2017), con un rango entre 7 y 22 unidades de diastasa.

Respecto a los azúcares reductores, el contenido de glucosa varió entre 30,46 y 46,59 g/100 g, y el de fructosa entre 31,63 y 47,52 g/100 g. La suma de ambos componentes, que representa el contenido total de azúcares reductores, fue superior al 60% en todas las

muestras, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la normativa (INEN, 2024). La miel de aguacate de Pichincha presentó los niveles más altos de glucosa y fructosa, diferenciándose significativamente de todas las demás muestras ($p < 0,05$). Le siguió la miel de eucalipto de Cotopaxi, mientras que las mieles de aguacate de Imbabura y de eucalipto de Pichincha mostraron valores intermedios sin diferencias significativas. El contenido más bajo se observó en la miel de eucalipto de Imbabura, lo que evidencia la influencia combinada del origen floral y geográfico. Además, en relación con la proporción entre glucosa y fructosa, los datos mostraron un patrón coherente con lo reportado por Bogdanov et al. (2008), en donde la relación glucosa:fructosa se mantiene cercana, pero ligeramente mayor a 1, lo cual sugiere un bajo riesgo de cristalización rápida.

3.3 Contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante

La Figura 2 presenta los niveles de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante (FRAP) en las mieles estudiadas.

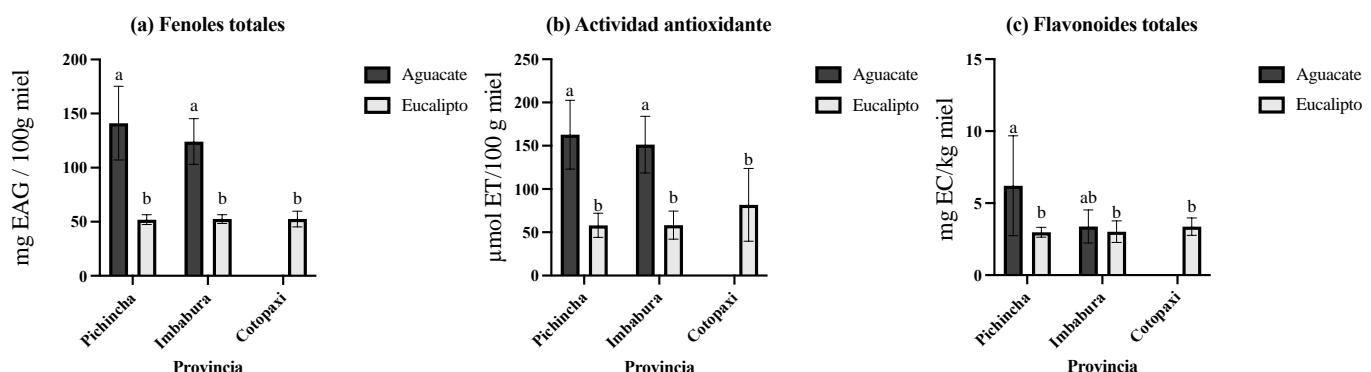


Figura 2. (a)Contenido de fenoles totales (mg EAG/kg); (b) Contenido de flavonoides totales (mg EC/kg); (c) Actividad antioxidante medida por FRAP ($\mu\text{mol ET/100 g}$).

