



Caracterización fisicoquímica y bioactiva de miel de *Apis mellifera* producida en diferentes zonas agroecológicas de la región Amazonas, Perú

Physicochemical and bioactive characterization of *Apis mellifera* honey produced in different agroecological zones of the Amazonas region, Peru

Sandra Mori-Vigo^{1*} , Luz Quispe-Sanchez¹ , Robin Oblitas-Delgado¹ , Segundo Chavez-Quintana^{1,2}

RESUMEN

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de 20 muestras de miel de *Apis mellifera* provenientes de la región Amazonas - Perú. Se analizaron parámetros como pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, actividad de agua, humedad, azúcares reductores, viscosidad, conductividad eléctrica, hidroximetilfurfural, color, flavonoides, fenoles totales y actividad antioxidante. Los resultados mostraron rangos de pH entre 3.63 y 4.98 y acidez titulable entre 12 y 25 meq/kg. Los sólidos solubles totales variaron entre 73.3 y 79.3 °Brix, mientras que la actividad de agua osciló entre 0.58 y 0.67. La humedad se encontró entre 16.91 y 22.84 %, y los azúcares reductores entre 52.46 y 77.34 g/100 g. La viscosidad presentó valores de 2.66 a 25.63 Pa·s, y la conductividad eléctrica entre 33.17 y 80.23 mS/cm. El contenido de hidroximetilfurfural varió de 30.84 a 37.81 mg/kg y el color entre 1.29 y 158.14 mm Pfund. Asimismo, se observaron diferencias en los contenidos de flavonoides y fenoles totales entre las muestras. La actividad antioxidante, evaluada mediante DPPH, osciló entre 84.49 % y 91.49 %. En general, los resultados evidenciaron una alta variabilidad en las propiedades fisicoquímicas de la miel producida en la región Amazonas.

Palabras clave: *Apis mellifera*, propiedades fisicoquímicas, hidroximetilfurfural, actividad antioxidante.

ABSTRACT

The physicochemical properties of 20 honey samples from *Apis mellifera* collected in the Amazonas region of Peru were evaluated. Parameters such as pH, titratable acidity, total soluble solids, water activity, moisture content, reducing sugars, viscosity, electrical conductivity, hydroxymethylfurfural, color, flavonoids, total phenols, and antioxidant activity were analyzed. The results showed pH ranges between 3.63 and 4.98 and titratable acidity between 12 and 25 meq/kg. Total soluble solids ranged from 73.3 to 79.3 °Brix, while water activity ranged from 0.58 to 0.67. Moisture content ranged from 16.91 % to 22.84 %, and reducing sugars ranged from 52.46 to 77.34 g/100 g. Viscosity ranged from 2.66 to 25.63 Pa·s, and electrical conductivity ranged from 33.17 to 80.23 mS/cm. The hydroxymethylfurfural content ranged from 30.84 to 37.81 mg/kg, and the color ranged from 1.29 to 158.14 mm Pfund. Differences were also observed in the total flavonoid and phenolic contents among the samples. Antioxidant activity, assessed using the DPPH assay, ranged from 84.49 % to 91.49 %. Overall, the results demonstrated high variability in the physicochemical properties of honey produced in the Amazonas region.

Keywords: *Apis mellifera*, physicochemical properties, hydroxymethylfurfural, antioxidant activity.

¹Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú.

²Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú.

*Autor de correspondencia. E-mail: sandra.mori.epg@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

La miel es un producto natural elaborado por las abejas *Apis mellifera* a partir del néctar de las flores (Banfi et al., 2025), mediante procesos enzimáticos que transforman los azúcares complejos en simples y reducen el contenido de humedad, dando como resultado una sustancia viscosa rica en azúcares, compuestos bioactivos y micronutrientes (Bourais et al., 2023). Es una solución sobresaturada que contiene aproximadamente el 80 % de azúcares, cerca del 17 % de agua y el 3 % de otros componentes como enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Hossain et al., 2021).

Estos compuestos le otorgan propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y cicatrizantes, lo que ha despertado un creciente interés tanto nutricional como medicinal (Hossain et al., 2023; Sawicki et al., 2022), debido a estas propiedades, la miel no solo se valora como alimento funcional, sino también como recurso terapéutico con aplicaciones en la salud humana (Klaithin et al., 2026).

La calidad y autenticidad de la miel se evalúan mediante diversos parámetros fisicoquímicos, como el contenido de humedad, acidez, pH, conductividad eléctrica, color y niveles de hidroximetilfurfural (HMF). Estos parámetros permiten verificar su frescura, su conformidad con normativas internacionales (Codex Alimentarius, Unión Europea, FDA) y su aptitud para el consumo humano (Tsagkaris et al., 2021). Sin embargo, la composición y propiedades de la miel pueden variar significativamente en función del origen botánico, las condiciones climáticas, el tipo de suelo, la altitud, las prácticas apícolas y el manejo postcosecha (Ma et al., 2019; Mohammed, 2022; Nicolson et al., 2022).

En este sentido, el Perú, reconocido por su diversidad biológica y ecosistémica, presenta condiciones favorables para el desarrollo de la apicultura. Particularmente, la región Amazonas posee una amplia riqueza florística que podría conferir a sus mieles propiedades fisicoquímicas y bioactivas diferenciadas, con potencial para incrementar su

valor comercial (Arrieta et al. 2024). Sin embargo, la evidencia científica disponible sobre estas características es todavía limitada y no permite determinar si existen diferencias asociadas con la localidad de procedencia.

En efecto, no se dispone de información comparativa obtenida mediante métodos analíticos armonizados que permita establecer la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas y bioactivas de las mieles de *Apis mellifera* producidas en distintas localidades de la región Amazonas. Este vacío de conocimiento dificulta evaluar su calidad, identificar atributos diferenciales y generar evidencia técnica que contribuya a su valorización y posicionamiento en mercados especializados (Basurto & Condori, 2021). En consecuencia, se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué diferencias existen en las propiedades fisicoquímicas y bioactivas de las mieles de *Apis mellifera* procedentes de las localidades evaluadas en la región Amazonas?

La apicultura amazónica, además de su importancia económica para pequeños productores, cumple un rol ecológico fundamental al contribuir con la polinización y conservación de ecosistemas (Escuredo et al., 2025). Sin embargo, factores como la deforestación y el cambio de uso del suelo amenazan esta actividad, al alterar la disponibilidad de flora melífera y reducir la biodiversidad regional (Abdi et al., 2024). A ello se suma el riesgo de adulteración de la miel, cada vez más frecuente ante el incremento de su demanda global, lo que hace urgente establecer métodos confiables de control de calidad y autenticidad (Costa et al., 2022; Yong et al., 2022).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la miel de *Apis mellifera* producida en distintas zonas agroecológicas de la región Amazonas, Perú, con la finalidad de evaluar su conformidad con los límites de calidad aplicables para establecer una base técnica que permita valorar su calidad y potencial comercial.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de recolección

Las muestras de miel fueron recolectadas directamente de apiarios pertenecientes a los apicultores con mayor volumen de producción en la región Amazonas, Perú (Figura 1). En cada apiario se seleccionaron tres colmenas adyacentes, a partir de estas colmenas, se extrajeron panales, los cuales fueron segmentados en porciones menores utilizando herramientas estériles y se depositaron en frascos de vidrio esterilizados y se depositaron en frascos de vidrio esterilizados de 250 g de capacidad, herméticamente cerrados

para su transporte al Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOVLAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM).

En el laboratorio, las muestras fueron filtradas mediante tamiz de malla metálica fina (500 μ m) para eliminar impurezas como cera y partículas sólidas. Posteriormente, la miel fue conservada a 10 °C, a fin de preservar sus características fisicoquímicas hasta el momento del análisis.

