




Transformación y agroindustria

Artículo de investigación científica y tecnológica

Evaluación de características fisicoquímicas, compuestos fenólicos, contenido de minerales y color de mieles comerciales del Cauca (Colombia)

 Rubén Andrés Ortega-Bonilla^{1*},  Carlos Hernán Morales-Hormiga²,
 Diana María Chito-Trujillo¹

¹Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

²Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, Colombia.

*Autor de correspondencia: Universidad del Cauca. Edificio de los Laboratorios de Química, Laboratorio del Grupo de Investigación Biotecnología, Calidad Medioambiental y Seguridad Agroalimentaria (BICAMSA). Primer piso, carrera 2A 3N-111, Sector Tulcán. Popayán, Colombia. raortega@unicauca.edu.co

Editor temático: Guiomar Nates Parra (Universidad Nacional de Colombia)

Recibido: 09 de abril de 2020

Aprobado: 14 de octubre de 2020

Publicado: 08 de mayo de 2021

Para citar este artículo: Ortega-Bonilla, R. A., Morales-Hormiga, C. H., & Chito-Trujillo, D. M. (2021). Evaluación de características fisicoquímicas, compuestos fenólicos, contenido de minerales y color de mieles comerciales del Cauca (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e1894. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1894



Resumen

La producción de miel en Colombia es una actividad secundaria destinada principalmente al abastecimiento regional. A nivel nacional, el departamento del Cauca ocupa el séptimo lugar en producción de miel. La miel como alimento debe satisfacer las preferencias del consumidor y los criterios de calidad exigidos por la legislación para garantizar sus propiedades nutricionales y funcionales. Estas características se asocian a factores tales como origen botánico y geográfico, prácticas apícolas, entre otros. El origen geográfico de diferentes mieles se puede definir a partir de sus parámetros fisicoquímicos. En este trabajo se analizaron las características fisicoquímicas (acidez libre, pH, °Brix, cenizas, conductividad eléctrica, materia insoluble y humedad), el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), minerales, y el color (escala PFund y CIELab) de veinticuatro muestras de mieles comerciales adquiridas en seis municipios del departamento del Cauca (Colombia): Caldon, La Vega, Paispamba, Silvia, Timbío y Totoró. No todas las muestras cumplieron los requerimientos de la Norma Técnica Colombiana NTC-1273 para mieles florales, excepto las de Silvia, y alrededor del 20 % de las muestras mostró características de mieles de mielada. El color predominante en las mieles analizadas fue ámbar claro y ámbar, y se encontró una fuerte correlación entre los parámetros color expresado en mm PFund y CFT ($r = 0,9229$, $p < 0,05$). El análisis de componentes principales (ACP) permitió distinguir parcialmente las mieles de Paispamba, Silvia y Totoró a partir de sus parámetros fisicoquímicos y contenido mineral. Se sugiere el análisis de más muestras de miel para lograr una diferenciación por origen geográfico.

Palabras clave: análisis multivariante, calidad, miel, propiedades fisicoquímicas, valor nutricional

Evaluation of physicochemical characteristics, phenolic compounds, mineral content, and color of commercial honeys from Cauca (Colombia)

Abstract

Honey production in Colombia is a secondary activity mainly aimed at regional supply. At the national level, the Cauca department ranks seventh in production. Honey, like food, must satisfy consumer preferences and meet the quality criteria under the law to guarantee its nutritional and functional properties. These characteristics are associated with factors such as botanical and geographical origin, beekeeping practices, among others. The geographical origin of different honeys can be defined from their physicochemical parameters. This paper analyzes the physicochemical characteristics (free acidity, pH, °Brix, ash, electrical conductivity, insoluble matter, and moisture), the content of total phenolic compounds (TPC), minerals and color (Pfund and CIELab scales) of 24 samples of commercial honeys purchased in six municipalities in Cauca (Colombia): Caldono, La Vega, Paispamba, Silvia, Timbío and Totoró. Not all samples met the requirements of the NTC-1273 standard for floral honeys, except Silvia's, and about 20 % of the samples showed characteristics of honeydew honey. The predominant color in the honeys analyzed was light amber and amber, and a strong correlation between color expressed as mm Pfund and TPC was found ($r = 0.9229$, $p < 0.05$). Principal Component Analysis (PCA) partially distinguished the honeys from Paispamba, Silvia, and Totoró based on the evaluated physicochemical parameters and mineral content. We suggest the analysis of a more significant number of honey samples to achieve differentiation by geographic origin.

Keywords: honey, multivariate analysis, nutritional value, physicochemical properties, quality

Introducción

La inclusión de la miel como un alimento nutritivo en la dieta de los seres humanos es un hecho histórico que se mantiene hasta nuestros días por considerarse un excepcional endulzante natural (Crane, 1975, citado por Bogdanov et al., 2008); además, representa una excelente fuente de energía para deportistas y niños (Bogdanov et al., 2008), y en pequeñas cantidades se puede adicionar como ingrediente de dietas saludables y balanceadas (Bobiş et al., 2018; Chepulis et al., 2009). La miel se reconoce como una solución acuosa compuesta por más de 200 sustancias (Ferreira et al., 2009), sobresaturada de diferentes mono y polisacáridos, entre los que predominan la glucosa y fructosa en un $\approx 95\%$ (Al-Farsi et al., 2018, citado por Sakač et al., 2019), y minoritariamente otros constituyentes tales como minerales, proteínas, compuestos fenólicos, enzimas, vitaminas, ácidos orgánicos y pigmentos (Crane, 1975, citado por Bogdanov et al., 2008).

La literatura reporta que las propiedades promotoras de la salud (por ejemplo: prevención y tratamiento de desórdenes gástricos y cardiovasculares, disminución de los efectos fisiológicos por hepatitis y terapias de radiación por cáncer) se logran a través de dosis entre 50 y 80 g por ingesta de miel (Bogdanov et al., 2008). Sin embargo, se debe considerar que la composición, la preferencia de consumo y los diferentes efectos biológicos de la miel se asocian a varios factores, principalmente a la fuente floral en el área de producción y tipo de néctar (origen botánico); al tipo de suelo y las condiciones medioambientales (origen geográfico), y a las prácticas apícolas y de manufactura que desarrolle el apicultor (Silva et al., 2017).

Numerosos autores proponen la determinación de parámetros fisicoquímicos como marcadores útiles para definir el origen geográfico de diferentes mieles; entre ellos se destacan el pH, el contenido de azúcares, la acidez, las cenizas, la conductividad eléctrica (CE), el contenido de minerales y el color (Đogo et al., 2020; Laaroussi et al., 2020; Sakač et al., 2019; Scholz et al., 2020).

El color de la miel es el principal atributo que el consumidor emplea para determinar su preferencia y aceptación, y se define por los pigmentos (carotenoides, xantofilas y flavonoides) presentes en el néctar y el polen recogido por la abeja (Ciappini et al., 2013; Kirk, 2018), y el tipo de minerales (metales) contenidos en la miel capaces de formar complejos coloreados con los ácidos orgánicos también presentes (Harris, 2014 citado por Sakač et al., 2019). A nivel mundial, las preferencias del color de las mieles se enmarcan en un rango amplio de tonalidades que van desde el blanco agua hasta el ámbar oscuro según la escala PFund (White, 1984), dado que para la visión del humano los atributos perceptivos difieren cualitativamente de una persona a otra (Al-Rasheed, 2015).