Columnas representan la media y las barras su desviación estándar. Columnas con al menos una misma letra no son significativamente diferentes al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de compuestos bioactivos y actividad antioxidante, las concentraciones de fenoles totales, flavonoides y la capacidad antioxidante variaron significativamente según el origen botánico de las mieles, mientras que no existió diferencias significativas según el origen geográfico. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las mieles de aguacate y eucalipto tanto en su contenido de fenoles totales como en la actividad antioxidante, sin diferencias significativas entre provincias. El contenido de fenoles fue más elevado en las mieles de aguacate, alcanzando hasta 141,1 mg EAG/100 g de miel, mientras que las mieles de eucalipto mostraron un valor máximo de 53,73 mg EAG/100 g. Esta diferencia es notable y se asocia con la naturaleza más oscura de las mieles de aguacate, atribuible a la mayor riqueza polifenólica del néctar, una tendencia ampliamente documentada en la literatura. Diversos estudios, como el realizado por Becerril-Sánchez et al. (2021), han demostrado que las mieles oscuras, se caracterizan por un mayor contenido de compuestos fenólicos, incluidos flavonoides, lo que se traduce en una mayor capacidad antioxidante en comparación con mieles más claras, como las de eucalipto, también reportaron que las mieles oscuras, como las de aguacate, presentan un perfil fenólico caracterizado por la presencia de ácidos fenólicos específicos como ácido gálico, ácido cafeico y ácido ferúlico. De forma consistente, la actividad antioxidante, determinada mediante el método FRAP, reflejó un patrón similar al observado en el contenido de fenoles. Las mieles más oscuras (aguacate) presentaron valores significativamente más altos ($p < 0,05$) de hasta 162,8 μ mol TE/100 g, mientras que las mieles de eucalipto mostraron valores entre 57,95 y 81,71 μ mol TE/100 g. Este resultado es coherente con la correlación positiva ampliamente documentada entre el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante (Valdés-Silverio et al., 2018).

Por otro lado, el contenido de flavonoides fue mayor en las mieles de aguacate de Pichincha e Imbabura. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre las mieles de eucalipto y la miel de aguacate de Imbabura, cuyos valores oscilaron entre 2,95 y 6,21 mg EC/kg de miel. De acuerdo con García-Tenesaca et al. (2018), las mieles de aguacate han mostrado concentraciones promedio de flavonoides de 4,25 mg/kg, mientras que las de eucalipto alcanzan apenas 1,09 mg/kg. Estos resultados respaldan la hipótesis de que los néctares provenientes de floraciones más oscuras contienen una mayor carga de flavonoides, como querctina y kaempferol (Miean & Mohamed, 2001), lo que incide no solo en el color de la miel, sino también en su capacidad antioxidante.

En conjunto, los resultados confirman que el origen botánico, particularmente la floración de aguacate, influye significativamente en el contenido de compuestos bioactivos y en la capacidad antioxidante de la miel, mientras que el origen geográfico no presentó un efecto significativo, lo que resalta la importancia del tipo de néctar como principal factor determinante de estas propiedades funcionales.

3.4 Análisis de correlación

Para identificar correlaciones entre las variables de mieles monoflorales, se empleó un análisis de correlación de Pearson (Tabla 5). La correlación entre las variables analizadas, ha sido ampliamente documentada.

Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson (r) entre parámetros fisicoquímicos y bioactivos en mieles monoflorales.

Parámetro	Color	HMF	ID	Fenoles	Flavonoides
HMF	-0,157				
ID	0,296	-0,370*			
Fenoles	0,585*	-0,260	0,439*		
Flavonoides	0,460*	-0,109	0,178	0,337*	
Actividad antioxidante (FRAP)	0,451*	-0,204	0,477*	0,712*	0,477*

HMF: Hidroximetilfulfural, ID: Índice de diastasa. *Significativo a $p < 0,05$.