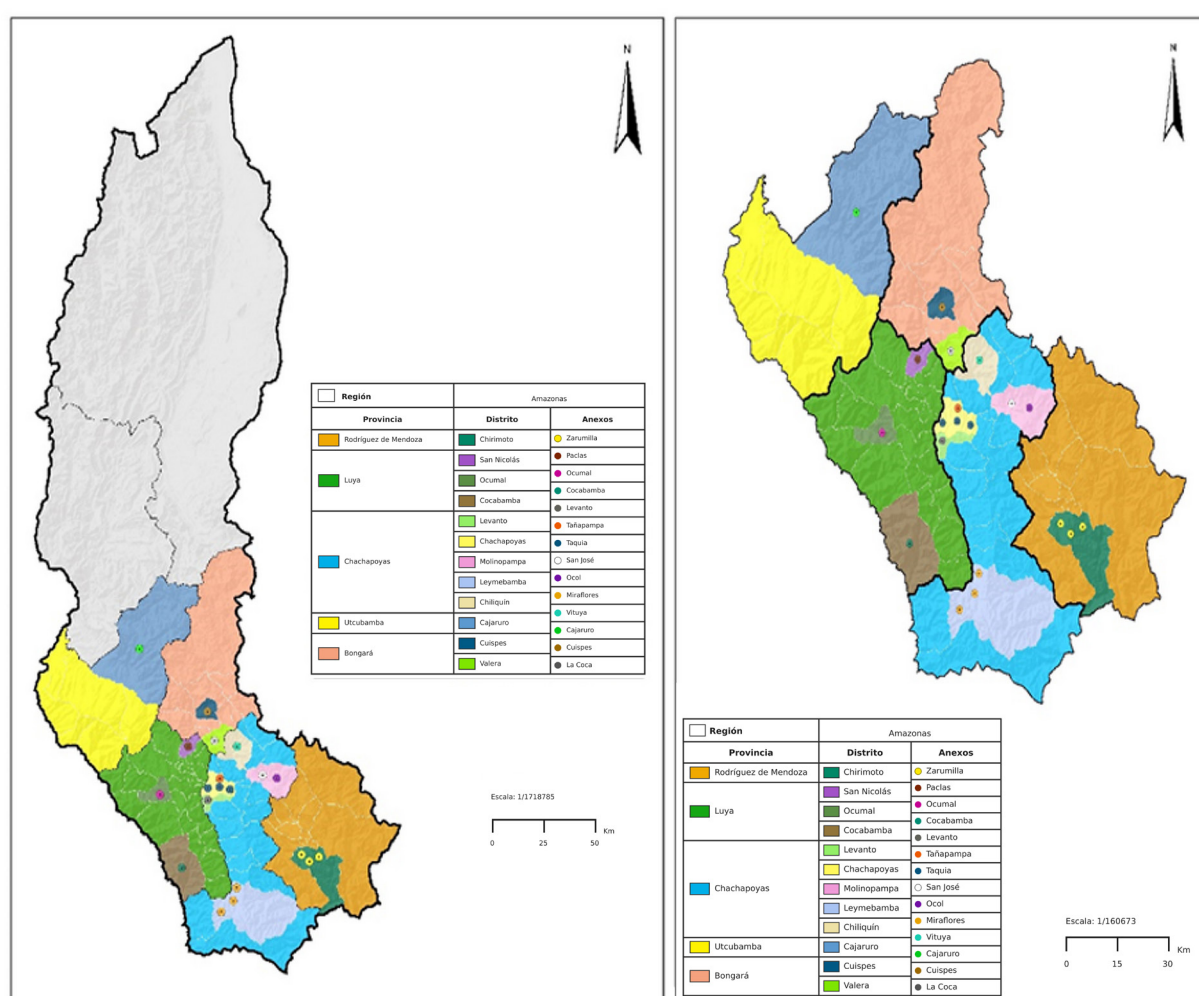


Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de recolección de muestras de miel.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Propiedades fisicoquímicas

pH

Para la determinación del pH se realizó siguiendo la metodología de Demir Kanbur et al. (2021). Se tomaron 5 g de miel y se diluyeron en 38 mL de agua destilada, homogenizando la mezcla en un agitador magnético durante 5 min. Finalmente, el pH se midió utilizando un potenciómetro (HI 2216, HANNA Instruments) previamente calibrado.

Acidez titulable

Para medir la acidez libre se trabajó con la metodología descrita por Mohamad et al. (2021), se pesó 10 g de miel de abeja disueltos en 38 mL de agua destilada. A esta solución se le agregaron 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 M, el valor de la acidez se obtuvo multiplicando el volumen de NaOH consumido por 10, expresándolo como mEq/kg de miel.

Sólidos solubles totales (SST)

Para la determinación de los sólidos solubles totales se trabajó con la metodología descrita por Sharin et al. (2024), se pesó 1 g de miel y se midió utilizando un refractómetro digital (Milwaukee MA871) las lecturas se registraron por triplicado.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se determinó utilizando un medidor multiparámetro previamente calibrado, para lo cual se preparó la solución con 5 g de miel y 38 mL de agua destilada (Gebeyehu & Jalata, 2023).

Actividad de agua

Para determinar la actividad de agua de la miel, se siguió el método descrito por Nayik et al. (2019), se utilizó 1 g de miel, el cual fue medido en un medidor de agua VTSYIQI WA-160A previamente calibrado. Los valores se registraron en triplicado.

Humedad

Para determinar el contenido de humedad de la miel, se siguió la metodología descrita por Sharin et al. (2021). Se pesaron 5 g de miel en una luna de reloj y se colocaron en una estufa (MMM Group, Venticell ECO Line, Alemania) a una temperatura de 105°C

durante un periodo de 24 h. Una vez transcurrido este tiempo, se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente y posteriormente se volvieron a pesar. El contenido de humedad se calculó utilizando la siguiente ecuación 1:

$$\text{Humedad} = \left(\frac{(A+B)-(a+b)}{B} \right) (100)$$

Donde:

A y a = Peso de la luna de reloj vacía antes y después de secarlo.

B y b = Peso de la muestra antes y después de secarlo.

Viscosidad

Se utilizó un reómetro compacto modular (Anton Paar, modelo MCR 302e), equipado con una geometría de placa (espacio de truncamiento de 30 mm, ángulo de cono de 1°) para determinar la viscosidad de la miel. Para determinar la viscosidad de la miel se trabajó con la metodología descrita por Mohamad et al (2021), se colocaron 2g de miel aproximadamente en el plato de muestra y las mediciones se realizaron con un flujo en estado estacionario y un rango de velocidad de corte de 1 a 1000 s⁻¹. La viscosidad se obtuvo como pendiente de la curva de esfuerzo de corte versus velocidad de corte en unidades de Pascal Pa.s.

Hidroximetilfurfural (HMF)

Para la determinación del contenido de hidroximetilfurfural se trabajó según el método descrito por Hunter et al (2021). Se pesó 5 g de miel y se diluyó con 25 mL de agua destilada, luego se añadió 0.5 mL de la solución de Carrez I y 0.5 mL de la solución de Carrez II, esta solución se pasó a un matraz de 50 mL y se completó con agua destilada, después se procedió a filtrar utilizando papel Whatman N° 2 y se eliminó los primeros 10 mL del filtrado, después del filtrado se transfirió 5 mL en cada uno de los dos tubos de ensayo, de los cuales al primer tubo se agregó 5 mL de agua destilada y al segundo tubo 5 mL de bisulfito de sodio (NaHSO₃) al 0.1 %, seguidamente se pasó a medir la absorbancia en un espectrofotómetro (UV-VIS PEAK Instruments Inc, 16223 Park Row, Houston, EE. UU) a una longitud de onda de 284 y 336 nm.

El contenido de HMF se expresó en mg/kg, para cual se determinó con la siguiente ecuación 2:

$$HMF = ((Abs_{284} - Abs_{336}) * Factor / W)$$

Donde:

W = peso de la muestra

Factor = 74.87

Azúcares reductores

Para la determinación de azúcares reductores se siguió la siguiente metodología de Mendes de Almeida & Vargas (1998), se realizó la estandarización de las soluciones de Fehling A y B para obtener el factor de correlación. Para ello, se disolvieron 0.5 g de glucosa en 100 mL de agua destilada. Esta solución se colocó en una bureta de 25 mL y se tituló las soluciones de Fehling en cuatro ocasiones; luego, se calculó el factor de correlación utilizando la siguiente ecuación 3:

$$F = \left(\frac{g}{100g} \text{ de glucosa} \right) * (\text{promedio del volumen gastado}) * 0.01$$

Seguidamente se preparó la muestra para lo cual se diluyó 5 g de miel en 25 mL de agua destilada (solución 1:5), de esta solución se pasó 2 mL a un matraz aforado de 100 mL y se completó con agua destilada (solución 1:50). Para realizar la titulación se colocó la solución 2 (1:50) en una bureta de 25 mL y en un matraz Erlenmeyer se colocó 5 mL de Fehling A y B con 40 mL de agua destilada y se colocó en una cocina eléctrica para proceder al proceso de ebullición, apenas empezó con la ebullición de agregó 5 mL de la solución de miel, después de que reinició la ebullición se siguió con la titulación esta vez soltando gota a gota desde la bureta hasta observar un cambio del color azul a un rojo ladrillo. Para el cálculo de los azúcares reductores se utilizó la siguiente ecuación 4:

$$AR \left(\frac{g}{100g} \right) = \frac{(\text{dilución de la solución de miel}=250) * F * 100}{\text{volumen gastado de la titulación}}$$

Donde:

AR= Azúcares reductores

F= Factor de corrección de la estandarización de las soluciones de Fehling.