En mieles florales, los minerales proceden directamente del suelo y representan un bajo porcentaje de su composición ($< 0,2\%$) (Silva et al., 2017). El metal más representativo es el potasio (K) y lo preceden sodio (Na), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Algunos microelementos como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) también están presentes en niveles intermedios o traza. En función del manejo agroecológico del suelo, además, es posible identificar la presencia de metales tóxicos, tales como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), mercurio (Hg) y cromo (Cr) (De Andrade et al., 2014; Đogo et al., 2020; Laaroussi et al., 2020; Rosa et al., 2015; Sakač et al., 2019).

Las condiciones geográficas y climáticas favorecen la producción apícola en Colombia (Chamorro-García et al., 2013; Chamorro et al., 2017; Salamanca et al., 2017; Zuluaga et al., 2014). Las cifras sectoriales más recientes reportan una producción anual de miel de 3.372 toneladas (t) de producción en el 2018 y un incremento de 28 % en los últimos 10 años; el departamento del Cauca se posiciona como el séptimo productor a nivel nacional (136 t) (Consejo Nacional CPAA & Comités Departamentales, 2018).

En Colombia se producen diferentes tipos de miel (Chamorro et al., 2017; Nates-Parra et al., 2013; Ortega-Bonilla et al., 2016); sin embargo, la mayoría no se ha caracterizado. Por eso, el objetivo de este estudio fue evaluar parámetros fisicoquímicos de muestras de miel comerciales adquiridas en seis municipios del departamento del Cauca. En veinticuatro mieles cosechadas en 2015 y 2016 se analizaron las siguientes características: acidez libre, cenizas, contenido de fenoles totales, CE, °Brix, humedad, material insoluble, pH, contenido de macro y microminerales y color instrumental (Escala PFund y CIElab).

Materiales y métodos

Muestras

Se adquirieron veinticuatro muestras de mieles comerciales cosechadas en 2015 y 2016 en los municipios de Caldon, La Vega, Paispamba (cabecera municipal de Sotará), Silvia y Totoró a través de la Cooperativa de Apicultores del Cauca (Cooapica). Las muestras se almacenaron a 20 °C y en ausencia de luz solar hasta los análisis.

Análisis fisicoquímicos

pH, CE, acidez libre y materia insoluble

Estos parámetros se determinaron por aplicación de los métodos propuestos por Bogdanov (2002). Se midió el pH de soluciones acuosas de miel (10 g/75 mL) con un electrodo combinado, equipado a un pH-metro (Mettler Toledo®), así como también se midió la CE a 20 °C usando un conductivímetro (Bante®, modelo DDS-12DW); los resultados se expresaron en miliSiemens por centímetro (mS/cm). La acidez libre se estimó a partir de una titulación ácido-base. La solución acuosa de miel se tituló con NaOH 0,1 N en presencia de fenolftaleína hasta alcanzar un pH de 8,3. Los resultados se expresaron en miliequivalentes de ácido/kg de miel (meq/kg) (Bogdanov, 2002). La determinación de la materia insoluble se basó en el aumento de peso que experimenta un crisol con poros finos (15-40 micras) después de filtrar una solución de miel (20 g de miel y 200 mL de agua) y de mantenerlo en un horno a 135 °C durante una hora; posteriormente, el crisol se enfrió en desecador y se pesó hasta lograr peso constante. El resultado se expresó como gramos de materia insoluble por 100 gramos de miel (%).

Humedad, grados Brix (°Brix) y cenizas

La humedad y los °Brix se determinaron por refractometría (Brixco ATC, Modelo 3090) a 20 °C, a partir de la lectura que registró el equipo una vez se dispusieron un par de gotas de la muestra de miel en el prisma del equipo. Las cenizas se calcularon a partir del peso del residuo inorgánico remanente después de carbonizar la muestra a 600 °C hasta peso constante (Terrígeno, Modelo F2ACP); los resultados se expresaron en gramos de cenizas totales por 100 gramos de miel (%) (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1990).

Compuestos fenólicos totales (CFT)

Estos compuestos se determinaron por medio de análisis espectrofotométrico empleando el método de Folin-Ciocalteu propuesto por Singleton y Rossi (1965) con algunas modificaciones. Se mezcló un volumen de 1 mL de solución de miel (0,1 g/10 mL) con 2 mL de reactivo fenólico Folin-Ciocalteu 2 N y 8 mL de solución de Na₂CO₃ 0,7 M. La mezcla de reacción se incubó por 2 horas en la oscuridad a una temperatura de 20,0 ± 0,2 °C, y la absorbancia se midió a 764 nm. El contenido total de cada muestra se expresó como miligramos de ácido gálico equivalente/100 g de miel (mg AGE/100 g).

Contenido de minerales

Los elementos minerales se obtuvieron por el método de calcinación usando espectroscopia de absorción atómica (EAA) con llama (Thermo Electron Corporation, Serie S4 AA System), con todos los parámetros de longitud de onda, ancho de banda y flujo de gas establecidos por el fabricante para Na (589,0 nm, 0,2 nm y 1,1 L/min, respectivamente), K (766,5 nm, 0,5 nm y 1,2 L/min, respectivamente), Mn (279,5 nm, 0,2 nm y 1,1 L/min, respectivamente), Fe (248,3 nm, 0,2 nm y 1,0 L/min, respectivamente), Ca (422,7 nm, 0,5 nm y 4,0 L/min, respectivamente), Zn (213,9 nm, 0,2 nm y 1,0 L/min, respectivamente), Pb (217 nm, 0,5 nm y 1,1 L/min, respectivamente) y Cu (324,8 nm, 0,5 nm y 1,0 L/min, respectivamente). Se añadieron 5 mL de ácido nítrico 1 N a las cenizas obtenidas de cada muestra de miel; después, la mezcla se agitó hasta disolución total y se filtró a través de una membrana de nitrocelulosa de 0,45 µm.

El filtrado con sus respectivos lavados acuosos se transfirió a un matraz aforado de 50 mL para la determinación de macroelementos (o de 10 mL para microelementos), donde se aforó con agua ultrapura y se almacenó a 4 °C hasta su posterior análisis. Para su análisis se utilizó una llama de aire/acetileno (u óxido nitroso/acetileno para el análisis de Ca) como vapor de arrastre y lámparas de cátodo hueco unimetal de Na, K, Mn, Fe, Ca, Zn, Pb y Cu. La determinación cuantitativa se realizó por medio del método de curva de calibración externa que se elaboró a partir de, al menos, cinco soluciones estándar con diferente concentración de cada metal, preparadas a partir del estándar de 1.000 ppm en HNO₃ 0,5 M. Se utilizaron curvas de calibración dentro de un rango lineal (R > 0,998). Todas las muestras fueron analizadas por triplicado.

Evaluación del color

La evaluación del color se realizó por el método espectrofotométrico a partir de la medición de los parámetros de la escala CIELab y la escala Pfund. Los parámetros de color y luminosidad (L^*) a^* y b^* se determinaron utilizando un espectrofotómetro (Macherey Nagel, Nanocolor). El valor a^* varía de rojo (positivo) a verde (negativo), y el valor b^* varía de amarillo (positivo) a azul (negativo) (Anupama et al., 2003). La medición espectrofotométrica de solución de miel al 50 % (m/v) se realizó en el mismo equipo con lectura de absorbancia a 635 nm. La absorbancia obtenida se usó para estimar el color en mmPfund por aplicación del siguiente algoritmo: $\text{mmPfund} = -38,7 + 371,39 \times \text{absorbancia}$, y la escala Pfund establecida por White (1984). Las mediciones de color en las mieles analizadas se realizaron por triplicado.

Estadística

Los resultados se expresaron como valor promedio (\bar{X}) \pm desviación estándar (SD) de los análisis por triplicado para todas las mediciones. Las variaciones en los parámetros observados entre las muestras se analizaron a través del análisis de varianza (ANOVA) y las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos por medio de los coeficientes de correlación de Pearson (r) a un nivel de significancia de 95 % ($p < 0,05$). El análisis de componentes principales (ACP) se utilizó para estudiar las posibles correlaciones entre las variables medidas. Todos los datos se procesaron estadísticamente utilizando el *software* XLSTAT, versión 2014.5.03 (Addinsoft Inc., New York, N.Y, USA).

Resultados y discusión

Diferentes tipos de miel se producen anualmente en Colombia, en donde la producción de miel aún es una práctica secundaria y artesanal en varias regiones y que va en aumento (Consejo Nacional CPAA & Comités Departamentales, 2018; Erasso-Arango & Montoya, 2013; Salamanca et al., 2017). En este contexto, es importante examinar las diferentes mieles existentes en Colombia para promover los procesos de calidad en su producción y favorecer aspectos de comercialización relacionados con su composición.

La tabla 1 reúne las mediciones de acidez libre, cenizas, contenido de fenoles totales, conductividad eléctrica, °Brix, humedad, material insoluble y pH en cuatro muestras de miel procedentes de los municipios de Caldono (C), La Vega (LV), Paispamba (P), Silvia (S), Timbío (Ti) y Totoró (To).

Tabla 1. Características fisicoquímicas de las mieles comerciales analizadas del Cauca, Colombia.

| Municipio | | Acidez libre (meq/kg) | Cenizas (%) | CFT (mg AGE/100 g) | CE (mS/cm) * | °Brix | Humedad (%) | Materia insoluble (%) | pH |
|---|--------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Caldono (n = 4) | X ± SD | 43,21 ± 4,52 ^{abc} | 0,17 ± 0,01 ^{bc} | 28,15 ± 0,54 ^{bc} | 0,80 ± 0,04 ^a | 79,8 ± 0,5 ^{ab} | 18,93 ± 0,59 ^{bc} | 0,06 ± 0,01 ^b | 4,25 ± 0,16 ^{bc} |
| | Mín. | 36,50 | 0,16 | 27,64 | 0,75 | 79,3 | 18,43 | 0,05 | 4,05 |
| | Máx. | 46,33 | 0,18 | 28,78 | 0,85 | 80,2 | 19,60 | 0,07 | 4,45 |
| Muestras que exceden límites [§] | | 0 | - | - | 2 | - | 0 | 0 | - |
| La Vega (n = 4) | X ± SD | 58,17 ± 13,58 ^a | 0,23 ± 0,07 ^{ab} | 35,76 ± 6,84 ^a | 0,80 ± 0,14 ^a | 79,3 ± 0,9 ^b | 19,93 ± 0,15 ^b | 0,05 ± 0,01 ^b | 3,83 ± 0,20 ^{cd} |
| | Mín. | 45,00 | 0,17 | 28,40 | 0,65 | 78,5 | 18,57 | 0,05 | 3,64 |
| | Máx. | 71,33 | 0,31 | 43,66 | 0,97 | 80,0 | 20,10 | 0,06 | 4,10 |
| Muestras que exceden límites [§] | | 2 | - | - | 2 | - | 2 | 0 | - |
| Paispamba (n = 4) | X ± SD | 53,92 ± 10,16 ^{ab} | 0,19 ± 0,03 ^{abc} | 29,69 ± 1,47 ^{abc} | 0,61 ± 0,02 ^b | 80,6 ± 0,3 ^a | 17,93 ± 0,00 ^c | 0,07 ± 0,00 ^a | 3,70 ± 0,21 ^d |
| | Mín. | 47,83 | 0,17 | 28,29 | 0,60 | 80,2 | 17,93 | 0,07 | 3,43 |
| | Máx. | 69,00 | 0,22 | 31,28 | 0,64 | 80,7 | 17,93 | 0,07 | 3,92 |
| Muestras que exceden límites [§] | | 2 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Silvia (n = 4) | X ± SD | 35,50 ± 3,82 ^{bc} | 0,12 ± 0,04 ^c | 25,92 ± 1,84 ^c | 0,65 ± 0,00 ^{ab} | 76,7 ± 0,2 ^c | 19,93 ± 0,15 ^a | 0,06 ± 0,00 ^{ab} | 4,51 ± 0,17 ^b |
| | Mín. | 31,00 | 0,06 | 23,57 | 0,65 | 76,4 | 19,70 | 0,06 | 4,29 |
| | Máx. | 38,67 | 0,16 | 28,07 | 0,65 | 76,8 | 20,00 | 0,06 | 4,70 |
| Muestras que exceden límites [§] | | 0 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Timbío (n = 4) | X ± SD | 55,54 ± 10,19 ^a | 0,20 ± 0,02 ^{abc} | 30,41 ± 0,79 ^{abc} | 0,62 ± 0,03 ^b | 79,2 ± 0,0 ^b | 19,43 ± 0,00 ^b | 0,06 ± 0,00 ^{ab} | 3,68 ± 0,23 ^d |
| | Mín. | 49,17 | 0,17 | 29,30 | 0,60 | 79,2 | 19,43 | 0,06 | 3,38 |
| | Máx. | 70,67 | 0,23 | 31,13 | 0,67 | 79,2 | 19,43 | 0,06 | 3,92 |
| Muestras que exceden límites [§] | | 2 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Totoró (n = 4) | X ± SD | 25,38 ± 5,86 ^c | 0,27 ± 0,02 ^a | 32,79 ± 1,34 ^{ab} | 0,78 ± 0,11 ^{ab} | 80,7 ± 0,8 ^a | 17,93 ± 0,77 ^c | 0,05 ± 0,01 ^b | 5,05 ± 0,38 ^a |
| | Mín. | 20,33 | 0,25 | 31,68 | 0,70 | 80,0 | 17,27 | 0,05 | 4,55 |
| | Máx. | 33,33 | 0,29 | 34,74 | 0,95 | 81,3 | 18,60 | 0,06 | 5,41 |
| Muestras que exceden límites [§] | | 0 | - | - | 1 | - | 0 | 0 | - |

Nota. Valores promedios en la misma columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$) por la prueba de rango múltiple de Tukey. Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo; *Parámetro comparado con los límites definidos en Codex Alimentarius Commission (2001); §Límites establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC-1273 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2007).

Fuente: Elaboración propia

Por naturaleza, la miel es ácida debido a la coexistencia de ácidos orgánicos, lactonas, ésteres, vitamina C y proteínas que tienen la capacidad de donar H⁺ al medio (Álvarez-Suárez et al., 2018; Karabagias et al., 2018; Sakač et al., 2019). La acidez libre, en particular, se debe a la presencia de ácido glucónico, derivado de la actividad de la glucosa oxidasa (GOx) durante la extracción de la miel y la conversión de glucosa (Đogo et al., 2020), que puede estar en equilibrio con sus lactonas o ésteres internos correspondientes, y también a la presencia de algunos iones inorgánicos, como fosfato, sulfato y cloruro (Silva et al., 2020).

Tanto la acidez libre como el pH son parámetros útiles para identificar el grado de deterioro de las mieles y el desarrollo de procesos fermentativos no deseados, dado que afectan la textura, estabilidad y vida útil de la miel (Silva et al., 2017). Los valores de pH y acidez libre de las muestras analizadas en este trabajo varían de 3,38 (Ti) a 5,41 (To) y 20,33 (To) a 71,33 (LV) meq/kg, respectivamente. Además, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras según su origen.

Los valores de pH son similares a los estimados en mieles comerciales colombianas (Aguas et al., 2010; Méndez et al., 2010; Ortega-Bonilla et al., 2016; Salamanca et al., 2017) y en mieles multiflorales (Álvarez-Suárez et al., 2018; Ciulu et al., 2018; Đogo et al., 2020; Džugan et al., 2020; Fernandes et al., 2020; Laaroussi et al., 2020; Sakač et al., 2019; Scholz et al., 2020). Al ser valores menores de 7,3, se consideran aceptables para evitar la proliferación de microorganismos (Sakač et al., 2019). Estas variaciones de pH se deben a múltiples factores, en particular al origen geográfico y botánico, así como a las condiciones climáticas (Acquarone et al., 2007).

La acidez libre del 75 % de las muestras cumplió el requerimiento exigido por la legislación nacional y mundial (50,00 meq/kg) (Codex Alimentarius Commission, 2001; Icontec, 2007). Los niveles detectados en un par de muestras procedentes de LV, P y T no satisfacen el límite permitido, indicando que en estas mieles evolucionan procesos de fermentación asociados a un manejo inadecuado en el apiario, en los que la transformación del alcohol aumenta los niveles de ácido. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Méndez et al. (2010) para mieles comerciales colombianas, quienes encontraron niveles de 150,5 meq/kg.

Con respecto a la humedad, el valor límite permitido es de 20 % y es un parámetro que se relaciona con la preservación y almacenamiento de la miel. Dos de las muestras procedentes de LV superan ligeramente este límite, hecho que se asocia con el fenómeno de fermentación identificado a partir de la acidez libre. En general, la humedad de las mieles oscila entre 17,9 y 20,0 %.

Los valores de °Brix, indicadores del contenido de azúcares en las muestras estudiadas (76,4-81,3), son comparables a los reportados para mieles colombianas (77,4-80,0) (Méndez et al., 2010; Salamanca et al., 2017) y de otros países (73,8-83,4) (Silva et al., 2017).

Todas las muestras cumplieron los requerimientos normativos definidos para los porcentajes de materia insoluble (< 0,1 %) y cenizas (< 0,6 %). Este último parámetro evidenció diferencias significativas entre las muestras y el origen, reiterando la importancia y diferencias del tipo de suelo, condiciones edafoclimáticas y diversidad geográfica de las zonas donde las abejas colectan el néctar (Laaroussi et al.,

2020). En promedio, el nivel más bajo se observó en las muestras procedentes de S y los más altos en To y LV; estos últimos fueron muy cercanos a los reportados por Salamanca et al. (2017).

La conductividad eléctrica (CE) es una medida aproximada de la concentración de sales minerales o cenizas, ácidos orgánicos y proteínas contenidos en la miel, y permite discriminar el origen floral de la muestra a partir de valores $< 0,8$ mS/cm (Bogdanov, 2007). Las mieles de P, S, Ti y tres muestras de To mostraron valores menores a lo regulado por el Codex Alimentarius Commission (2001), lo que indica que estas muestras corresponden a mieles de flores o néctar, mientras que las cinco muestras restantes (C, LV, To) deberían ser consideradas miel de mieladas. En términos generales se observó una significativa correlación entre CE y cenizas ($r = 0,4929$, $p < 0,05$), y entre CE y compuestos fenólicos totales (CFT) ($r = 0,5382$, $p < 0,05$).

El contenido promedio de los CFT en las muestras evaluadas osciló entre 25,92 y 35,76 mg AGE/100 g. Los valores encontrados en este trabajo son congruentes con los reportados por Ortega-Bonilla et al. (2016) y Salamanca et al. (2017) para mieles de Colombia (12,9-157,0 mg AEG/100 g). Estos metabolitos proceden directamente desde el néctar y el polen, e indican la potencial actividad antioxidante que tiene la miel (Gašić et al. 2014; Pauliuc et al., 2020).

El contenido de macro y microelementos en la miel proviene de diferentes fuentes, principalmente del suelo donde crecen las plantas que luego las abejas visitan para coleccionar su alimento (Da Silva et al., 2016). Por otra parte, a la miel se le pueden incorporar metales tóxicos como Al, Cd, Cr, Fe, Pb, Mn, producto de procesos de contaminación en el hábitat de las abejas, poco control en el procesamiento e incluso por liberación desde contenedores metálicos empleados para su almacenamiento (Đogo et al., 2020). Debido a que estos elementos pueden estar biodisponibles para el humano y afectar la calidad y seguridad de este producto, es importante monitorear su presencia en las muestras estudiadas. En la tabla 2 se muestra el contenido promedio de cada mineral analizado en las 24 muestras de miel.

Las muestras procedentes de LV y To mostraron las mayores cantidades de minerales totales (882,20 y 875,02 mg/kg muestra) mientras que las de Si las de menores concentraciones (259,07 mg/kg muestra). Por los rangos de concentración determinados se podría inferir que las mieles analizadas son de origen floral por ser comparables con los reportados en trabajos previos (Monggudal et al., 2018; Sakač et al., 2019; Silva et al., 2017). El metal que cuantitativamente contribuyó más al contenido total de minerales fue K ($\approx 77\%$), como lo reportan otros autores para mieles florales de otros países (Đogo et al., 2020; Imtara et al., 2018; Kolayli et al., 2018; Laaroussi et al., 2020; Sakač et al., 2019; Silva et al., 2020), seguido por Na ($\approx 11\%$), Ca ($\approx 11\%$) y por los microminerales con una contribución mínima ($< 1\%$).

El Pb no se detectó; sin embargo, los niveles de K, Ca y Zn de las mieles colombianas analizadas en este trabajo están por debajo de los niveles reportados para mieles de Portugal (Silva et al., 2020) y Palestina (Imtara et al., 2018) (812-2558 mg/kg, 63-376 mg/kg y 0,13-25,20 mg/kg, respectivamente). Por su parte, los niveles de Zn y Fe superan los encontrados en mieles de Portugal, Marruecos (Laaroussi et al., 2020) y Serbia (Sakač et al., 2019), en al menos el doble (0,13-4,02 mg/kg y 0,03-3,07 mg/kg, respectivamente), al igual que los de Cu respecto a las mieles de Palestina, Portugal y Marruecos (0,05-1,53 mg/kg); esto se

puede explicar por la prevalencia de estos minerales en suelos ácidos como los del departamento del Cauca (Muñoz et al., 2014).

Los niveles de Mn son comparables con los de mieles portuguesas (3,93-8,75 mg/kg). Se establecieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras y el origen para los diferentes metales, excepto para Zn. Estos resultados demuestran el valor nutricional que supone el consumo de este tipo de mieles, incluso si se considera la contribución de Zn, Cu y Mn, dado que no superan los niveles permisibles por día para un humano (Nordberg, 2012), pero en conjunto con el Fe garantizan el desarrollo de procesos fisiológicos básicos.

Tabla 2. Contenido de minerales de las mieles comerciales analizadas del Cauca, Colombia (mg/kg muestra).

| Municipio | | Macrominerales | | | Microminerales | | | |
|----------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | Ca | K | Na | Cu | Fe | Mn | Zn |
| Caldono (n = 4) | X ± SD | 72,67 ± 3,44 ^{abc} | 398,03 ± 33,86 ^b | 71,31 ± 5,26 ^{ab} | 0,58 ± 0,35 ^b | 1,83 ± 0,08 ^c | 0,42 ± 0,12 ^c | 3,99 ± 1,84 ^a |
| | Mín. | 69,78 | 365,72 | 66,42 | 0,26 | 1,77 | 0,32 | 2,40 |
| | Máx. | 76,88 | 429,76 | 78,63 | 0,89 | 1,95 | 0,54 | 5,58 |
| La Vega (n = 4) | X ± SD | 80,22 ± 50,71 ^{ab} | 680,81 ± 137,35 ^a | 111,61 ± 30,41 ^a | 0,75 ± 0,23 ^b | 1,95 ± 0,09 ^c | 2,38 ± 0,73 ^a | 4,48 ± 3,28 ^a |
| | Mín. | 36,38 | 559,50 | 86,94 | 0,50 | 1,82 | 1,62 | 1,77 |
| | Máx. | 131,75 | 824,40 | 149,65 | 1,06 | 2,02 | 3,03 | 8,47 |
| Paispamba (n = 4) | X ± SD | 101,09 ± 5,89 ^a | 536,35 ± 34,92 ^{ab} | 62,12 ± 9,10 ^{ab} | 0,63 ± 0,11 ^b | 5,78 ± 0,37 ^a | 0,89 ± 0,08 ^{bc} | 1,52 ± 0,38 ^a |
| | Mín. | 97,31 | 502,13 | 53,89 | 0,51 | 5,28 | 0,82 | 1,21 |
| | Máx. | 109,79 | 580,81 | 72,42 | 0,77 | 6,16 | 0,97 | 2,03 |
| Silvia (n = 4) | X ± SD | 30,36 ± 4,55 ^c | 206,21 ± 13,27 ^c | 8,72 ± 0,62 ^b | 2,68 ± 0,28 ^a | 5,86 ± 0,15 ^a | 1,20 ± 0,22 ^b | 4,05 ± 0,61 ^a |
| | Mín. | 24,46 | 190,65 | 7,87 | 2,32 | 5,68 | 0,93 | 3,23 |
| | Máx. | 35,20 | 222,02 | 9,28 | 2,97 | 6,00 | 1,45 | 4,67 |
| Timblo (n = 4) | X ± SD | 47,92 ± 0,98 ^{bc} | 611,43 ± 8,39 ^a | 81,25 ± 3,11 ^{ab} | 0,49 ± 0,06 ^b | 1,22 ± 0,14 ^c | 1,48 ± 0,18 ^b | 1,64 ± 0,15 ^a |
| | Mín. | 47,03 | 601,00 | 77,83 | 0,40 | 1,07 | 1,28 | 1,48 |
| | Máx. | 48,93 | 621,45 | 85,30 | 0,55 | 1,41 | 1,72 | 1,83 |
| Totoró (n = 4) | X ± SD | 57,32 ± 16,36 ^{abc} | 665,74 ± 68,21 ^a | 142,11 ± 94,28 ^a | 1,07 ± 0,52 ^b | 3,23 ± 1,32 ^b | 1,51 ± 0,26 ^b | 4,04 ± 3,08 ^a |
| | Mín. | 38,63 | 587,10 | 84,31 | 0,60 | 1,83 | 1,14 | 1,83 |
| | Máx. | 78,02 | 725,21 | 282,67 | 1,67 | 4,53 | 1,73 | 8,45 |

Nota. Valores promedios en la misma columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$) por la prueba de rango múltiple de Tukey. Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo.

Fuente: Elaboración propia

El color de la miel es una de las características de referencia que emplea el consumidor para valorar su calidad (Erasso-Arango & Montoya, 2013). En este trabajo se valoró el color instrumental a través de las escalas PFund y CIELab. La tabla 3 ilustra los parámetros que se midieron en las muestras. De acuerdo con los promedios en la escala PFund, el color de las muestras de miel se clasifica en dos categorías y

explica la variabilidad que se observa entre muestras: la primera, ámbar claro, varió entre 68,10 y 84,47 mm PFund y abarca las mieles de C, P y S; la segunda categoría, ámbar, incluye las mieles de Ti, To y LV. No obstante, los valores mm PFund en las muestras de LV arrojan una desviación estándar alta (18 %), debido a que una de las muestras registró un valor mm PFund para el color ámbar claro, dos muestras para el color ámbar y una muestra para el color ámbar oscuro.

Estos resultados se asocian con el contenido total de minerales; es decir, la muestra con color ámbar claro (73,41 mm PFund) corresponde a la que contiene menos minerales (695,9 mg/kg) (Sakač et al., 2019), y sugieren que las abejas productoras de las muestras analizadas de este municipio no colectaron su néctar en zonas con condiciones edafoclimáticas similares. También se debe considerar que el color de la miel está influenciado por las condiciones de almacenamiento: largos periodos de almacenamiento o procesos de calentamiento de la miel favorecen la formación de melanoidinas y oscurecimiento (Imtara et al., 2018; Laaroussi et al., 2020).