La matriz de correlación de Pearson mostró correlaciones significativas ($p < 0,05$), tanto positivas como negativas. Se identificó una correlación positiva moderada entre el color y el contenido de fenoles totales, así como con la actividad antioxidante, lo que sugiere que las mieles más oscuras presentan un perfil funcional más enriquecido en compuestos bioactivos. Este patrón respalda la evidencia que asocia tonalidades más intensas con mayores concentraciones de sustancias con capacidad antioxidante (García-Tenesaca et al., 2018). Asimismo, el contenido fenólico mostró una correlación fuerte y significativa con la actividad antioxidante, y una correlación moderada con el contenido de flavonoides. En el caso de la relación entre flavonoides y actividad antioxidante, la correlación fue débil pero significativa. Estos compuestos representan una parte importante de la capacidad antioxidante de la miel, aunque pueden oxidarse o polimerizarse con el tiempo, lo que reduce su concentración y eficacia (Beretta et al., 2005). Además, Bertoncelj et al. (2007) explicaron que la correlación positiva entre el color de la miel y su contenido fenólico se debe a que los compuestos polifenólicos presentan estructuras aromáticas conjugadas que absorben radiación en el espectro visible, intensificando la tonalidad oscura. En particular, el índice de diastasa (ID) presentó una correlación negativa débil pero significativa con el contenido de HMF ($r = -0,370$), lo cual refleja un fenómeno ampliamente documentado: el deterioro térmico y/o el envejecimiento de la miel reduce progresivamente la actividad enzimática, especialmente la de la α -amilasa (diastasa), enzima sensible al calor y al almacenamiento prolongado (Terrab et al., 2002). La disminución en la actividad enzimática constituye un indicador del daño térmico acumulado, generalmente acompañado por un incremento en los niveles de hidroximetilfurfural (HMF), un compuesto de degradación de azúcares como la fructosa bajo condiciones ácidas y térmicas (Fallico et al., 2004). Adicionalmente, el índice de diastasa mostró una correlación positiva débil pero

significativa con el contenido de fenoles y la actividad antioxidante, lo que sugiere que las mieles más frescas, con alta actividad enzimática, también presentan un mayor contenido de compuestos bioactivos. Estos compuestos no solo aportan funcionalidad, sino que también podrían contribuir a preservar la frescura y estabilidad del producto.

3.6 Análisis sensorial

Se realizó una prueba de ordenación por preferencia para establecer diferencias sensoriales entre las muestras de miel evaluadas por los consumidores. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Rango promedio y suma de rangos para prueba de ordenación por preferencia.

Muestra	Floración	Rango promedio	Suma de rangos
284	Multiflora	1,536	108
527	Eucalipto	1,826	128
412	Aguacate	2,638	184

El estadístico de Friedman se calcula mediante la ecuación 6:

$$\chi_F^2 = \left[\frac{12}{nK(K+1)} \right] \sum R_j^2 - 3n(K+1) \quad (6)$$

Donde:

n = 70 (evaluadores)

k = 3 (muestras)

R_j = suma de rangos por muestra

Sustituyendo valores:

$$\chi_F^2 = \left[\frac{12}{70(3)(3+1)} \right] (108^2 + 128^2 + 184^2) - 3(70)(4) = 44,34 \quad (7)$$

El valor crítico para 2 grados de libertad (k - 1) y $\alpha = 0,05$ es 5,99. Como $44,34 > 5,99$, se rechaza la hipótesis nula: existen diferencias significativas entre las muestras.

Una vez se establece diferencias significativas, se aplica la prueba de Nemenyi para determinar entre qué pares de muestras existen diferencias significativas.

La diferencia crítica (CD) se calcula como:

$$CD = q_\alpha \sqrt{\frac{k(k+1)}{6n}} \quad (8)$$

Donde:

$$q_\alpha = 2,342 \text{ (para } \alpha = 0,05 \text{ y } k = 3\text{)}$$

$$k = 3 \text{ (muestras)}$$

$$n = 70 \text{ (evaluadores)}$$

$$CD = 2,342 \sqrt{\frac{3(3+1)}{6(70)}} = 0,396 \quad (9)$$

La Tabla 7 resume los resultados de la prueba de Nemenyi aplicada para comparar los rangos promedio y establecer diferencias significativas entre pares de muestras.

Tabla 7. Comparación múltiple entre muestras de miel mediante la prueba de Nemenyi

Par de muestras	Diferencia de rangos promedio	Diferencia crítica (CD)	¿Diferencia significativa? *
284 vs 527	0,290	0,396	No
284 vs 412	1,102	0,396	Sí
527 vs 412	0,812	0,396	Sí

*Mediante la prueba de Nemenyi a un nivel de significancia de 5%

Los resultados de la prueba de Nemenyi se representan gráficamente en la Figura 3, donde se visualizan las diferencias significativas en la preferencia sensorial entre las muestras evaluadas.