Color

Para la determinación del color se siguió la metodología de Mulugeta & Belay, (2022) , con

algunas modificaciones; se diluyó 5 g de miel con 10 mL de agua destilada se homogenizó y se procedió a medir la absorbancia en un espectrofotómetro (UV-Visible Spectrophotometer, GENESIS 180) a 635 nm, luego se expresó en mm Pfund utilizando la siguiente ecuación 5:

$$(mm \text{ Pfund}) = -38.70 + (371.39 \times Abs_{635 \text{ nm}})$$

Fenoles

La determinación de fenoles se siguió el procedimiento descrito por Granato & Sávio (2016). Se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, para lo cual se preparó una solución acuosa de miel al 10 % (1 g de miel con 10 mL de agua destilada) (Otmani et al., 2021). Luego, en un tubo de ensayo, se agregaron 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu a 2 mL de muestra. Después de 5 min, se añadieron 250 µL de una solución de carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 10 % y se homogeneizó la mezcla durante 20 s. La reacción se llevó a cabo en la oscuridad durante 60 min, tras lo cual se registró la absorbancia en un espectrofotómetro (UV-Visible Spectrophotometer, GENESIS 180) a una longitud de onda de 725 nm. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalentes por litro de muestra (mg AG/L), utilizando una curva de calibración de ácido gálico con una buena linealidad (R² = 0.977).

Flavonoides

El contenido de flavonoides totales se determinó mediante el método colorimétrico descrito por Granato & Sávio (2016), con adaptaciones menores. Para el análisis, se disolvió 1 g de miel en 10 mL de agua destilada, y se tomaron 250 µL de esta solución para mezclarse con 2.720 mL de etanol al 30 % (v/v) y 120 µL de nitrito de sodio (NaNO₂) en un tubo de ensayo. La mezcla se agitó en un vórtex (Mixer VM-300P, China) y se dejó reposar durante 5 minutos a temperatura ambiente. Luego, se añadieron 120 µL de cloruro de aluminio (AlCl₃), se homogeneizó nuevamente en el vórtex durante 2 minutos, y tras 5 minutos de reposo, se incorporaron 800 µL de hidróxido de sodio (NaOH), agitando por última vez. Finalmente, se dejó reposar la solución por otros 5 minutos y se midió la absorbancia a 510 nm utilizando

un espectrofotómetro UV-Visible (GENESIS 180, Thermo Scientific). La cuantificación se realizó con una curva estándar de catequina en un rango de concentración de 0 a 100 mg/L, expresando los resultados como miligramos de catequina equivalente por 100 gramos de muestra (mg CE/100 g).

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de las muestras de miel se evaluó mediante el método del radical libre 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH), siguiendo el protocolo descrito por Granato & Sávio (2016), con modificaciones menores. Para ello, se mezclaron 280 µL de la solución acuosa de miel con 1.820 mL de una solución de DPPH previamente preparada en etanol. La mezcla se incubó en oscuridad durante 30 minutos a temperatura ambiente para permitir la reacción entre los compuestos antioxidantes y el radical DPPH. Posteriormente, se midió la absorbancia de la solución a 525 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (GENESIS 180, Thermo Scientific). La capacidad antioxidante se expresó como porcentaje de inhibición del radical DPPH (% DPPH), calculado mediante la ecuación 6:

$$\%DPPH = \left(1 - \frac{A_1}{A_0}\right) \times 100$$

Donde:

A_0 = absorbancia DPPH.

A_1 = absorbancia de la muestra.

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de identificar diferencias significativas entre las muestras evaluadas, para la comparación múltiple de medias, se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$, a fin de determinar cuáles tratamientos presentaron variaciones estadísticamente significativas. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 26.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de las propiedades fisicoquímicas de las muestras de miel

de *Apis mellifera* recolectadas en diferentes zonas agroecológicas de la región Amazonas, Perú.

Los valores de pH oscilaron entre 3.63 ± 0.01 en la muestra de Cajaruro (Utcubamba) y 4.98 ± 0.01 en la muestra de Levanto (Chachapoyas), mostrando diferencias significativas entre las zonas de recolección ($p < 0.05$). Este parámetro es fundamental en la caracterización de la miel, influye directamente en su estabilidad microbiológica, un pH bajo inhibe el crecimiento de microorganismos, lo que favorece su conservación durante el almacenamiento (Gela et al., 2021). La variabilidad observada puede atribuirse a factores como el origen floral, las características del suelo, el tipo de vegetación predominante y la composición química del néctar (Vanhanen et al., 2011), así como a la concentración de ácidos orgánicos presentes en la miel (Melaku & Tefera, 2022). Estudios similares realizados en otros países respaldan estos hallazgos; de Sousa et al. (2016) reportaron rangos de pH entre 3.1 y 5.3 en mieles de abejas nativas brasileñas, mientras que Kavanagh et al. (2019) encontraron valores entre 3.0 y 4.5 en muestras urbanas y rurales de Irlanda. Aunque el Codex Alimentarius (2001) no establece un valor normativo específico para el pH de la miel, se ha sugerido que niveles entre 3.2 y 4.5 son efectivos para inhibir la proliferación microbiana (Karabagias et al., 2014).

La acidez titulable de las muestras de miel evaluadas varió entre 12.00 ± 0.01 y 25.00 ± 0.01 meq/kg, evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes puntos de recolección ($p < 0.05$). Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por el Codex Alimentarius (2001), que define un límite máximo de 50 meq/kg para la miel de *Apis mellifera*, lo que indica que todas las muestras analizadas cumplen con los estándares internacionales de calidad.

La acidez en la miel está principalmente relacionada con la presencia de ácidos orgánicos naturales, como el ácido glucónico, y constituye un indicador importante de frescura y estabilidad, un incremento en la acidez puede deberse al avance del tiempo

de almacenamiento o a procesos fermentativos, durante los cuales los azúcares son transformados en ácidos orgánicos por acción de levaduras u otros microorganismos (Pauliuc et al., 2020). La variabilidad observada en los niveles de acidez entre muestras puede atribuirse a múltiples factores, entre ellos, las diferencias en la composición del néctar, el tiempo requerido para su transformación completa en

miel, y la presencia de enzimas y microorganismos propios del entorno ecológico. Asimismo, prácticas asociadas al manejo apícola, como el momento de la cosecha, las condiciones de extracción y la duración del almacenamiento previo al análisis, pueden influir significativamente en este parámetro (Damto et al., 2023).

Tabla 1. Análisis Físicoquímicos de la miel de abeja (*Apis mellifera*) de diferentes puntos de la región Amazonas.