Tabla 3. Parámetros del color instrumental de las mieles comerciales de Cauca, Colombia analizadas

| Municipio | | Parámetros CIELab | | | Método PFund | |
|----------------------|--------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| | | L* | a* | b* | PFund (mm) | Color |
| Caldono (n = 4) | X ± SD | 74,19 ± 1,17 ^{ab} | 10,65 ± 0,62 ^{bc} | 37,52 ± 1,67 ^a | 75,68 ± 5,08 ^b | Ámbar claro |
| | Mín. | 72,53 | 10,23 | 36,50 | 72,05 | |
| | Máx. | 75,27 | 11,57 | 40,00 | 83,21 | |
| La Vega (n = 4) | X ± SD | 69,81 ± 4,67 ^{bc} | 11,70 ± 1,40 ^{ab} | 40,98 ± 2,59 ^a | 93,55 ± 16,97 ^a | Ámbar claro |
| | Mín. | 63,67 | 9,60 | 39,13 | 73,41 | Ámbar |
| | Máx. | 75,03 | 12,53 | 44,80 | 114,74 | Ámbar oscuro |
| Paispamba (n = 4) | X ± SD | 71,08 ± 1,48 ^{bc} | 11,97 ± 0,47 ^{ab} | 40,41 ± 0,94 ^a | 81,14 ± 3,17 ^{ab} | Ámbar claro |
| | Mín. | 69,32 | 11,57 | 39,53 | 78,10 | |
| | Máx. | 72,53 | 12,60 | 41,72 | 84,47 | |
| Silvia (n = 4) | X ± SD | 76,24 ± 0,76 ^a | 9,18 ± 0,17 ^c | 38,25 ± 1,04 ^a | 69,43 ± 1,55 ^b | Ámbar claro |
| | Mín. | 75,27 | 9,07 | 37,10 | 68,10 | |
| | Máx. | 76,87 | 9,43 | 39,15 | 71,39 | |
| Timbio (n = 4) | X ± SD | 71,18 ± 0,82 ^{bc} | 12,26 ± 0,41 ^a | 42,09 ± 3,58 ^a | 85,50 ± 0,79 ^{ab} | Ámbar |
| | Mín. | 70,17 | 11,87 | 36,77 | 85,00 | |
| | Máx. | 72,17 | 12,83 | 44,27 | 86,65 | |
| Totoró (n = 4) | X ± SD | 69,35 ± 0,94 ^c | 11,58 ± 0,48 ^{ab} | 41,06 ± 1,26 ^a | 93,04 ± 3,81 ^a | Ámbar |
| | Mín. | 68,10 | 10,97 | 39,63 | 88,94 | |
| | Máx. | 70,20 | 12,13 | 42,67 | 97,20 | |

Nota. Valores promedios en la misma columna seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$) por la prueba de rango múltiple de Tukey. X: promedio; SD: desviación estándar; Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo.

Fuente: Elaboración propia

El color se afecta igualmente por el contenido de compuestos fenólicos, hecho que se evidencia en una positiva y significativa correlación que se obtuvo entre el color y el CFT ($r = 0,9229$, $p < 0,05$). Debido a la capacidad que tiene este tipo de compuestos para formar complejos coloreados con algunos metales (Sakač et al., 2019), las mieles con mayor contenido de CFT tienden a ser más oscuras, como es el caso de las muestras de LV, Ti y To.

Las mediciones en la escala CIELab muestran que el valor promedio de la luminosidad (L^*) de las muestras de miel de Si fue el más alto (76,24), lo que indica que es la miel más brillante, mientras que las de To y LV fueron las más oscuras, con L^* de 69,35 y 69,81, respectivamente. El tono rojo estuvo presente en todas las muestras (valor positivo de a^*), pero predominó en las mieles de LV, P y To. El tono amarillo (valor positivo de b^*) no presentó diferencias significativas en las mieles según el origen.

Para analizar las similitudes de las muestras de miel colectadas desde diferentes municipios del departamento del Cauca, se aplicó el ACP a través de la representación de los parámetros encontrados y las diferentes muestras en un diagrama de dos dimensiones. En la figura 1 se muestra la proyección de los parámetros fisicoquímicos, minerales y de color de todas las muestras de miel en el plano compuesto por los dos ejes principales F1 y F2 que representan el 62,2 % del total de la varianza. CFT, cenizas, color expresado en mm PFund, K, Na, °Brix y a^* tuvieron una gran contribución en la formación de F1, mientras que acidez libre, CE, materia insoluble, pH y Zn tuvieron una gran contribución en la formación de F2. Dos muestras procedentes de C (C2 y C4) se proyectan en el plano que se forma por el eje negativo de F1 y positivo de F2, debido a su alto contenido de hierro y materia insoluble.

Por otro lado, las muestras de To, LV1, LV2 y LV3 se proyectan en el eje positivo de F1 y el eje negativo de F2 dada su alta CE, alto porcentaje de cenizas y altos valores de Mn, Na, CFT y color expresado en mm PFund. Además, P y Ti se proyectan en el plano formado por los ejes positivos F1 y F2, mientras que las muestras S, C1, C3 y LV2 se proyectan en los ejes negativos F1 y F2. Esta separación se debe a los altos niveles de acidez libre y °Brix, alto contenido en Ca, K y mayores valores de a^* y b^* exhibido por las muestras de P y Ti, mientras que las de Si se caracterizaron por presentar altos contenidos de Cu y mayores valores de L^* . Estos resultados coinciden con otros estudios que indican que es posible diferenciar entre las muestras de miel por ACP, en función de sus parámetros fisicoquímicos, de color y de contenido mineral.

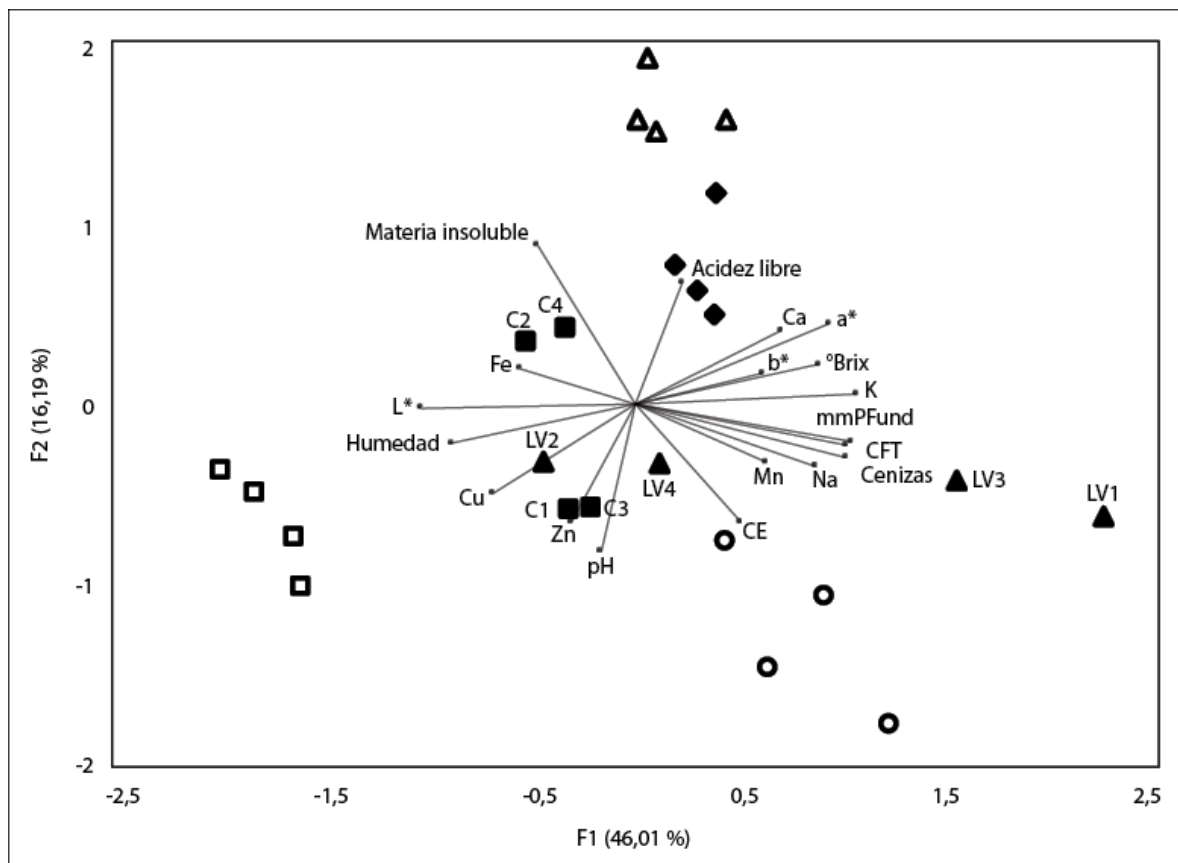


Figura 1. ACP de los parámetros fisicoquímicos, minerales y color en las muestras de miel analizadas (■: Caldono; ▲: La Vega; △: Paispamba; □: Silvia; ◆: Timbío; ○: Totoró).

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La valoración fisicoquímica de muestras de mieles comerciales que fueron cosechadas en seis municipios del departamento del Cauca (Colombia) durante 2015 y 2016 se realizó con los siguientes fines: a) determinar la calidad de las muestras de miel consumidas en la región y b) establecer cualquier similitud y diferencia que pueda atribuirse al origen geográfico de la miel.

Todas las muestras de miel procedentes de Silvia cumplieron los criterios definidos por la NTC-1273 (Icontec, 2007) para mieles florales. Según la conductividad eléctrica, cinco muestras de miel (Caldono, La Vega, Totoró) presentaron valores característicos de mieles de mielada. La mitad de las muestras de La Vega, Paispamba y Timbío superaron los niveles de acidez libre permitidos evidenciando la evolución de procesos de fermentación no deseados que se justifican, para el caso de las muestras de La Vega, con el alto contenido de humedad encontrado. Estos hallazgos advierten los efectos de inadecuadas prácticas de cosecha, poscosecha y manufactura por parte de los apicultores.

Las muestras de miel mostraron variabilidad en sus contenidos de compuestos fenólicos, contenido de minerales y color, y los cambios en los parámetros analizados parecen deberse a las diferencias geográficas, el clima, la composición del suelo o las fuentes del néctar.

El uso del análisis multivariado resultó parcialmente adecuado para clasificar los tipos de miel de origen similar, como es el caso de las mieles de Paispamba, Silvia y Totoró. Se puede concluir que los parámetros minerales, fisicoquímicos y colorimétricos analizados en este estudio son suficientes para lograr la discriminación entre las cuatro fuentes de miel, pero se requiere aumentar el número de muestras para lograr una mejor interpretación de las variables.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Universitaria de Popayán por la financiación de este trabajo (Resolución 046 del 31/05/2017) y al grupo de investigación Biotecnología, Calidad Medioambiental y Seguridad Agroalimentaria (BICAMSA), así como a la Unidad de Análisis Industriales del Departamento de Química de la Universidad del Cauca (501100005682) por permitir el uso de los equipos de espectrofotometría UV-Vis y de absorción atómica.

Descargos de responsabilidad

Los autores están de acuerdo con la publicación de este artículo y declaran que no hay conflictos de intereses que afecten los resultados de este estudio.

Referencias

- Acquarone, C., Buera, P., & Elizalde, B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. *Food Chemistry*, 101(2), 695-703. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.058>
- Aguas, Y., Olivero, R., & Cury, K. (2010). Determinación de adulteración y aceptabilidad de mieles (*Apis mellifera*) comercializadas en Cartagena, Bolívar, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECLA*, 2(2), 349. <http://doi.org/10.24188/recia.v2.n2.2010.314>
- Al-Rasheed, A. S. (2015). An experimental study of gender and cultural differences in hue preference. *Frontiers in Psychology*, 6, 1-5. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00030>
- Álvarez-Suárez, J. M., Giampieri, F., Brenciani, A., Mazzoni, L., Gasparrini, M., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., Morron, G., Simon, S., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Giovanetti, E., & Battino, M. (2018). *Apis mellifera* vs *Melipona beecheii* Cuban polyfloral honeys: A comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 272-279. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.079>

- Anupama, D., Bhat, K. K., & Sapna, V. K. (2003). Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. *Food Research International*, 36(2), 183-191. [http://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00135-7](http://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00135-7)
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (1990). Chapter 44. Subchapter 4. Honey. En H. Kenneth (Ed.), *Official Methods of Analysis*, Volume 2 (pp. 1025-1033). AOAC.
- Bobiş, O., Dezmirean, D. S., & Moise, A. R. (2018). Honey and diabetes: the importance of natural simple sugars in diet for preventing and treating different type of diabetes. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, ID 4757893. <http://doi.org/10.1155/2018/4757893>
- Bogdanov, S. (2002). *Harmonized methods of the European honey commission. International Honey Commission*. <http://www.ihc-platform.net/ihcmethods2009.pdf>
- Bogdanov, S. (2007). Authenticity of honey and other bee products: State of the art. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca - Animal Science and Biotechnologies*, 64, 1-8. <http://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:64:1-2:2192>
- 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. <http://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719745>
- Chamorro-García, F. J., León-Bonilla, D., & Nates-Parra, G. (2013). El polen apícola como producto forestal no maderable en la cordillera oriental de Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 53-66. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a04>
- Chamorro, F. J., León, D., Montoya-Pfeiffer, P. M., Solarte, V. M., & Nates-Parra, G. (2017). Botanical origin and geographic differentiation of bee-pollen produced in high mountains from the Colombian eastern Andes. *Grana*, 56(5), 386-397. <http://doi.org/10.1080/00173134.2017.1283440>
- Chepulis, L. M., Starkey, N. J., Waas, J. R., & Molan, P. C. (2009). The effects of long-term honey, sucrose or sugar-free diets on memory and anxiety in rats. *Physiology & Behavior*, 97(3-4), 359-368. <http://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.03.001>
- Ciappini, M. C., Gatti, M. B., & Vito, M. V. Di. (2013). El Color como indicador del contenido de flavonoides en miel. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 19, 59-63.
- Ciulu, M., Serra, R., Caredda, M., Salis, S., Floris, I., Pilo, M. I., ... Sanna, G. (2018). Chemometric treatment of simple physical and chemical data for the discrimination of unifloral honeys. *Talanta*, 190, 382-390. <http://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.08.025>
- Codex Alimentarius Commission. (2001). *Codex Alimentarius Commission Standards. Codex Stan 12-1981*. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B12-1981%252FCXS_012e.pdf
- Consejo Nacional CPAA, & Comités Departamentales. (2018). *Cadena productiva de las abejas y la apicultura*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/2018-12-30 Cifras sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/2018-12-30%20Cifras%20sectoriales.pdf)
- 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>

- De Andrade, C. K., dos Anjos, V. E., Felsner, M. L., Torres, Y. R., & Quinaia, S. P. (2014). Direct determination of Cd, Pb and Cr in honey by slurry sampling electrothermal atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, *146*, 166-173. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.065>
- Đogo Mračević, S., Krstić, M., Lolić, A., & Ražić, S. (2020). Comparative study of the chemical composition and biological potential of honey from different regions of Serbia. *Microchemical Journal*, *152*(Sept.), Article ID 104420. <http://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104420>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100538>
- Erasso-Arango, N., & Montoya, L. A. (2013). Análisis de percepción de marca Producto Miel de Abejas en el mercado de Bogotá. *Poliantea*, *7*(12), 131-48. <http://doi.org/10.15765/plnt.v7i12.154>
- Fernandes, L., Ribeiro, H., Oliveira, A., Sanches Silva, A., Freitas, A., Henriques, M., & Rodrigues, M. E. (2020). Portuguese honeys as antimicrobial agents against *Candida* species. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, En prensa. <http://doi.org/10.1016/j.jtcm.2020.02.007>
- Ferreira, I. C. F. R., Aires, E., Barreira, J. C. M., & Estevinho, L. M. (2009). Antioxidant activity of Portuguese honey samples: Different contributions of the entire honey and phenolic extract. *Food Chemistry*, *114*(4), 1438-1443. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.028>
- Gašić, U., Kečkeš, S., Dabić, D., Trifković, J., Milojković-Opsenica, D., Natić, M. & Tešić, Ž. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity of Serbian polyfloral honeys. *Food Chemistry*, *145*, 599-607. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.088>
- Imtara, H., Elamine, Y., & Lyoussi, B. (2018). Physicochemical characterization and antioxidant activity of Palestinian honey samples. *Food Science and Nutrition*, *6*(8), 2056-2065. <http://doi.org/10.1002/fsn3.754>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2007). *Norma Técnica Colombia NTC 1273, Miel de abejas*. Icontec.
- Karabagias, I. K., Maia, M., Karabagias, V. K., Gatzias, I., & Badeka, A. V. (2018). Characterization of eucalyptus, chestnut and heather honeys from Portugal using multi-parameter analysis and chemocalculus. *Foods*, *7*(12). <http://doi.org/10.3390/foods7120194>
- Kirk, W. D. J. (2018). The colours of pollen available to honey bees through the year. *Bee World*, *95*(3), 74-77. <http://doi.org/10.1080/0005772X.2018.1449280>
- Kolaylı, S., Can, Z., Çakir, H. E., Okan, O. T., & Yildiz, O. (2018). An investigation on Trakya region Oak (*Quercus* spp.) honeys of Turkey: their physico-chemical, antioxidant and phenolic compounds properties. *Turkish Journal of Biochemistry*, *43*(4), 1-13. <http://doi.org/10.1515/tjb-2017-0174>
- Laaroussi, H., Bouddine, T., Bakour, M., Ousaid, D., & Lyoussi, B. (2020). Physicochemical properties, mineral content, antioxidant activities, and microbiological quality of *Bupleurum spinosum* Gouan honey from the middle atlas in Morocco. *Journal of Food Quality*, *2020*, Article ID 7609454, <http://doi.org/10.1155/2020/7609454>
- Méndez, K., López, E., & Portilla, M. (2010). Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas de miel natural y miel sometida a proceso comercial. *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *9*(1), 14-21. <http://doi.org/10.24054/16927125.v9.n1.2011.479>

- Monggudal, M. B., Radzi, M. N. F. M., Ismail, M. M., & Ismail, W. I. W. (2018). Effect of six month storage on physicochemical analysis and antioxidant activity of several types of honey. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 440(1), 0-7. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/440/1/012047>
- Muñoz Gómez, F. A., Pérez, E. H., & Otero Sarmiento, J. D. (2014). Susceptibilidad a la erosión hídrica de suelos en la zona andina del departamento del Cauca, Colombia. *Revista de Investigaciones de La Universidad del Quindío*, 26(1), 43-48. <http://doi.org/10.33975/riuq.vol26n1.130>
- Nates-Parra, G., Montoya, P. M., Chamorro, F. J., Ramírez, N., Giraldo, C., & Obregón, D. (2013). Origen geográfico y botánico de mieles de *Apis mellifera* (APIDAE) en cuatro departamentos de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(3), 427-438. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/38290/43327>
- Nordberg, G. (2012). Capítulo 63 Metales: propiedades químicas y toxicidad. En *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo OIT. Tomo 2* (p. 78). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>
- Ortega-Bonilla, R. A., Chito-Trujillo, D. M., & Suárez-Ramos, C. A. (2016). Physicochemical characteristics of commercial eucalyptus honeys from Southwest Casanare. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 73-80. http://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num1_art:462
- Pauliuc, D., Dranca, F., & Oroian, M. (2020). Antioxidant activity, total phenolic content, individual phenolics and physicochemical parameters suitability for Romanian honey authentication. *Foods*, 9(3), 306. <http://doi.org/10.3390/foods9030306>
- Rosa, F. C., Duarte, F. A., Paniz, J. N. G., Heidrich, G. M., Nunes, M. A. G., Flores, E. M. M., & Dressler, V. L. (2015). Dispersive liquid-liquid microextraction: An efficient approach for the extraction of Cd and Pb from honey and determination by flame atomic absorption spectrometry. *Microchemical Journal*, 123, 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.06.009>
- Sakač, M. B., Jovanov, P. T., Marić, A. Z., Pezo, L. L., Kevrešan, Ž. S., Novaković, A. R., & Nedeljković, N. M. (2019). Physicochemical properties and mineral content of honey samples from Vojvodina (Republic of Serbia). *Food Chemistry*, 276, 15-21. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.149>
- Salamanca, G., Osorio, M., & Reyes, L. (2017). Propiedades físicoquímicas de mieles monoflorales de encenillo de la zona altoandina en Boyacá, Colombia. *Química Nova*, 40(8), 854-864. <http://doi.org/10.21577/0100-4042.20170084>
- Scholz, M. B. dos S., Quinhone Júnior, A., Delamuta, B. H., Nakamura, J. M., Baudraz, M. C., Reis, M. O., Kato, T., Pedrão, M. R., Dias, L. F., Reynaud dos Santos, D. T., Good Kitzberger, C. S., & Bianchini, F. P. (2020). Indication of the geographical origin of honey using its physicochemical characteristics and multivariate analysis. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 1896-1903. <http://doi.org/10.1007/s13197-019-04225-3>
- Silva, L. R., Gonçalves, A. C., Nunes, A. R., & Alves, G. (2020). Authentication of honeys from Caramulo region (Portugal): Pollen spectrum, physicochemical characteristics, mineral content, and phenolic profile. *Journal of Food Science*, 85(2), 374-385. <http://doi.org/10.1111/1750-3841.15023>

- Silva, L. R., Sousa, A., & Taveira, M. (2017). Characterization of Portuguese honey from Castelo Branco region according to their pollen spectrum, physicochemical characteristics and mineral contents. *Journal of Food Science and Technology*, 54(8), 2551-2561. <http://doi.org/10.1007/s13197-017-2700-y>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>.
- White, J. W. (1984). Instrumental color classification of honey: collaborative study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 67(6), 1129-1131. <https://eurekamag.com/research/001/393/001393377.php>
- Zuluaga D, C. M., Serrato B, J. C., & Quicazán de C, M. C. (2014). Valorization alternatives of Colombian bee-pollen for its use as food resource - A structured review. *Vitae*, 21(3), 237-247. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v21n3/v21n3a09.pdf>