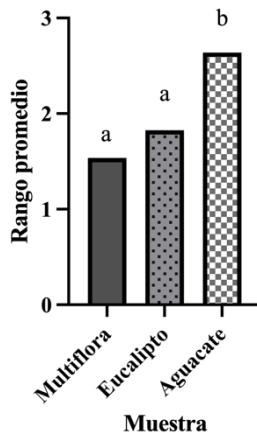


Figura 3. Rango promedio de preferencia para las muestras de miel.

Columnas con al menos una misma letra no poseen diferencias significativas entre si ($p < 0,05$) según la prueba de Nemenyi.

La evaluación sensorial realizada evidenció diferencias significativas entre la preferencia de las mieles monoflorales evaluadas. Las mieles de multiflora y eucalipto fueron las más preferidas y sin diferencias significativas entre si ($p > 0,05$), y la menos preferida fue la de aguacate ($p < 0,05$) (Figura 3). La preferencia hacia la miel multiflora podría atribuirse a sus características organolépticas típicas de color ámbar claro, sabor dulce y aroma floral, lo que suele ser preferido por consumidores no entrenados.

Este comportamiento lo describe Kallas et al. (2017) al mencionar que la preferencia por este tipo de miel se atribuye a que consumidores están acostumbrados a percibir un perfil sensorial definido. Además, Šedík et al. (2023) encontraron que las mieles multiflora generan mayor preferencia entre consumidores jóvenes, posiblemente por la ausencia de notas sensoriales dominantes. Por otro lado, la preferencia por la miel de eucalipto puede explicarse por su aroma y sabor intenso, típicamente descritos como balsámicos o mentolados, atribuibles a compuestos volátiles como el eucaliptol (Zappala et al., 2005). Este perfil si bien puede ser rechazado al considerarlo demasiado invasivo, algunos consumidores pueden encontrarlo atractivo al asociarlo con propiedades funcionales, tal como expone Sousa et al. (2016) donde tras analizar el nivel de agrado de mieles con

diferentes floraciones se encontró que las mieles con perfiles aromáticos pronunciados generan respuestas polarizadas. La preferencia más baja por la miel de aguacate puede atribuirse a su color oscuro (Tabla 3), con descriptores dados por los evaluadores como: “sabor tostado”, “caramelo quemado” e incluso “ligeramente amargo”. Esta miel se caracteriza por un alto contenido de minerales y compuestos fenólicos, que contribuyen tanto a su color oscuro como a la presencia de notas astringentes y amargas (Terrab & Heredia, 2004). Gonzales et al. (2008) reportaron que el contenido fenólico en la miel se correlaciona positivamente (aunque de forma moderada) con el sabor amargo como consecuencia de la presencia de compuestos como los ácidos fenólicos (ej. ácido cafeico, ácido p-cumárico) y los flavonoides (ej. quercetina, apigenina), compuestos que poseen estructuras aromáticas con grupos hidroxilo que les confieren la capacidad de interactuar con los receptores gustativos responsables del amargor (principalmente los receptores TAS2R). De esta misma manera, la percepción sensorial negativa se alinea con lo observado por Kaskoniene et al. (2021), que atribuyen a los fenoles con la reducción de la palatabilidad en consumidores no habituados. Aunque el contenido fenólico elevado también indica una actividad antioxidante elevada, Hunter et al. (2021) confirmaron que, en pruebas ciegas, la preferencia está dominada por la experiencia sensorial percibida, y no necesariamente por el valor funcional del alimento.