Provincias	Anexos	pH	Acidez (mEq/kg)	S. Solubles (°Brix)	Aw	Humedad (%)
Mendoza	Zarumilla	3.98±0.01 ⁱ	14.00±0.01	78.2±1.21 ^{ab}	0.65±0.01 ^{ab}	16.91±0.17 ^f
Luya	Paclas	4.95±0.01 ^a	13.00±0.01	77.1±8.06 ^{a-c}	0.58±0.01 ^c	17.16±0.11 ^f
	Ocumal	4.26±0.01 ^{ef}	25.00±0.01	78.3±6.98 ^{ab}	0.63±0.01 ^{a-c}	17.72±1.43 ^{ef}
	Cocabamba	3.84±0.01 ^k	16.00±0.01	75.0±17.36 ^{bc}	0.67±0.01 ^a	17.38±2.29 ^{ef}
Chachapoyas	Levanto	4.98±0.01 ^a	21.00±0.01	78.6±1.39 ^{ab}	0.65±0.01 ^{ab}	20.86±0.83 ^{a-c}
	Tañapampa	4.63±0.01 ^b	14.00±0.01	78.2±11.13 ^{ab}	0.61±0.01 ^{a-c}	20.88±0.29 ^{a-c}
	San José C1	4.35±0.01 ^d	18.00±0.01	76.0±3.41 ^{a-c}	0.66±0.01 ^{ab}	17.69±0.47 ^{ef}
	San José C2	4.43±0.01 ^c	17.00±0.01	75.6±3.31 ^{a-c}	0.64±0.01 ^{a-c}	18.63±0.77 ^{c-f}
	San José C3	4.47±0.01 ^c	18.00±0.01	73.3±2.48 ^{bc}	0.64±0.01 ^{a-c}	21.71±0.27 ^{ab}
	Miraflores C1	4.57±0.01 ^b	12.00±0.01	77.1±2.69 ^{a-c}	0.61±0.01 ^{a-c}	17.48±0.10 ^{ef}
	Miraflores C2	3.87±0.01 ^{jk}	17.00±0.01	75.0±0.14 ^{bc}	0.62±0.01 ^{a-c}	20.05±3.52 ^{b-f}
	Miraflores C3	3.93±0.01 ^{ij}	17.00±0.01	76.5±0.24 ^{a-c}	0.60±0.01 ^{a-c}	18.50±4.77 ^{c-f}
	Ocol	4.27±0.01 ^{ef}	17.00±0.01	79.2±0.21 ^a	0.59±0.01 ^{cb}	17.72±0.91 ^{ef}
	Taquia C1	4.24±0.01 ^{fg}	20.00±0.01	77.1±0.01 ^{a-c}	0.60±0.01 ^{a-c}	18.96±0.43 ^{c-f}
	Taquia C2	4.17±0.01 ^h	20.00±0.01	76.2±0.01 ^{a-c}	0.64±0.01 ^{a-c}	20.52±9.70 ^{a-d}
	Taquia C3	4.16±0.01 ^h	20.00±0.01	77.6±0.02 ^{ab}	0.62±0.01 ^{a-c}	18.07±0.37 ^{d-f}
	Vituya	4.31±0.01 ^{de}	18.00±0.01	79.1±0.21 ^a	0.60±0.01 ^{a-c}	19.33±2.47 ^{b-f}
Utcubamba	Cajaruro	3.63±0.01 ^l	18.00±0.01	75.1±1.13 ^{bc}	0.60±0.01 ^{a-c}	22.84±0.42 ^a
Bongará	Cuispes	4.18±0.01 ^{gh}	14.00±0.01	76.2±3.81 ^{a-c}	0.60±0.01 ^{cb}	18.06±0.03 ^{d-f}
	La Coca	4.18±0.01 ^{gh}	18.00±0.01	79.3±0.02 ^a	0.58±0.01 ^c	18.49±0.40 ^{c-f}

Nota. Valores expresados como promedio ± desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ($p < 0.05$)

Los SST, expresados en grados Brix (°Brix), representan el porcentaje en peso de los sólidos disueltos en la miel, principalmente azúcares como la fructosa y glucosa, aunque también incluyen en menor proporción ácidos orgánicos, minerales, proteínas, vitaminas y otros compuestos solubles (Liza et al., 2013). Este parámetro es un indicador directo del grado de madurez de la miel y se asocia estrechamente con su capacidad de conservación, ya que una mayor concentración de sólidos solubles implica una menor actividad de agua, lo que reduce la

probabilidad de fermentación microbiana.

Los valores en las muestras de miel analizadas oscilaron entre 73.30 ± 2.48 y 79.30 ± 0.02 °Brix, siendo la muestra recolectada en el anexo La Coca, provincia de Bongará, la que presentó la concentración más alta. Por otro lado, la muestra de San José registró el valor más bajo. La variación observada entre las muestras puede atribuirse a diversos factores, entre ellos, el origen floral del néctar y las preferencias alimenticias específicas de las abejas melíferas, las cuales muestran un comportamiento selectivo hacia

ciertas especies vegetales con distinta concentración de azúcares (Syafiqah et al., 2023). Adicionalmente, la composición química del néctar, incluyendo los niveles de azúcares, ácidos y minerales, influye directamente en el valor de SST de la miel producida (Shamsudin et al., 2019).

La actividad de agua es un parámetro crítico en la evaluación de la calidad y estabilidad de productos alimenticios, ya que determina la cantidad de agua disponible para el crecimiento microbiano y las reacciones bioquímicas. En el caso específico de la miel, valores de a_w comprendidos entre 0.50 y 0.65 son considerados normales y seguros, ya que limitan el desarrollo de levaduras osmofílicas y otros microorganismos responsables de la fermentación (Escuredo et al., 2013; Smetanska et al., 2021). No obstante, valores superiores a 0.60 pueden favorecer la proliferación microbiana, especialmente si se combinan con elevados niveles de humedad (Da Silva et al., 2016), lo que comprometería la calidad y vida útil del producto. La actividad de agua de las muestras de miel evaluadas presentó valores que oscilaron entre 0.58 ± 0.01 y 0.67 ± 0.01 , siendo las muestras provenientes del anexo La Coca y de Paclas las que registraron los valores más bajos, y aquellas del distrito de Cocabamba las que mostraron los niveles más altos. Estos resultados revelan una variabilidad significativa entre las zonas de recolección, lo que podría estar influenciado por factores como el contenido de humedad, el origen floral del néctar y las condiciones ambientales de cada localidad. Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los rangos reportados en investigaciones previas; Boussaid et al. (2018) encontraron niveles de entre 0.56 y 0.64 en mieles de origen mediterráneo, mientras que Abdi et al. (2024) reportaron valores entre 0.48 y 0.61 en mieles producidas en zonas tropicales de América del Sur, lo que sugiere que la actividad de agua en miel está estrechamente vinculada con el entorno agroecológico y las condiciones de cosecha. La humedad es un parámetro crítico para la evaluación de la calidad de la miel, ya que influye directamente en su estabilidad microbiológica y fisicoquímica. Un menor contenido de humedad se asocia con una

reducción en la actividad de agua, lo que limita el crecimiento de microorganismos y ralentiza las reacciones químicas que pueden deteriorar el producto (Trisha et al., 2023). El contenido de humedad en las muestras de miel evaluadas varió entre $16.91 \pm 0.17 \%$ y $22.84 \pm 0.42 \%$, siendo la muestra del anexo Zarumilla la que presentó el valor más bajo, mientras que la muestra del distrito de Cajaruro registró el valor más alto. Esta variabilidad entre localidades evidencia diferencias en las condiciones de cosecha, manejo postcosecha y características florales de cada zona agroecológica. De acuerdo con los estándares internacionales establecidos por el Codex Alimentarius (1981), la miel de alta calidad debe contener menos del 20 % de humedad (20 g/100 g), mientras que la Norma Técnica Peruana (NTP 209.168:2014) permite un máximo de 21 %. La presencia de valores de humedad elevados puede deberse a la recolección prematura de la miel, antes de que las abejas completen el proceso natural de deshidratación y sellado de los panales, así como a condiciones ambientales con alta humedad relativa durante la cosecha y almacenamiento. Estas condiciones afectan negativamente la calidad del producto y podrían comprometer su comercialización, especialmente en mercados que exigen certificaciones de calidad. Estos hallazgos son coherentes con investigaciones previas, como la de Lewoyehu & Amare (2019), quienes señalan que las mieles con contenido de humedad superior a los estándares establecidos presentan mayor riesgo de fermentación, alteración sensorial y pérdida de valor comercial. Por tanto, un adecuado control del momento de cosecha y de las condiciones de almacenamiento es esencial para garantizar la calidad del producto final.

Los azúcares reductores en la miel como la fructosa y glucosa en proporciones variables, son un aspecto fundamental que se emplea para diferenciar entre miel auténtica y adulterada (Kamal & Klein, 2011). La fructosa tiende a predominar sobre la glucosa, representando aproximadamente el 40 % y el 30 % de la composición total de azúcares, respectivamente (Alghamdi et al., 2020). En el presente estudio, los valores de azúcares reductores exhibieron

variabilidad, desde un mínimo de 52.46 g/100 g en la miel del anexo de Taquia C3 en la provincia de Chachapoyas, hasta un máximo de 77.34 g/100 g en las muestras del anexo de Zarumilla provincia de Rodríguez de Mendoza. Según el Codex Alimentarius (2001), la suma de fructosa y glucosa debe superar los 60 g/100 g, y las muestras analizadas que no cumplan este estándar indican una calidad deficiente debido a periodos de maduración insuficiente o a la recolección en condiciones de calor (Aljohar et al., 2018).

La viscosidad se destaca como una de las características físicas y sensoriales más cruciales de la miel (Yanniotis et al., 2006). En este estudio, los valores de viscosidad oscilaron entre 2.66 y 25.63

Pa.s, el valor mínimo de viscosidad se atribuyó a la miel recolectada del anexo Levanto y el valor máximo pertenece a la miel recolectada del distrito Cajaruro, con diferencias significativas entre las muestras ($p<0.05$). Esta variabilidad en la viscosidad está influenciada por varios factores, como la composición de la miel (principalmente concentración de azúcares y humedad), la temperatura y su origen botánico (Ávila, 2018). La baja viscosidad observada en ciertas mieles podría estar relacionada con la recolección en etapas iniciales del proceso de maduración (Abdi et al., 2024), mientras que una viscosidad más alta puede ser atribuible a una mayor concentración de azúcares (Rodríguez et al., 2014).

Tabla 2. Análisis fisicoquímicos de la miel de abeja (*apis mellifera*) de diferentes puntos de la región Amazonas.

Provincias	Anexos	A. Reductores (g/100g)	Viscosidad (Pa)	Conductividad (mS/cm)	HMF (mg/kg)	mmPfund	Color
Mendoza	Zarumilla	77.34±3.43 ^a	6.10±0.02 ^j	34.50±0.14 ^{kl}	36.01±0.24 ^{a-c}	129.66 ^{ab}	ámbar oscuro
Luya	Paclas	74.40±0.98 ^{a-c}	12.89±0.02 ^c	59.00±1.46 ^{cd}	37.81±0.06 ^a	141.55 ^{ab}	ámbar oscuro
	Ocumal	55.88±2.21 ^h	14.7±0.28 ^d	69.53±0.61 ^b	36.18±0.49 ^{a-d}	137.09 ^{ab}	ámbar oscuro
	Cocabamba	64.87±0.56 ^f	11.49±0.01 ^f	40.50±0.42 ^{ij}	35.8±0.86 ^{a-c}	143.65 ^{ab}	ámbar oscuro
Chachapoyas	Levanto	62.22±0.47 ^{fg}	2.66±0.01 ^l	80.23±0.01 ^a	34.43±0.02 ^{d-h}	121.25 ^{ab}	ámbar oscuro
	Tañapampa	76.04±0.01 ^{ab}	7.41±0.08 ^{hi}	54.57±0.01 ^{de}	32.56±0.78 ^{h-j}	58.85 ^{cd}	ámbar claro
	San José C1	75.63±1.03 ^{ab}	7.23±0.01 ⁱ	57.10±2.54 ^{de}	33.15±0.48 ^{f-i}	48.21 ^{cd}	ámbar extra claro
	San José C2	72.06±3.53 ^{cd}	17.90±0.10 ^b	52.93±3.05 ^{ef}	34.39±1.29 ^{d-h}	92.15 ^{bc}	ámbar
	San José C3	70.58±5.64 ^{de}	2.76±0.01 ^l	66.40±3.84 ^b	30.84±3.01 ^j	30.25 ^d	ámbar extra claro
	Miraflores C1	70.92±0.81 ^{c-c}	11.23±0.05 ^f	46.13±1.65 ^{gh}	34.49±0.04 ^{d-h}	10.32 ^d	extra blanco
	Miraflores C2	63.68±3.74 ^{fg}	3.19±0.02 ^{kl}	45.20±107.46 ^{g-i}	31.87±3.65 ^{ij}	2.77 ^d	blanco agua
	Miraflores C3	68.45±2.75 ^e	8.00±0.01 ^h	39.10±0.78 ^{jk}	33.99±0.07 ^{c-h}	12.06 ^d	extra blanco
	Ocol	71.67±0.85 ^{c-c}	15.96±0.51 ^c	48.70±0.78 ^{fg}	33.02±0.48 ^{g-i}	158.14 ^a	ámbar oscuro
	Taquia C1	62.83±8.26 ^{fg}	3.48±0.01 ^k	60.07±0.67 ^{cd}	31.87±0.14 ^{ij}	9.95 ^d	extra blanco
	Taquia C2	61.66±1.39 ^{fg}	9.14±0.16 ^g	64.17±0.53 ^{bc}	31.61±0.29 ^{ij}	21.34 ^d	blanco
	Taquia C3	52.46±2.23 ^h	7.04±0.04 ⁱ	66.23±0.03 ^b	36.97±0.31 ^{ab}	11.56 ^d	extra blanco
	Vituya	72.82±3.53 ^{b-d}	15.71±0.12 ^c	39.20±1.52 ^{jk}	35.07±0.64 ^{b-f}	157.64 ^a	ámbar oscuro
Ucubamba	Cajaruro	77.34±3.43 ^a	25.63±0.41 ^a	34.43±0.33 ^{kl}	34.73±3.93 ^{c-g}	1.29 ^d	blanco agua
Bongará	Cuispes	60.31±3.02 ^g	5.69±0.07 ^j	33.17±2.11 ^l	36.55±0.30 ^{a-c}	104.41 ^{a-c}	ámbar
	La Coca	74.41±4.00 ^{a-c}	9.18±0.04 ^g	41.90±1.52 ^{h-j}	33.05±0.13 ^{f-i}	133.25 ^{ab}	ámbar oscuro

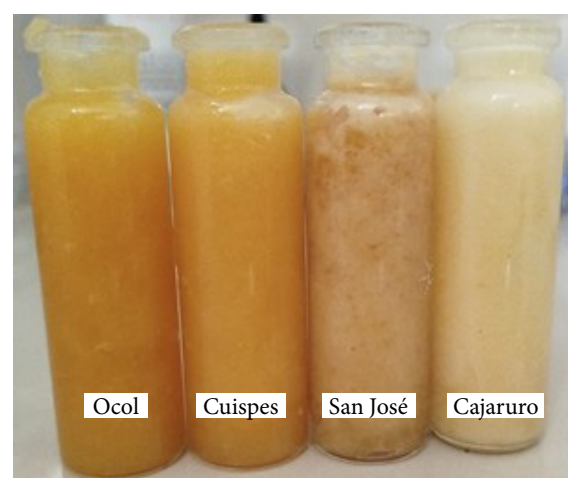
La conductividad eléctrica de la miel está directamente vinculada a su contenido de sales minerales, ácidos orgánicos y proteínas, sirve como una medida de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas insolubles presentes en ella (Da Silva et al., 2016). Además, puede actuar como un indicador del origen floral de la miel (Nordin et al., 2018). En este estudio, se encontraron valores de conductividad eléctrica que oscilaron entre 0.01 mS/cm para la miel recolectada en el anexo Tañapampa y 80.23 mS/cm para la miel del anexo de Levanto, mostrando una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las diversas muestras. Esta variabilidad podría atribuirse a las fluctuaciones en las concentraciones de sales minerales, ácidos orgánicos y proteínas, influenciadas a su vez por el tipo de suelo y el origen de la flora circundante (Terrab et al., 2004). Además, los valores más altos de conductividad eléctrica podrían ser resultado de una mayor presencia de ácidos orgánicos en la miel (Hassan et al., 2023).

El hidroximetilfurfural es un indicador crucial para determinar la frescura y pureza de la miel (Khalil et al., 2012). Generalmente se encuentra en cantidades mínimas en la miel fresca y su concentración tiende a aumentar durante el almacenamiento o el proceso de calentamiento (Smetanska et al., 2021). Este estudio muestra que los niveles de HMF de miel recolectadas del Anexo de San José C3, provincia Chachapoyas presentó el nivel más bajo con 30.84 mg/kg y la miel recolectada de Paclas, provincia de Luya, presentó el valor más alto con 37.81 mg/kg. Todos los niveles de HMF de las muestras analizadas según la Tabla 2 estaban por debajo del límite establecido de 40 mg/kg (Codex Alimentarius, 2001), lo que indica que las muestras mantienen una calidad aceptable para su consumo.

El color de la miel es un aspecto crucial para su comercialización, influye en la aceptabilidad y las preferencias de los consumidores (Gámbaro et al., 2007; González-Miret et al., 2005). En el presente estudio, se observaron valores de color de la miel que va desde 1.29 hasta 158.14 mm Pfund, siendo

calificado el tono más bajo como “blanco agua” para la miel del distrito de Cajaruro y el más alto como “ámbar oscuro” para la miel del anexo Ocol según la escala de Pfund. Es importante recalcar que las mieles de colores claros están asociadas a menores contenidos minerales (Tuberoso et al., 2014), mientras que las mieles de tonos oscuros pueden ser el resultado de altos niveles de pigmentos, polen, y compuestos fenólicos (Pauliuc et al., 2020).

Figura 2. Muestras de miel de *Apis mellifera* recolectadas en localidades de la región Amazonas, Perú.



Propiedades bioactivas

La Tabla 3 muestra el contenido de flavonoides en las mieles de abeja de la región Amazonas.

Los flavonoides son compuestos fenólicos de bajo peso molecular, elementos esenciales para conferir aroma y propiedades antioxidantes a la miel (Khalil et al., 2012). En este estudio, se observó una diferencia en los niveles de flavonoides entre las muestras analizadas, donde la miel recolectada del anexo de Tañapampa exhibió el menor contenido de flavonoides, con 15.46 mg CT/L, mientras que la muestra del anexo de Ocol presentó un valor más alto, alcanzando los 30.37 mg CT/L. Esta variabilidad se atribuye principalmente al origen floral (Otmani et al., 2021), la ubicación geográfica, los factores ambientales (Nayik et al., 2018).

Los fenoles son reconocidos por su capacidad antioxidante y se derivan principalmente del polen

y el propóleo (Granato & Sávio, 2016). En este estudio, se identificaron variaciones en los niveles de fenoles totales entre las distintas muestras de miel examinadas. La miel recolectada en el anexo de Miraflores C3 mostró un contenido menor de fenoles, registrando 152.39 mg EAG/L, mientras que la miel de Taquia C3 presentó un contenido fenólico más

elevado, con 333.99 mg EAG/L. Estas variaciones pueden atribuirse a las diferentes procedencias botánicas y geográficas (Trisha et al., 2023), así como el clima, el momento de la cosecha y las preferencias de polinización de cada especie de abeja (Biluca et al., 2017).

Tabla 3. Propiedades bioactivas de la miel de abeja (*Apis mellifera*) de diferentes puntos de la región Amazonas.

Provincias	Anexos	Flavonoides (mg/L)	Fenoles(mg/L)	Actividad antioxidante (%)
Mendoza	Zarumilla	16.90±0.31 ^g	257.00±213.76 ^{cd}	91.49±19.10 ^a
Luya	Paclas	18.47±1.23 ^{c-g}	215.20±74.68 ^f	88.64±1.34 ^{ab}
	Ocumal	26.05±0.10 ^{bc}	249.18±57.47 ^{c-c}	89.93±6.42 ^a
	Cocabamba	18.73±0.41 ^{c-g}	175.45±1.71 ^g	89.39±7.52 ^{ab}
Chachapoyas	Levanto	18.34±1.95 ^{c-g}	278.92±447.48 ^{bc}	88.27±0.02 ^{ab}
	Tañapampa	15.46±3.18 ^g	224.33±337.56 ^{ef}	88.40±3.01 ^{ab}
	San José C1	25.79±0.72 ^{bc}	159.23±4.30 ^g	87.24±0.01 ^{ab}
	San José C2	22.79±0.92 ^{cd}	157.2±27.04 ^g	88.29±3.80 ^{ab}
	San José C3	25.14±2.15 ^{bc}	211.95±496.63 ^f	89.79±5.89 ^{ab}
	Miraflores C1	25.27±1.33 ^{bc}	217.08±23.58 ^{ef}	88.23±3.55 ^{ab}
	Miraflores C2	20.56±0.72 ^{d-f}	273.54±90.13 ^{bc}	88.23±6.71 ^{ab}
	Miraflores C3	28.80±1.95 ^{ab}	152.39±125.10 ^g	90.44±4.26 ^a
	Ocol	30.37±7.49 ^a	217.97±60.98 ^{ef}	90.51±5.64 ^a
	Taquia C1	20.82±1.23 ^{dc}	332.36±550.12 ^a	90.57±8.96 ^a
	Taquia C2	28.80±1.33 ^{ab}	263.60±32.62 ^{b-d}	89.32±3.03 ^{ab}
	Taquia C3	24.88±0.72 ^c	333.99±272.91 ^a	91.19±6.09 ^a
Ucubamba	Vituya	26.58±29.66 ^{a-c}	275.82±492.62 ^{bc}	88.40±2.26 ^{ab}
	Cajaruro	18.34±7.49 ^{c-g}	233.54±355.69 ^{d-f}	87.79±16.85 ^{ab}
Bongará	Cuispes	16.64±0.72 ^g	289.92±311.42 ^b	84.49±14.58 ^b
	La Coca	26.32±0.31 ^{bc}	177.97±406.27 ^g	87.72±4.59 ^{ab}

Nota. valores expresados como promedio ± desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey.

La actividad antioxidante de la miel se atribuye principalmente a la presencia de diversos compuestos, como compuestos fenólicos, aminoácidos, ácidos orgánicos, ácido ascórbico, carotenoides, entre otros (Khalil et al., 2012). Además, debido a las propiedades antioxidantes, la miel es reconocida como un alimento terapéutico, en el que los polifenoles y flavonoides desempeñan un papel clave en la potenciación de sus beneficios nutricionales (Biratu et al., 2024). Los valores obtenidos en este estudio oscilaron entre

84.49 ± 14.58 % y 91.49 ± 19.10 %, correspondientes a la miel del distrito de Cuispes, provincia de Bongará, y al anexo de Zarumilla, respectivamente. Estos resultados son consistentes con la investigación de Džugan et al. (2020), en donde reportaron rangos de actividad antioxidante entre 79.6 ± 0.2 % y 94 ± 0.1 % destacando el potencial antioxidante de la miel en su caracterización como alimento funcional y terapéutico.

IV. CONCLUSIONES

Este estudio evaluó las propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja producida en la región Amazonas, revelando una notable variabilidad en sus características. La mayoría de las muestras examinadas cumplieron con los criterios de calidad definidos por el Codex Alimentarius. Los resultados mostraron diferencias significativas en parámetros como el pH, la acidez titulable, los sólidos solubles totales, la actividad de agua, la humedad, los azúcares reductores. También se observó una considerable variabilidad en el color (de ámbar extra claro a ámbar oscuro), la viscosidad y la conductividad eléctrica, los niveles de hidroximetilfurfural (HMF), posiblemente influenciadas tanto por el origen botánico como por las condiciones ambientales de producción.

DECLARACIONES

APROBACIÓN ÉTICA

Por la naturaleza y metodología de la investigación, el estudio no requirió la aprobación de un comité de ética.

FINANCIAMIENTO

La investigación no recibió financiamiento específico de entidades públicas, privadas, comerciales o sin fines de lucro.

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses financieros, laborales, institucionales, académicos, personales o comerciales que puedan haber influido en el desarrollo o presentación de esta investigación.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

S.M.V.: conceptualización, metodología, investigación, curación de datos y redacción del borrador original. L.Q.S.: investigación, validación, provisión de recursos, visualización y revisión del manuscrito. R.O.D.: metodología, análisis formal, validación, interpretación de los resultados y edición del manuscrito. S.C.Q.: conceptualización, supervisión, administración del proyecto y revisión crítica del contenido.

USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores declaran que no utilizaron herramientas

de inteligencia artificial para producir o modificar contenido del manuscrito.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Conceptualización: S. M. V.; Curación de datos: L. Q. S.; Análisis formal: R. O. D.; Investigación: S. M. V.; Administración del proyecto: S. M. V.; Recursos: L. Q. S.; Software: L. Q. S.; Supervisión: R. O. D. y S. C. Q.; Redacción del borrador original: S. M. V.; Redacción, revisión y edición: S. C. Q.

V. REFERENCIAS

- Abdi, G. G., Tola, Y. B., & Kuyu, C. G. (2024). Assessment of Physicochemical and Microbiological Characteristics of Honey in Southwest Ethiopia: Detection of Adulteration through Analytical Simulation. *Journal of Food Protection*, 87(1), 100194. <https://doi.org/10.1016/J.JFP.2023.100194>
- Alghamdi, B. A., Alshumrani, E. S., Saeed, M. S. Bin, Rawas, G. M., Alharthi, N. T., Baeshen, M. N., Helmi, N. M., Alam, M. Z., & Suhail, M. (2020). Analysis of sugar composition and pesticides using HPLC and GC-MS techniques in honey samples collected from Saudi Arabian markets. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3720–3726. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2020.08.018>
- Aljohar, H. I., Maher, H. M., Albaqami, J., Al-Mehaizie, M., Orfali, R., Orfali, R., & Alrubia, S. (2018). Physical and chemical screening of honey samples available in the Saudi market: An important aspect in the authentication process and quality assessment. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(7), 932–942. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2018.04.013>
- Arrieta González, A., De La Cruz Martínez, W. M., Guerra Ramírez, D., Silva Martínez, K. L., Domínguez Mancera, B., Domínguez Puerto, R., & Del Ángel Piña, O. (2024). Changes in physicochemical and antioxidant properties over one year of *Apis mellifera* honey. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i11.2950>
- Ávila, S. (2018). *Caracterización de la miel de abeja en la provincia de Imbabura*. Universidad

- Técnica del Norte.
- Banfi, E., Scialino, G., & Monti-Bragadin, C. (2025). Physicochemical properties, chemical composition, and against *Klebsiella pneumoniae* mechanism of *Scrophularia ningpoensis* honey. *LWT*, 228(5), 118157. <https://doi.org/10.1093/jac/dkg439>
- Basurto, L., & Condori, J. (2021). “Efecto del Suplemento Proteico y promotor L. en el Comportamiento de la Ovoposición (*Apis mellifera*) en el Distrito de Huancavelica.” Universidad Nacional de Huancavelica.
- Biluca, F. C., de Gois, J. S., Schulz, M., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Maltez, H. F., Rodrigues, E., Vitali, L., Micke, G. A., Borges, D. L. G., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2017). Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 63, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.039>
- Biratu, G., Woldemariam, H. W., & Gonfa, G. (2024). Development of active edible films from coffee pulp pectin, propolis, and honey with improved mechanical, functional, antioxidant, and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 8, 100557. <https://doi.org/10.1016/J.CARPTA.2024.100557>
- Bourais, I., Elmarkechy, S., Taha, D., Mourabit, Y., Bouyahya, A., El Yadini, M., Machich, O., El Hajjaji, S., El Boury, H., Dakka, N., & Iba, N. (2023). A Review on Medicinal Uses, Nutritional Value, and Antimicrobial, Antioxidant, Anti-Inflammatory, Antidiabetic, and Anticancer Potential Related to Bioactive Compounds of J. regia. *Food Reviews International*, 39(9), 6199–6249. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2094401>
- Boussaid, A., Chouaibi, M., Rezig, L., Hellal, R., Donsi, F., Ferrari, G., & Hamdi, S. (2018). Physicochemical and bioactive properties of six honey samples from various floral origins from Tunisia. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(2), 265–274. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2014.08.011>
- Codex Alimentarius. (1981). *International Food Standards, Standard for Honey, (Adopted in 1981, Revised in 1987, 2001. Amended in 2019).*
- Codex Alimentarius. (2001). *Codex standard for honey.* <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Costa dos Santos, A., Carina Biluca, F., Brugnerotto, P., Valdemiro Gonzaga, L., Carolina Oliveira Costa, A., & Fett, R. (2022). Brazilian stingless bee honey: Physicochemical properties and aliphatic organic acids content. *Food Research International*, 158, 111516. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111516>
- Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309–323. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.09.051>
- Da Silva, R. M., Junqueira, F., Filho, D. J. S., & Miyagi, P. E. (2016). Control architecture and design method of reconfigurable manufacturing systems. *Control Engineering Practice*, 49, 87–100. <https://doi.org/10.1016/J.CONENGPRAC.2016.01.009>
- Damto, T., Birhanu, T., & Zewdu, A. (2023). Physicochemical and antioxidant characterization of commercially available honey sample from Addis Ababa market, Ethiopia. *Heliyon*, 9(10), e20830. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E20830>
- De Sousa, J. M. B., de Souza, E. L., Marques, G., Benassi, M. de T., Gullón, B., Pintado, M. M., & Magnani, M. (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 645–651. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.08.058>
- Demir, E., Yuksek, T., Atamov, V., & Ozcelik, A. E. (2021). A comparison of the physicochemical properties of chestnut and highland honey: The case of Senoz Valley in the Rize province of Turkey.

- Food Chemistry*, 345, 128864. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128864>
- Dżugan, M., Grabek-Lejko, D., Swacha, S., Tomczyk, M., Bednarska, S., & Kapusta, I. (2020). Physicochemical quality parameters, antibacterial properties and cellular antioxidant activity of Polish buckwheat honey. *Food Bioscience*, 34, 100538. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100538>
- Escuredo, O., Chouza, M., Rodríguez-Flores, M. S., Diéguez-Antón, A., Míguez, M., & Seijo, M. C. (2025). Chemometric support for the botanical discrimination of honey from Northwest Spain: mineral composition and physicochemical properties. *Food Chemistry*, 492(3), 145412. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145412>
- Escuredo, O., Míguez, M., Fernández-González, M., & Carmen Seijo, M. (2013). Nutritional value and antioxidant activity of honeys produced in a European Atlantic area. *Food Chemistry*, 138(2–3), 851–856. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.11.015>
- Gámbaro, A., Ares, G., Giménez, A., & Pahor, S. (2007). PREFERENCE MAPPING OF COLOR OF URUGUAYAN HONEYS. *Journal of Sensory Studies*, 22(5), 507–519. <https://doi.org/10.1111/J.1745-459X.2007.00125.X>
- Gebeyehu, H. R., & Jalata, D. D. (2023). Physicochemical and mineral contents of honey from Fitcha and Addis Ababa districts in Ethiopia. *Food Chemistry Advances*, 2, 100177. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2022.100177>
- Gela, A., Hora, Z. A., Kebebe, D., & Gebresilassie, A. (2021). Physico-chemical characteristics of honey produced by stingless bees (*Meliponula beccarii*) from West Showa zone of Oromia Region, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1), e05875. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05875>
- González-Miret, M. L., Terrab, A., Hernanz, D., Fernández-Recamales, M. Á., & Heredia, F. J. (2005). Multivariate Correlation between Color and Mineral Composition of Honeys and by Their Botanical Origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2574–2580. <https://doi.org/10.1021/JF048207P>
- Granato, D., & Sávio, D. (2016). *Análises químicas, propriedades funcionais e controle de qualidade de alimentos e bebidas: uma abordagem teórico-prática*.
- Hassan, N. H., Manickavasagam, G., Althakafy, J. T., Saaïd, M., Adnan, R., Saad, B., & Wong, Y. F. (2023). Physicochemical properties, proline content and furanic compounds of stingless bee honey marketed in Malaysia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121, 105371. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2023.105371>
- Hossain, M. L., Lim, L. Y., Hammer, K., Hettiarachchi, D., & Locher, C. (2021). Honey-Based Medicinal Formulations: A Critical Review. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 5159, 11(11), 5159. <https://doi.org/10.3390/AP11115159>
- Hossain, Md. M., Barman, D. N., Rahman, Md. A., & Khandker, S. S. (2023). Carbohydrates in Honey. *Honey*, 32–45. <https://doi.org/10.1002/9781119113324.CH3>
- Hunter, M., Ghildyal, R., D'Cunha, N. M., Gouws, C., Georgousopoulou, E. N., & Naumovski, N. (2021). The bioactive, antioxidant, antibacterial, and physicochemical properties of a range of commercially available Australian honeys. *Current Research in Food Science*, 4, 532–542. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2021.08.002>
- Kamal, M. A., & Klein, P. (2011). Determination of sugars in honey by liquid chromatography. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18(1), 17–21. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2010.09.003>
- Karabagias, I. K., Badeka, A., Kontakos, S., Karabournioti, S., & Kontominas, M. G. (2014). Characterisation and classification of Greek pine honeys according to their geographical origin based on volatiles, physicochemical parameters and chemometrics. *Food Chemistry*, 146, 548–557. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.09.105>

- Kavanagh, S., Gunnoo, J., Marques Passos, T., Stout, J. C., & White, B. (2019). Physicochemical properties and phenolic content of honey from different floral origins and from rural versus urban landscapes. *Food Chemistry*, 272, 66–75. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.08.035>
- Khalil, M. I., Moniruzzaman, M., Boukraâ, L., Benhanifia, M., Islam, M. A., Islam, M. N., Sulaiman, S. A., & Gan, S. H. (2012). Physicochemical and Antioxidant Properties of Algerian Honey. *Molecules* 2012, Vol. 17, Pages 11199–11215, 17(9), 11199–11215. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES170911199>
- Klaithin, K., Chuttong, B., Hung, Y. T., Peng, C. C., Lin, J. A., Lin, C. F., Hongsihsong, S., Maithip, J., Danmek, K., Punthi, F., & Wu, M. C. (2026). Effect of bee species on the physicochemical, bioactive, and microbiological properties of longan honey in Thailand. *Journal of Food Composition and Analysis*, 151(11), 108998. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.108998>
- Lewoyehu, M., & Amare, M. (2019). Comparative Assessment on Selected Physicochemical Parameters and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Honey Samples from Selected Districts of the Amhara and Tigray Regions, Ethiopia. *International Journal of Food Science*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4101695>
- Liza, N., Lee, A.-R., Chua, S., Sarmidi, M. R., & Aziz, R. (2013). Physicochemical and radical scavenging activities of honey samples from Malaysia. *Agricultural Sciences*, 04(05), 46–51. <https://doi.org/10.4236/AS.2013.45B009>
- Ma, T., Zhao, H., Liu, C., Zhu, M., Gao, H., Cheng, N., & Cao, W. (2019). Discrimination of Natural Mature Acacia Honey Based on Multi-Physicochemical Parameters Combined with Chemometric Analysis. *Molecules* 2019, Vol. 24, Page 2674, 24(14), 2674. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24142674>
- Melaku, M., & Tefera, W. (2022). Physicochemical properties, mineral and heavy metal contents of honey in Eastern Amhara Region, Ethiopia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104829. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2022.104829>
- Mendes de Almeida, M., & Vargas, T. (1998). Avaliação das Qualidades do Mel por Medições Analíticas. In D. Granato & D. S. Nunes (Eds.), *Análises Químicas, Propriedades Funcionais e Controle de Qualidade de Alimentos e Bebidas Uma abordagem teórico - prática* (pp. 152–153). Elsevier.
- Mohamad, N. S., Yusof, Y. A., Mohd Ghazali, H., Chin, N. L., Othman, S. H., Manaf, Y. N., Chang, L. S., & Mohd Baroyi, S. A. H. (2021). Effect of surface area of clay pots on physicochemical and microbiological properties of stingless bee (*Geniotrigona thoracica*) honey. *Food Bioscience*, 40, 100839. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100839>
- Mohammed, M. E. A. (2022). Factors Affecting the Physicochemical Properties and Chemical Composition of Bee's Honey. *Food Reviews International*, 38(6), 1330–1341. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1810701;W-GROUP:STRING:PUBLICATION>
- Mulugeta, M., & Belay, A. (2022). Comb honey and processed honey of *Croton macrostachyus* and *Schefflera abyssinica* honey differentiated by enzymes and antioxidant properties, and botanical origin. *Heliyon*, 8(5), e09512. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09512>
- Nayik, G. A., Dar, B. N., & Nanda, V. (2019). Physico-chemical, rheological and sugar profile of different unifloral honeys from Kashmir valley of India. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 3151–3162. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2015.08.017>
- Nayik, G. A., Suhag, Y., Majid, I., & Nanda, V. (2018). Discrimination of high altitude Indian honey by chemometric approach according to their antioxidant properties and macro minerals. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 200–207. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2018.02.001>

- org/10.1016/J.JSSAS.2016.04.004
- Nicolson, S. W., Human, H., & Pirk, C. W. W. (2022). Honey bees save energy in honey processing by dehydrating nectar before returning to the nest. *Scientific Reports*, 12(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/S41598-022-20626-5>;SUB JMETA=158,443,631;KWRD=ECOLOGY, PHYSIOLOGY
- 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>
- Otmani, A., Amessis-Ouchemoukh, N., Birinci, C., Yahiaoui, S., Kolayli, S., Rodríguez-Flores, M. S., Escuredo, O., Seijo, M. C., & Ouchemoukh, S. (2021). Phenolic compounds and antioxidant and antibacterial activities of Algerian honeys. *Food Bioscience*, 42, 101070. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101070>
- Pauliuc, D., Dranca, F., & Oroian, M. (2020). Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, Individual Phenolics and Physicochemical Parameters Suitability for Romanian Honey Authentication. *Foods* 2020, Vol. 9, Page 306, 9(3), 306. <https://doi.org/10.3390/FOODS9030306>
- Rodríguez, G. E., Escuela, S., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2014). *Caracterización física, química y microbiológica de la miel de Melipona beecheii*. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/3375>
- Sawicki, T., Starowicz, M., Kłębukowska, L., & Hanus, P. (2022). The Profile of Polyphenolic Compounds, Contents of Total Phenolics and Flavonoids, and Antioxidant and Antimicrobial Properties of Bee Products. *Molecules* 2022, Vol. 27, Page 1301, 27(4), 1301. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27041301>
- Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., Abd. Razak, S. B., Jambari, N. N., Mian, Z., & Khatib, A. (2019). Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 238–263. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1576730>
- Shantal Rodríguez Flores, M., Escuredo, O., & Carmen Seijo, M. (2015). Assessment of physicochemical and antioxidant characteristics of *Quercus pyrenaica* honeydew honeys. *Food Chemistry*, 166, 101–106. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.06.005>
- Sharin, S. N., Abdullah Sani, M. S., Kassim, N. K., Yuswan, M. H., Abd Aziz, A., Jaafar, M. A., & Hashim, A. M. (2024). Impact of harvesting seasons on physicochemical properties and volatile compound profiles of Malaysian stingless bee honey analysed using chemometrics and support vector machine. *Food Chemistry*, 444, 138429. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.138429>
- 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, 128654. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128654>
- Smetanska, I., Alharthi, S. S., & Selim, K. A. (2021). Physicochemical, antioxidant capacity and color analysis of six honeys from different origin. *Journal of King Saud University - Science*, 33(5), 101447. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2021.101447>
- Syafiqah, S. N., Hanapi, M., Basari, N., Bahri, S., & Razak, A. (2023). POLLEN CALENDAR OF SIX STINGLESS BEE SPECIES AT TAMAN PERTANIAN SEKAYU, TERENGGANU. *Malaysian Journal of Microscopy*, 19(1), 1–17. <https://www.malaysianjournalofmicroscopy.org/ojs/index.php/mjm/article/view/620>
- Terrab, A., Recamales, A. F., Hernanz, D., & Heredia, F. J. (2004). Characterisation of Spanish thyme honeys by their physicochemical

- characteristics and mineral contents. *Food Chemistry*, 88(4), 537–542. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2004.01.068>
- Trisha, S., Mortuza, M. G., Rana, J., Islam, K. H., Ferdoush, Z., Antora, R. A., Akash, S. I., Aziz, M. G., & Uddin, M. B. (2023). Evaluation of the physicochemical qualities and antioxidant properties of some Bangladeshi varieties of honey: A comparative study. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100837. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100837>
- Tsagkaris, A. S., Koulis, G. A., Danezis, G. P., Martakos, I., Dasenaki, M., Georgiou, C. A., & Thomaidis, N. S. (2021). Honey authenticity: analytical techniques, state of the art and challenges. *RSC Advances*, 11(19), 11273–11294. <https://doi.org/10.1039/D1RA00069A>
- Tuberoso, C. I. G., Jerković, I., Sarais, G., Congiu, F., Marijanović, Z., & Kuš, P. M. (2014). Color evaluation of seventeen European unifloral honey types by means of spectrophotometrically determined CIE $L^*a^*b^*$ chromaticity coordinates. *Food Chemistry*, 145, 284–291. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.08.032>
- Vanhanen, L. P., Emmertz, A., & Savage, G. P. (2011). Mineral analysis of mono-floral New Zealand honey. *Food Chemistry*, 128(1), 236–240. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.02.064>
- Yanniotis, S., Skaltsi, S., & Karaburnioti, S. (2006). Effect of moisture content on the viscosity of honey at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 372–377. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2004.12.017>
- Yong, C. H., Muhammad, S. A., Aziz, F. A., Nasir, F. I., Mustafa, M. Z., Ibrahim, B., Kelly, S. D., Cannavan, A., & Seow, E. K. (2022). Detecting adulteration of stingless bee honey using untargeted ^1H NMR metabolomics with chemometrics. *Food Chemistry*, 368, 130808. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130808>