4. CONCLUSIONES

Este estudio proporcionó una evaluación integral de la composición fisicoquímica, el contenido de compuestos bioactivos y la preferencia sensorial de mieles monoflorales de aguacate (*Persea americana*) y eucalipto (*Eucalyptus spp.*) recolectadas en las provincias andinas de Cotopaxi, Pichincha e Imbabura, Ecuador. Todas las muestras cumplieron con los requisitos establecidos por la normativa ecuatoriana NTE INEN 3209, reflejando una alta calidad basada en su bajo contenido de humedad, elevada actividad diastásica, escasa presencia de hidroximetilfurfural (HMF) y adecuada concentración de azúcares reductores. Las mieles de aguacate mostraron concentraciones significativamente mayores de aminoácidos libres, compuestos fenólicos totales y flavonoides, lo que se asoció con una mayor capacidad antioxidante. En contraste, las mieles de eucalipto presentaron niveles dentro del rango esperado para productos con funcionalidad antioxidante documentada. Estas diferencias composicionales reafirman el papel del origen botánico como factor determinante del perfil químico-funcional de la miel. Desde el punto de vista sensorial, se observó una mayor preferencia por las mieles de tonalidad ámbar claro y menor intensidad de notas amargas, características predominantes en las muestras de eucalipto y multiflorales. En conjunto, esta investigación establece valores de referencia para mieles monoflorales ecuatorianas y constituye una base científica sólida para futuros estudios enfocados en la variabilidad geográfica y estacional, la caracterización estructural de compuestos bioactivos y la evaluación del comportamiento del consumidor, con el objetivo de fortalecer su valorización funcional y comercial.

5. REFERENCIAS

- Alvarez-Suarez, J.M., Tulipani, S., Romandini, S. et al. Contribution of honey in nutrition and human health: a review. *Mediterr J Nutr Metab*, 3, 15–23 (2010).
<https://doi.org/10.1007/s12349-009-0051-6>
- Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Díaz, D., Estevez, Y., Romandini, S., Giampieri, F., & Battino, M. (2010). Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds. *Food and Chemical Toxicology*, 48(10), 2490–2499. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.06.021>
- Becerril-Sánchez, A. L., Quintero-Salazar, B., Dublán-García, O., & Escalona-Buendía, H. B. (2021). Phenolic Compounds in Honey and Their Relationship with Antioxidant Activity, Botanical Origin, and Color. *Antioxidants*, 10(11), 1700. <https://doi.org/10.3390/antiox10111700>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., & Facino, R. M. (2005). Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 533(2), 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.11.010>
- Bertoncelj, J., Doberšek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105(2), 822–828. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.060>

Binkley, D. (2014, August 31). How bees make honey is complex process. *The Columbus Dispatch*.

Bogdanov, S., Jurendic, T., Sieber, R., & Gallmann, P. (2008). Honey for nutrition and health: a review. *Journal of the American College of Nutrition*, 27(6), 677-689.
<https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719745>

Bogdanov, S., Ruoff, K., & Persano Oddo, L. (2009). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*, 35(Special issue), 4–17. <https://doi.org/10.1051/apido:2004047>

Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182.

Chirife, J., Zamora, M. C., & Motto, A. (2006). The correlation between water activity and % moisture in honey: Fundamental aspects and application to Argentine honeys. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 287–292.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.009>

Codex Alimentarius Commission. (2001). Revised Codex Standard for Honey (CODEX STAN 12-1981, Rev. 2-2001). *FAO & WHO*.

Díaz, R. G. (1992). Actividad del agua de los alimentos: métodos de determinación. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, (229), 77-82.

Doi, E., Shibata, D., & Matoba, T. (1981). Modified colorimetric ninhydrin methods for peptidase assay. *Analytical Biochemistry*, 118(1), 173–184.
[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(81\)90175-5](https://doi.org/10.1016/0003-2697(81)90175-5)

- Fallico, B., Zappalà, M., Arena, E., & Verzera, A. (2004). Effects of conditioning on HMF content in unifloral honeys. *Food Chemistry*, 85(2), 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.010>
- Feás, X., Pires, J., Iglesias, A., & Estevinho, L. M. (2010). Characterization of artisanal honey produced in the Entre-Douro e Minho region of Portugal. *Food Chemistry*, 123(4), 1050–1057. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.062>
- García-Tenesaca, M., Navarrete, E. S., Iturrealde, G. A., Villacrés Granda, I. M., Tejera, E., Beltrán-Ayala, P., Giampieri, F., Battino, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2018). Influence of botanical origin and chemical composition on the protective effect against oxidative damage and the capacity to reduce in vitro bacterial biofilms of monofloral honeys from the Andean region of Ecuador. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 45. <https://doi.org/10.3390/ijms19010045>
- Gheldorf, N., & Engeseth, N. J. (2002). Antioxidant capacity of honeys from various floral sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3050–3055. <https://doi.org/10.1021/jf0114637>
- Hough, G., Wakeling, I., Mucci, A., Chambers, E., Gallardo, I. M., & Alves, L. R. (2006). Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Quality and Preference*, 17(6), 522–526. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.07.002>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2024). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3209: Norma para la miel de abeja*.
- Kallas, Z., Alba, M. F., Casellas, K., Berges, M., De Greef, G., & Gil, J. M. (2017). Impact of the sensory experience on consumers' preference toward the origin of honey: A case study in Mar del Plata, Argentina. IAAE Inter-Conference

- Symposium; 5° Congreso Regional de Economía Agraria. Universidad de Talca; International Association of Agricultural Economics (IAAE)
- Kaskoniene, V., Venskutonis, P. R., & Ceksteryte, V. (2009). Carbohydrate composition and electrical conductivity of different origin honeys from Lithuania. *LWT - Food Science and Technology*, 43(5), 801–807. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.007e>
- Kaskoniene, V., Kazernavičiūtė, R., & Venskutonis, P. R. (2021). Impact of geographical origin and botanical sources on honey properties. *Plants*, 10(10), 2118. <https://doi.org/10.3390/plants10102118>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2^a ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Louveaux, J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1978). Methods of Melissopalynology. Bee World, 59(4), 139–157. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1978.11097714>
- Masaquiza-Moposita, D. A., Martin, D., Zapata, J., Soldado, G., & Salas, D. (2023). Apicultura ecuatoriana: situación y perspectiva. *Tesla Revista Científica*, 3(2), e252.
- Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. G. (2005). Determination of total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>
- Miean, K. H., & Mohamed, S. (2001). Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin, and apigenin) content of edible tropical plants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(6), 3106–3112. <https://doi.org/10.1021/jf000892m>

- Mihai, R. A., Melo Heras, E. J., Terán Maza, V. A., Espinoza Caiza, I. A., Pinto Valdiviezo, E. A., & Catana, R. D. (2023). The panoramic view of Ecuadorian soil nutrients (deficit/toxicity) from different climatic regions and their possible influence on the metabolism of important crops. *Toxics*, 11(2), 123. <https://doi.org/10.3390/toxics11020123>
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Šedík, P., Hudecová, M., & Predanócyová, K. (2023). Exploring consumers' preferences and attitudes to honey: Generation approach in Slovakia. *Foods*, 12(10), 1941. <https://doi.org/10.3390/foods12101941>
- Seif Eldin, A. M., Ahmed, S. K., Waleed, S. K., Khalid, A. K., Hamed, A. G., Mogbel, A. A. E., ... & Mohamed, E. A. (2024). Antimicrobial, Antioxidant and Cytotoxic Properties of Four Types of Honey as Related to Their Phenolic and Flavonoid Contents. *Archives of Microbiology & Immunology*, 8(3), 265-272.
- Noor, Alfian. (2016). Mineral Content and Physico-chemical Characteristics in Terasa's Forest Honey. *Marina Chimica Acta*. 17. 37-42.
- Pasias, I. N., Kiriakou, I. K., & Proestos, C. (2017). HMF and diastase activity in honeys: A fully validated approach and a chemometric analysis for identification of honey freshness and adulteration. *Food Chemistry*, 229, 425-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.084>
- Piana, Maria & Oddo, Livia & Bentabol, Antonio & Bruneau, Étienne & Bogdanov, Stefan & Guyot, Christine. (2004). Sensory analysis applied to Honey: state of the art. <http://dx.doi.org/10.1051/apido:2004048>. 35. 10.1051/apido:2004048.

- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2016). Pollinator decline: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.03.012>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2020). *Sensory evaluation practices* (5^a ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04490-5>
- Valdés-Silverio, Luis & Iturralde, Gabriel & Garcia-Tenesaca, Marilyn & Paredes Moreta, Jonathan & Narváez, David & Rojas, Maira & Tejera, Eduardo & Beltrán-Ayala, Pablo & Giampieri, Francesca & Alvarez-Suarez, José. (2018). Physicochemical parameters, chemical composition, antioxidant capacity, microbial contamination and antimicrobial activity of Eucalyptus honey from the Andean region of Ecuador. *Journal of Apicultural Research*. 57. 10.1080/00218839.2018.1426349.
- Velásquez Giraldo, A. M., Vélez Acosta, L. M., & Zuluaga Gallego, R. (2013). Physicochemical and Microbiological Characterization of *Apis mellifera* sp. Honey from Southwest of Antioquia in Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18), 61-74.
- Velásquez, D., & Goetschel, S. (2019). Determinación de la calidad físico-química de la miel de abeja comercializada en Quito y comparación con la miel artificial. *Enfoque UTE*, 10(2), 52-62. <https://doi.org/10.29019/efoqueute.462>

6. ANEXOS

Anexo A: Resultados fisicoquímicos de muestras en la evaluación sensorial

Parámetro	Miel de eucalipto	Miel de aguacate	Miel multifloral
Humedad (%)	16,72 ± 0,19	15,55 ± 0,06	14,04 ± 0,73
Ceniza (%)	0,58 ± 0,08	0,73 ± 0,03	0,47 ± 0,03
pH	3,83 ± 0,06	3,42 ± 0,11	3,97 ± 0,07
Color (mm Pfund)	54,37 ± 0,01	92,17 ± 0,01	36,86 ± 0,01
Clasificación	Ambar claro	Ambar	Ambar extra claro
Flavonoides (mg EC/kg miel)	3,33 ± 0,50	4,12 ± 0,72	2,19 ± 0,10
Fenoles totales (mg EAG/100g miel)	47,42 ± 4,21	131,30 ± 21,86	28,59 ± 0,20

Nota: Las muestras se analizaron por triplicado. Valores reportados como media ± desviación estándar.

Anexo B: Consentimiento informado para evaluación sensorial de miel de abeja**Evaluación Sensorial de miel de abeja - Consentimiento informado**

Yo _____ con identificación (CI): _____ declaro que no tengo alergias ni condiciones de salud (diabetes mellitus, enfermedades metabólicas, problemas gastrointestinales) que requieran restricción estricta de azúcares, que me impidan consumir productos apícolas (como miel, polen, jalea real o propóleos), y que contraindiquen el consumo de miel. Al firmar este documento, confirmo que he leído y comprendido la información proporcionada y que participo en esta evaluación sensorial de miel de abeja de manera voluntaria.

Firma: _____

Fecha: _____

Anexo C: Cuestionario para evaluación sensorial de ordenación por preferencia**Universidad San Francisco de Quito****Evaluación sensorial de miel de abeja-Prueba de preferencia por ordenación**

Nombre: _____ **Edad:** _____
Fecha: _____ **Género:** _____

Por favor, pruebe las muestras de izquierda a derecha. Ordene las muestras según su preferencia, asigne el número 1 para la muestra de mayor preferencia, 2 para la segunda más preferida y 3 para la menos preferida. Entre cada muestra, enjuague su boca con agua y espere 30 segundos.

Código de muestra	Orden de preferencia
527	_____
412	_____
284	_____

Comentarios:
