

Caracterización de mieles multiflorales de *Apis mellifera* de diversas regiones de Colombia

Characterization of *Apis mellifera* multifloral honeys from different regions of Colombia

Lorena Carmona; Karen García, Andrés Ruiz, Jhonathan Pazmiño-Arteaga*

jd pazmino@sen a.edu.co, jhondav3@gmail.com

Resumen

La miel es un alimento ampliamente usado en industria culinaria y la medicina tradicional. En Colombia su producción aún es una práctica secundaria y artesanal, por lo cual, se hace importante la evaluación de las características que contribuyen a su calidad para favorecer los procesos de comercialización. En el presente estudio se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y la presencia de microorganismos de diferentes mieles de Colombia producida por la especie *Apis mellifera*. Las mieles analizadas cumplieron con los criterios de calidad establecidos, con excepción del parámetro sólidos insolubles, siendo un indicativo de que los procesos de extracción de la miel deben mejorarse. Además, algunas de estas mieles como la 1987 y la 2099 presentaron buena capacidad antioxidante, destacando de esta manera las propiedades benéficas que la miel puede otorgar a la salud humana.

Palabras clave: Miel, antioxidante, Hidroximetilfurfural, calidad, acidez.

Abstract

Honey is a food that is widely used in the culinary industry and in traditional medicine. In Colombia, its production is still a secondary and artisanal practice; therefore, it is important to evaluate the characteristics that contribute to its quality in order to favour commercialisation processes. In the present study, the physicochemical and antioxidant properties and the presence of microorganisms of different Colombian honeys produced by *Apis mellifera* species were evaluated. The honeys analysed met the established quality criteria, except for the parameter of insoluble solids, which indicates that the honey extraction processes should be improved. In addition, some of these honeys, such as 1987 and 2099,

showed a good antioxidant capacity, highlighting the beneficial properties that honey can provide for human health.

Keywords: Honey, antioxidant, hydroxymethylfurfural, quality, acidity.

Abreviaturas

5-HMF	5-Hidroximetilfurfural
<i>A mellifera</i>	<i>Apis mellifera</i>
FEDEAPICOLA	Federación de apicultores
Ton	Toneladas
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
PCA	Análisis de componentes principales
Trolox	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico

Introducción

La miel, un producto dulce y viscoso elaborado por las abejas (*Apis mellifera* L) a partir del néctar de las flores u otras secreciones vegetales recolectadas cerca de la colmena, ha sido parte integral de la medicina tradicional y encuentra amplio uso en la industria culinaria como saborizante y edulcorante (Viteri et al., 2021; Zapata-Vahos et al., 2023). La miel contiene un 82% de carbohidratos, así como proteínas, vitaminas, minerales, enzimas como la glucosa oxidasa y la catalasa, y compuestos como ácidos fenólicos, flavonoides y ácidos orgánicos (Zapata-Vahos et al., 2023). La presencia de polifenoles, vinculada a su capacidad antioxidante, incluso se asocia con actividad bactericida (Palma-Morales et al., 2023; Eteraf-Oskouei & Najafi, 2022). La composición global de la miel está directamente relacionada con su origen floral (monofloral o polifloral), la especie de abeja, las condiciones ambientales y las características de almacenamiento.

En la medicina tradicional, la miel se ha utilizado para tratar resfriados, gripes y se le atribuyen propiedades antibacterianas. Además, se emplea en la cicatrización de heridas, alivio de problemas digestivos, mejora del sueño, cuidado de la piel y como suplemento nutricional. La investigación actual explora su potencial en diversas áreas, como agente anticancerígeno, antioxidante, antibacteriano, antiviral, antifúngico y antiinflamatorio

(Palma-Morales et al. 2023; Eteraf-Oskouei & Najafi, 2022; Soares et al. 2022). La miel también ha demostrado contribuir al control de la obesidad al mejorar la sensibilidad a la insulina y reducir los niveles de azúcar en sangre (Zulkifli et al. 2022). Los polifenoles de la miel se consideran útiles en el tratamiento de enfermedades neurológicas debido a sus propiedades antioxidantes (Iftikhar et al. 2022). Además, algunos compuestos fenólicos y flavonoides en la miel se proponen para mejorar enfermedades cardiovasculares al reducir el estrés oxidativo y la activación de plaquetas (Olas, 2020) y también para mejorar síntomas de enfermedades como la arteriosclerosis (Nguyen et al. 2019).

La miel en Colombia, caracterizada por su sabor y calidad, varía notablemente según la diversidad floral de las regiones productoras, en donde se encuentran cultivos de café, aguacate, eucalipto, naranjo, entre otras; cada una destacando por sus características sensoriales y beneficios para la salud. Las principales regiones productoras en Colombia son Boyacá, Santander, Valle del Cauca, Huila y Cundinamarca. Según cifras de FEDEAPICOLA, entre el 2010-2019 la producción en toneladas de miel a nivel departamental fue liderado por el Meta (500 Ton), seguido del departamento de Antioquia (400 Ton). No obstante, a pesar de su alto potencial, la comunidad apicultora enfrenta desafíos en la caracterización, diferenciación y prevención de la falsificación (Martínez, 2006).

Los parámetros para evaluar la calidad de la miel pueden variar según la especie productora. Sin embargo, factores como la presencia de microorganismos, el contenido de humedad, pH, acidez, contenido de ácidos orgánicos y 5-Hidroximetilfurfural (5-HMF) son fundamentales para su determinación (Shamsudin et al., 2019). Estos parámetros están influenciados por la ubicación de las colmenas, la temporada climática (Villagran et al., 2021) y las condiciones de extracción de la miel. Dado que la mayoría son pequeños productores, la caracterización, diferenciación y valor agregado; son estrategias clave para ser competitivos, especialmente cuando la miel es reconocida por sus beneficios para la salud humana. El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y la presencia de microorganismos en diferentes mieles de algunas regiones de Colombia, producidas por la especie *A. mellifera*.

Materiales y métodos

Obtención de muestras

Las muestras de miel de *Apis mellifera* analizadas fueron obtenidas de diversas regiones de Colombia, algunas de ellas difieren de su fuente botánica, siendo en general multiflorales.

Tabla 1. Origen y distribución de las muestras de miel.

Código	Región	Fuente botánica
1908	Santa Bárbara, Antioquia	Flor de café
1966	Sin información	Sin información
1967	Sin información	Sin información
1968	Medellín, Antioquia	Multifloral, con flor de café
1983	La vega, Cauca	Arrayan, mariposa, flor de palo, balso, roble
1984	Sonsón, Antioquia	Sin información
1985	Venadillo, Tolima	Bejuco sardinato, rosita vieja, limón, mandarina, árbol nim, diente de león, pringamoza y mata ratón
1986	Sonsón, Antioquia	Sin información
1987	San Roque, Antioquia	Bosque nativo
2099	Támesis, Antioquia	Cardamomo, aguacate, banano, cultivos de café
2107	San pedro de los milagros, Antioquia	Eucalipto, robles
2123	Bajo Cauca, Antioquia	Acacio, Eucalipto y bosque nativo

Identificación de microorganismos presentes en la miel

Para el análisis de los microorganismos presentes, se pesó 10 g de miel y se disolvió mediante vórtex en 90 mL de agua peptona 0.1% hasta su homogenización, seguido de dos diluciones seriadas. Posteriormente, en placas de petri se depositó 1 mL de cada dilución y se hizo siembra en profundidad con agar Chromocult para la identificación de bacterias coliformes

fecales y totales, las placas fueron incubadas a 37 °C durante 24 horas. Por su parte, para la identificación de mohos y levaduras, 1 mL de cada dilución se depositó en la superficie de las placas de Petri con agar Sabouraud dextrosa 4% y con un asa de Drigalsky se homogenizó. Las placas fueron incubadas a 24 °C durante 7 días. Cada dilución se analizó mediante duplicados y se hizo conteo de unidades formadoras de colonia (UFC/mL).

La identificación de bacterias no coliformes se hizo mediante tinción de Gram y observación por microscopía óptica, tomando registro fotográfico.

Medición de pH, humedad y grados Brix

Se pesó 10 g de miel y se disolvió en 75 mL de agua destilada, en la solución homogénea se introdujo el potenciómetro y se registró el valor de pH. Por su parte, para la determinación de grados Brix y humedad, una muestra de miel fue adicionada al sensor del refractómetro registrando el valor y la temperatura del ensayo.

Determinación de acidez titulable

Para la determinación de la acidez total mediante titulación se pesó 10 g de muestra de miel y se disolvió en 75 mL de agua destilada hasta la obtención de una solución homogénea. La titulación de la muestra de ensayo se hizo con solución de hidróxido de sodio a una concentración de 0.1 N libre de carbonatos, utilizando como indicador fenolftaleína. Los resultados se expresan en miliequivalentes de ácido/Kg de miel a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez} = 10 * V$$

Siendo V el valor en mililitros de hidróxido de sodio 0.1 N utilizado en la neutralización de 10 g de muestra de miel.

Cuantificación de sólidos insolubles

Para la cuantificación de los sólidos insolubles, se pesó 20 g de miel y se disolvió en 50 mL de agua destilada, la mezcla se homogenizó y posteriormente se introdujo en la solución los electrodos del potenciómetro, adicionando hidróxido de sodio 0.1 N con agitación constante hasta la obtención de un valor de pH entre 8 y 9. La muestra con pH ajustado fue filtrada a través de un embudo de filtración con tamaño de poro 15-40 micras, el filtro se recuperó y

se dispuso sobre una caja de Petri. El filtro se llevó a una estufa de desecación por 1 h a 135 °C luego se llevó al desecador durante 10 min para la eliminación de la humedad. El filtro fue pesado antes y después del tratamiento. Los resultados se expresan como gramos de sólidos insolubles en agua/100 gramos de miel.

Contenido de 5-Hidroximetilfurfural

Para estimar el contenido de 5-Hidroximetilfurfural (5-HMF) se pesó 5 g de miel y se disolvió en 25 mL de agua destilada. Posteriormente se adicionó a la solución 0.5 mL de Carrez I ($K_4(Fe(CN)_6) \cdot 3 H_2O$) y 0.5 mL de solución de Carrez II ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2 H_2O$) en agitación constante. La solución se llevó a un matraz aforado de 50 mL y se aforó con agua destilada mezclando por inversión. La muestra fue filtrada con un filtro de papel. Luego, 3 mL de la muestra filtrada se dispuso en dos tubos de ensayo que fueron identificados como tubo de muestra y tubo de referencia. En el tubo de muestra se adicionó 3 mL de agua destilada mientras que, en el tubo de referencia se adicionó 3 mL de bisulfito de sodio para la neutralización del 5-HMF presente en la muestra. Posteriormente se llevó a cabo una cuantificación por espectrofotometría a una longitud de onda de 284nm y 336nm en cubetas de cuarzo. Los resultados se expresaron como mg de HMF/Kilogramo de miel a través de la siguiente fórmula.

$$\text{Mg HMF/Kg miel} = (\Delta_{284} - 336 \text{ Muestra} - \text{Referencia}) * 14.97 \frac{5}{P} * 10$$

Siendo;

$$14.97: \frac{126}{16.830} * \frac{1.000}{10} * \frac{100}{5}$$

126: Peso molecular de Hidroximetilfurfural en g/mol

16.830: Coeficiente de extinción molar de Hidroximetilfrufural a 284 nm

5: Porción de ensayo nominal (g)

10: centilitros/L

P: peso en gramos de la muestra de miel

Determinación de la capacidad antioxidante

Para la determinación de la capacidad antioxidante de las muestras de miel. Se pesó 1 g de miel y se disolvió en 9 mL hasta su homogenización. Inicialmente, se preparó una solución de FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) que consiste en buffer acetato 300 mM pH 3.6, TPTZ (2,4,6-Tri (2-piridil)-s-triazina) a una concentración de 10 mM preparado en ácido clorhídrico al 37% y FeCl₃ · 6 H₂O a una concentración de 20 mM. El Trolox (Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) utilizado por su capacidad para reducir el estrés oxidativo fue preparado a una concentración de 10 mM en 500 µL de dimetilsulfóxido y buffer fosfato a pH 7.3. A partir de esta solución de Trolox se construyó una curva de calibración a concentraciones de 1000, 500, 250, 125, 62.5 y 31.25 µM. En microplatos de 96 pozos se realizó la mezcla de 10 µL de blanco (agua destilada), estándar o muestra + 250 µL de solución de trabajo FRAP. El espectrofotómetro se ajustó previamente a una temperatura de 37 °C para llevar a cabo una lectura de absorbancia a 593 nm cada 5 minutos durante 30 minutos. Como control positivo se usó quercetina preparada a una concentración de 5 µg/mL.

Las absorbancias de la reacción entre la muestra y la solución de trabajo fueron interpoladas en la curva de calibración de Trolox. Los valores obtenidos de la interpolación de la curva son expresados en µmoles de equivalentes de Trolox por 100 gramos (µmol ET/100 g) de muestra usando la siguiente ecuación:

$$\frac{\mu mol ET}{g muestra} = \frac{M \times FD \times V}{m}$$

M: Concentración molar obtenida de la curva de calibración.

FD: Factor de dilución de la muestra.

V: Volumen en litros en el que se preparó inicialmente la muestra.

m: Peso en gramos de la muestra.

Colorimetría

Para la determinación de color se siguió la metodología descrita por Ortega-Bonilla et al., 2021. Para esto se hizo una lectura de absorbancia a 635nm de una solución de 10 g de miel disuelta en 20 mL de agua. Para establecer la escala en mm Pfund se usó la siguiente ecuación:

$$mm\ Pfund = -38,7 + (371,39 * ABS_{635})$$

El resultado de la ecuación se clasificó en una escala de color de acuerdo con *Pfund* escala de color (USDA), en donde:

Tabla 2. Escala de color según *Pfund*.

Escala (<i>Pfund</i>)	Color
0-8 mm	Blanco agua
9-17 mm	Blanco extra
18-34 mm	Blanco
35-48 mm	Ámbar extra claro
49-83 mm	Ámbar claro
84-114 mm	Ámbar
>114 mm	Ámbar oscuro

Análisis estadísticos

Todos los ensayos fueron hechos a través de triplicados de muestras independientes. Los datos fueron procesados y analizados utilizando el lenguaje R. Se realizaron análisis de varianza ANOVA, análisis de correlación, análisis de clúster y análisis de componentes principales. Las gráficas se construyeron utilizando el paquete ggplot2.

Resultados y discusión

La producción de miel en Colombia continúa siendo reconocida como una actividad artesanal, por lo cual se hace importante analizar diversos parámetros y características de este producto, relacionados con su calidad y los potenciales riesgos a la salud, que pueden estar asociados a malas prácticas de procesamiento. La presencia de microorganismos, la

variabilidad en el pH, la humedad, los grados Brix, la acidez, los sólidos insolubles y la presencia de 5-Hidroximetilfurfural (5-HMF) fueron analizados en varias muestras de miel, así como también su capacidad antioxidante, ya que la miel es reconocida por otorgar múltiples beneficios en la salud humana.

Microorganismos presentes en la miel

Presencia de coliformes fecales y totales

La mayoría de las muestras de miel analizadas no presentaron crecimiento de bacterias coliformes fecales y totales siendo < 10 UFC/mL (Tabla 3), sin embargo, hubo crecimiento de bacterias no coliformes (> 300 UFC/mL) en la muestra de miel **1987** que correspondió a bacterias gram (+) positivas (figura 1) según la tinción de gram.



Figura 1. Crecimiento de bacterias no coliformes (>300 UFC/mL) (izquierda) e identificación de bacterias gram (+) positivas (derecha).

Presencia de mohos y levaduras

Cuatro de las muestras de miel analizadas (1908, 1983, 1984 y 1986) no presentaron crecimiento de mohos y levaduras (<10 UFC/mL). En contraste, con las muestras de miel 2099 y 2107 que presentaron crecimiento de ambos microorganismos, sin embargo, el crecimiento de levaduras fue más común, identificándose en las mieles 1967, 1868, 1985, 1987 y 2123.

Tabla 3. Número de Unidades formadoras de colonias (UFC/mL) de coliformes fecales y totales, bacterias no coliformes y mohos y levaduras.

Código de la miel	Coliformes fecales y totales	Bacterias no coliformes	Mohos	Levaduras
1908	< 10	< 10	< 10	< 10
1966	< 10	< 10	200	< 10
1967	< 10	< 10	< 10	100
1968	< 10	< 10	< 10	300
1983	< 10	< 10	< 10	< 10
1984	< 10	< 10	< 10	< 10
1985	< 10	< 10	< 10	600
1986	< 10	< 10	< 10	< 10
1987	< 10	> 300	< 10	1000
2099	< 10	< 10	800	100
2107	< 10	< 10	200	59000
2123	< 10	< 10	< 10	300

<10 UFC/mL indica que no hubo crecimiento de microorganismos en la dilución 1×10^{-1} .

Determinación de pH, humedad y grados Brix

El valor de pH de la miel es un parámetro que describe el estado de preservación y origen floral de las mieles. Tres de las mieles analizadas presentaron los valores más ácidos de pH (3.5-3.8) mientras que la muestra 1987 presentó el valor menos ácido (pH 5.0). El rango de pH de las mieles puede variar entre 3.4-6.4 de manera general, para mieles de origen floral los valores van de 3.3-4.6, mientras que, los valores de pH de mielatos se encuentran en el rango de 4.5-6.5 (Ulloa, 2022).

Tabla 4. Valores de pH, humedad y grados Brix de mieles de diferentes regiones de Colombia.

Código	Brix		Humedad		pH	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
1908	81,5	0,1	17,4	0,0	3,53	0,01
1966	80,9	0,8	17,7	0,5	4,35	0,02

1967	79,3	1,3	19,1	1,3	4,22	0,00
1968	81,0	0,2	17,4	0,2	4,21	0,00
1983	79,5	1,1	18,9	1,0	3,82	0,03
1984	81,5	0,1	16,9	0,1	4,11	0,04
1985	79,0	0,2	19,3	0,1	3,58	0,01
1986	81,6	0,3	17,5	1,1	4,04	0,03
1987	79,9	1,5	18,5	1,4	4,98	0,08
2099	82,0	0,6	16,5	0,5	4,45	0,00
2107	81,1	0,2	17,4	0,2	3,72	0,00
2123	80,7	0,3	17,8	0,3	4,24	0,01

Media y desviación estándar sobre los tres valores de cada muestra.

El parámetro de humedad además de describir el estado de preservación de la miel, indica la madurez, su origen floral y el grado de cristalización (Ulloa, 2022), por lo tanto, es un parámetro de calidad que está relacionado directamente con su vida útil. El grado de humedad de la miel puede variar entre 13-15%. Se indica que las mieles con humedad superior al 18% son propensas a los procesos de fermentación. Sin embargo, los valores de humedad recomendados por la norma técnica colombiana NTC 1273:2023 no deben superar el 20%. Por lo tanto, las mieles se encuentran dentro de los valores recomendados en la normativa nacional.

La apicultura además de otros sectores de producción está amenazada por la presencia de miel adulterada, sin embargo, en la determinación de calidad de la miel, el análisis de los grados Brix ayuda a determinar este grado de adulteración. Los grados Brix representan los sólidos solubles totales relacionados con el porcentaje de azúcar presente (Castillo Martínez et al., 2022). Se estima que una miel de calidad debe estar entre 70-88° Brix, y que este valor cambia según el contenido de humedad. Las mieles analizadas se encuentran dentro de este parámetro (Tabla 4).

Para todos los parámetros fisicoquímicos evaluados en las mieles se encontró que se cuenta con suficiente evidencia estadística para afirmar que las muestras son diferentes. Para las variables pH, acidez, Brix, y humedad se encontró el valor p menor que 0,05.

Se encontró que la correlación entre la humedad y los grados Brix fue de -0,96 (Figura 2). Dado que la determinación de la humedad parte de la medida de los grados Brix, los resultados permiten corroborar que el método es aplicable para la miel de Colombia; sin embargo, se sugiere contrastar contra el método por estufa para proponer un posible factor de corrección, si fuese necesario.

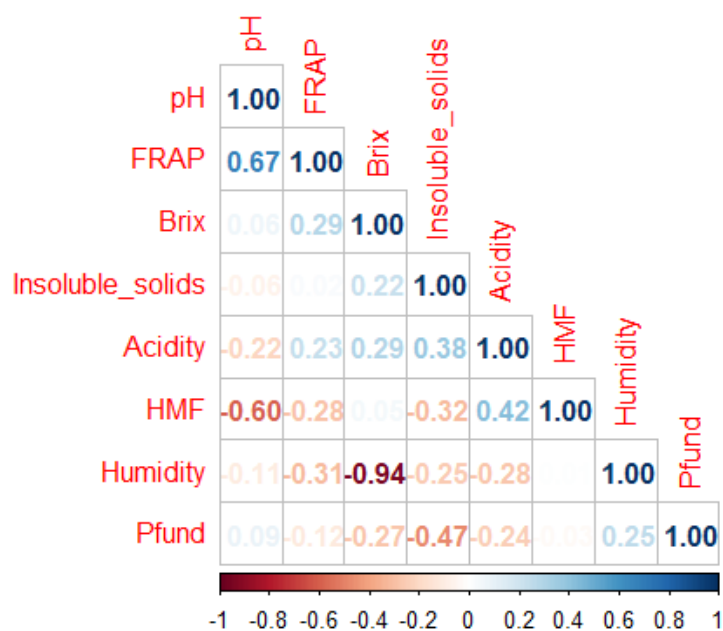


Figura 2. Correlograma de las diferentes variables analizadas en la miel

Acidez libre en la miel

La acidez libre es un parámetro que relaciona la presencia de ácidos orgánicos (ácido fórmico, oxálico, acético, láctico, glucónico, entre otros) en la miel, e influye en algunas características sensoriales como el aroma, el sabor y el color. Por lo tanto, si las concentraciones de estos ácidos incrementan por procesos de fermentación, las características sensoriales se ven modificadas (Skoka & Tuszynski, 2007). Según la norma técnica colombiana NTC 1273:2023 el valor máximo de acidez libre corresponde a 50 meq de ácido/Kg de miel. Todas las mieles analizadas se encuentran por debajo del límite permisible por la norma colombiana (Tabla 5).

Se conoce que la acidez protege a la miel de la proliferación microbiana y contribuye en una de sus características sensoriales (aroma). Por otro lado, las mieles que forman 5-HMF de

manera natural o aquellas que han sido calentadas, pueden aumentar el contenido de esta molécula, la cual se descompone en ácido levulínico y fórmico, elevando así las cifras de acidez (Zandamela, 2008). Es importante destacar que, la muestra 1908 presenta valores mayores de acidez y de 5-HMF (Tabla 5 y 6).

Es particular que la acidez y el pH no muestren correlación significativa. La regresión acidez en función de pH indica que la pendiente no es significativa (p valor mayor 0.2), esto implica que, para diferentes valores de pH, entre 3,5 y 5, el cambio en la acidez medida no cambia el pH.

Sólidos insolubles de la miel

Según el proceso de obtención la miel puede presentar partículas en suspensión, polen, residuos de opérculos, de insectos y también de vegetales, estas partículas se conocen como sólidos insolubles y es un parámetro de calidad. Según la NTC 1273:2023 la cantidad de sólidos insolubles en agua es diferente para la miel prensada y para la miel diferente a la prensada, con valores máximos de 0.5 y 0.1 respectivamente. La miel 2107 tuvo la mayor cantidad de sólidos insolubles que puede afectar su calidad, así mismo, las mieles 1908 y 1966 presentan valores superiores a 0.5, y ninguna muestra presenta valores inferiores a 0.1 (Tabla 5). El contenido de sólidos insolubles puede afectar la textura, estabilidad y resistencia de la miel (Bogdanov, 2002; Zandamela, 2008)

Tabla 5. *Acidez, sólidos insolubles y colorimetría de mieles de diversas regiones de Colombia.*

Descripción	Acidez (Miliequivalentes de ácido/Kg de miel)	Sólidos insolubles (g)	Color
1908	38,03 ± 0,968	0,579 ± 0,442	80,269 ± 1,546 Ámbar claro
1966	32,347 ± 3,028	0,568 ± 0,027	50,062 ± 1,965 Ámbar claro
1967	19,338 ± 1,563	0,301 ± 0,044	>114 ± 4,141

			Ámbar oscuro
1968	13,071 ± 4,460	0,368 ± 0,039	40,282 ± 1,135 Ámbar extra claro
1983	27,286 ± 1,531	0,379 ± 0,037	53,652 ± 1,195 Ámbar claro
1984	30,219 ± 5,386	0,429 ± 0,045	88,811 ± 0,567 Ámbar
1985	27,442 ± 1,338	0,433 ± 0,012	74,203 ± 0,743 Ámbar claro
1986	24,420 ± 0,839	0,475 ± 0,009	55,014 ± 1,501 Ámbar claro
1987	27,147 ± 0,440	0,481 ± 0,015	52,043 ± 0,567 Ámbar claro
2099	34,169 ± 0,479	0,509 ± 0,020	100,076 ± 0,567 Ámbar
2107	34,137 ± 1,813	1,043 ± 0,077	19,361 ± 7,137 Blanco
2123	30,724 ± 3,210	0,540 ± 0,036	61,328 ± 1,406 Ámbar claro

Determinación de 5-HMF de la miel

El 5-Hidroximetilfurfural (5-HMF) es un compuesto furánico que se genera por la degradación de los azúcares, principalmente por la deshidratación de la fructosa y por reacciones de Maillard que se dan por condiciones de almacenamiento, por lo tanto, es indicativo de miel fresca. Sin embargo, mieles de climas tropicales o subtropicales pueden presentar altos niveles de este compuesto (Ulloa, 2022).

Según la NTC 1273:2023 el requisito fisicoquímico del contenido de 5-HMF depende de factores como su elaboración, el proceso de mezcla (40 mg/kg) y el origen de la miel, si esta procede de países o regiones de temperatura ambiente tropical (80 mg/kg). Todas las mieles

cumplen con la normativa nacional, sin embargo, se destacan algunas de ellas como la 1908 y la 1983 que presentan valores de 5-HMF de 22,9 y 8,3 mg/kg, respectivamente (Tabla 6).

Del correlograma (Figura 2) destaca la asociación entre el pH y la cantidad de HMF. Puede ser un indicador de que la generación de este compuesto relacionado con la degradación de la miel se presente de manera más intensa cuando el producto registra valores de pH más bajos.

Capacidad antioxidante de las mieles

La capacidad antioxidante se refiere a la transferencia de un electrón a los radicales libres para neutralizar, reducir o eliminar el daño que estos radicales pueden generar sobre las principales macromoléculas, como los ácidos nucleicos, proteínas y lípidos, que están involucradas en eventos bioquímicos celulares (Lobo et al., 2010). Los radicales libres pueden generar estrés oxidativo lo que se ha relacionado con algunas condiciones patológicas y el envejecimiento (Rahal et al., 2014; Al-Kafaween et al., 2023). La miel se ha identificado como un producto con capacidad antioxidante, debido a la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides (Escriche et al., 2014).

El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas entre los valores de HMF y de FRAP para las muestras analizadas (p valores < 0,05).

Tabla 6. Cuantificación de 5-HMF y de la capacidad antioxidante de mieles de diversas regiones de Colombia.

Descripción	HMF (Mg HMF/Kg Miel)	FRAP (μmol ET/g muestra)
1908	22,929 ± 0,623	10,288 ± 0,996
1966	1,086 ± 0,684	12,660 ± 2,143
1967	2,767 ± 0,346	8,798 ± 0,951
1968	2,820 ± 0,519	9,889 ± 0,906
1983	8,351 ± 0,798	12,795 ± 0,997
1984	4,637 ± 0,484	17,647 ± 2,411
1985	6,797 ± 0,569	10,589 ± 0,208
1986	2,276 ± 0,305	15,226 ± 0,824

1987	2,079 ± 0,529	24,231 ± 2,334
2099	2,417 ± 0,323	27,078 ± 0,786
2107	3,407 ± 0,801	10,136 ± 0,735
2123	7,389 ± 0,111	17,253 ± 0,931

La correlación entre FRAP y pH (0.67) deja ver una posible relación entre estas dos variables. El ajuste de un modelo lineal simple, Intercepto -25.918 y pendiente 9.904 indica la posibilidad de asignar un valor estimado de capacidad antioxidante según el pH que se mida al producto, esto, si bien no es una medida objetiva, en el mercado de las mieles podría establecerse como un indicador de calidad biológica.

Análisis de componentes principales

Se realizó una exploración multivariada de los datos obtenidos. Se omitieron los valores del color debido a que de forma intrínseca caracterizan a las mieles de forma diferente, sin embargo, esta variable al igual que los sólidos insolubles, no aportan a la conformación de un grupo de componentes principales que describan el comportamiento general de las muestras. Después de excluirlas, se realizó el PCA y la agrupación de las muestras de miel. Los resultados pueden verse en la figura 3.

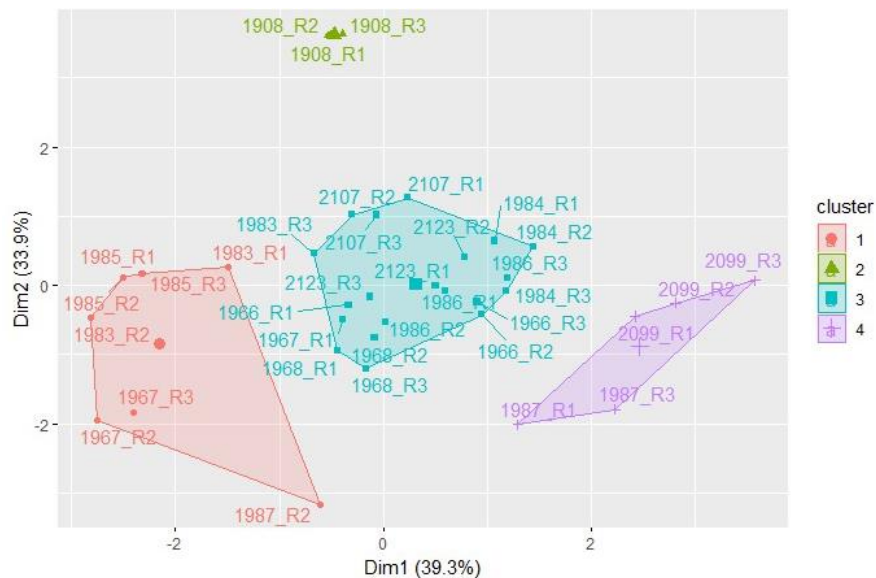


Figura 3. Gráfico de grupos por componentes principales

El análisis muestra la conformación de cuatro grupos, entre los cuales se puede indicar que las muestras de miel se asemejan entre los valores de los diferentes parámetros evaluados. La muestra 1908 forma un grupo independiente, solo con sus tres replicas. La distancia de las otras mieles, posiblemente se relacione a que fue la única muestra de miel que proviene de una cooperativa de apicultores, los cuales consolidan la producción de diferentes núcleos apícolas y mezclan las diferentes mieles para obtener una sola referencia comercial.

El grupo 2, en azul en le figura 3, es el que recoge un mayor número de muestras de miel. Posiblemente estas comparten en mayor medida la cantidad y magnitud de atributos evaluados.

El grafico biplot del PCA, que se representa en la Figura 4, permite identificar que las variables que describen mejor la agrupación de las muestras son pH, Brix y Humedad. Considerando esta información, solo tres variables son las más relevantes al momento de describir y discriminar las clases de miel evaluadas en este trabajo.

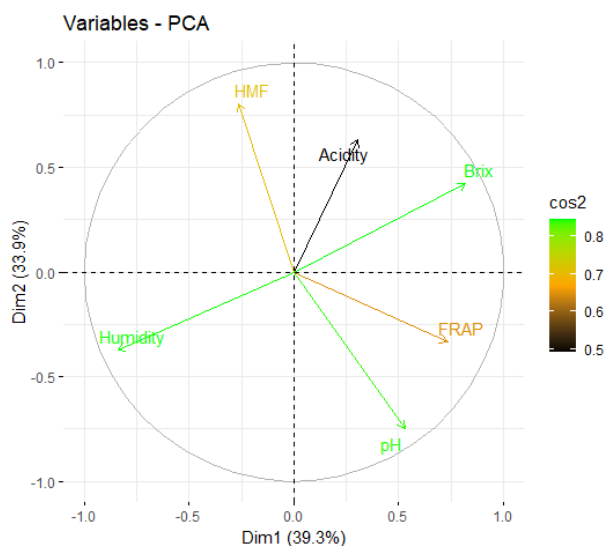


Figura 4. Biplot del PCA

Conclusiones

Aunque se observan variaciones en los parámetros evaluados, las mieles analizadas generalmente cumplen con las normativas nacionales y exhiben propiedades que indican su

calidad y frescura. Sin embargo, se señalan algunos casos particulares que podrían requerir una atención más detenida, especialmente en términos de crecimiento de bacterias no coliformes, acidez y presencia de 5-HMF. A pesar de los desafíos las mieles analizadas parecen mantener estándares adecuados en términos de calidad y seguridad alimentaria. Además, se destaca la capacidad antioxidante de las muestras de miel, relacionada con la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides, lo cual sugiere beneficios para la salud humana.

Contribución de los autores

Jhonathan David Pazmiño Arteaga: Conceptualización, adquisición de fondos, administración del proyecto, supervisión, metodología, análisis formal, escritura, revisión y edición.

M. Lorena Carmona-Orozco: Investigación, metodología, escritura, revisión y edición.

Karen Berenice García López: Investigación, escritura, revisión y edición.

Andrés Felipe Ruiz: Conceptualización, investigación, escritura, revisión y edición.

Agradecimientos:

Se extiende el agradecimiento por el apoyo a la ejecución de los análisis, disponibilidad de espacios y elementos al Laboratorio de Servicios Tecnológicos La Salada, así como a todo su personal y analistas. De manera particular, a la monitorea y aprendiz Matilde Serna y a la practicante Claudia Riascos.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y quienes están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

Este trabajo de investigación fue ejecutado en el marco de un proyecto de investigación financiado por el SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA, en la convocatoria nacional SENNOVA 2023. Proyecto SGPS-10936-2023.

Referencias bibliográficas

Al-Kafaween, M. A., Alwahsh, M., Mohd Hilmi, A. B., & Abulebdah, D. H. (2023). Physicochemical Characteristics and Bioactive Compounds of Different Types of Honey and Their Biological and Therapeutic Properties: A Comprehensive Review. *Antibiotics* (Basel, Switzerland), 12(2), 337. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020337>

Bogdanov, S. (2002). *Harmonised Methods of the International Honey Commission: Introduction and General Comments on the Methods*, Switzerland.

Castillo Martínez, Teresa, García Osorio, Cecilia, García Muñiz, José Guadalupe, Aguilar Ávila, Jorge, & Ramírez Valverde, Rodolfo. (2022). Azúcares y °Brix en miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y miel comercial del mercado local en México. *Veterinaria México OA*, 9, e950. Epub 16 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2022.950>

Escriche, I., Kadar, M., Juan-Borrás, M., & Domenech, E. (2014). Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment. *Food chemistry*, 142, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.033>

Eteraf-Oskouei, T., & Najafi, M. (2022). Uses of Natural Honey in Cancer: An Updated Review. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 12(2), 248–261. <https://doi.org/10.34172/apb.2022.026>

Eteraf-Oskouei, T., & Najafi, M. (2022). Uses of Natural Honey in Cancer: An Updated Review. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 12(2), 248–261. <https://doi.org/10.34172/apb.2022.026>

FEDEABEJAS. (2020). *Cadena productiva de las abejas y la apicultura 1 Trimestre 2020*. Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de <https://www.fedeabejas.com/cifras-sectoriales>

Iftikhar, A., Nausheen, R., Muzaffar, H., Naeem, M. A., Farooq, M., Khurshid, M., Almatroudi, A., Alrumaihi, F., Allemailem, K. S., & Anwar, H. (2022). Potential Therapeutic Benefits of Honey in Neurological Disorders: The Role of Polyphenols. *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(10), 3297. <https://doi.org/10.3390/molecules27103297>

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy reviews*, 4(8), 118–126. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>

Martínez T. Diagnóstico de la actividad apícola y de la crianza de abejas en Colombia. *Minist. Agric. Desarro. Rural.-MADR*. 2006;4:1–121.

Nguyen, H. T. L., Panyoyai, N., Kasapis, S., Pang, E., & Mantri, N. (2019). Honey and Its Role in Relieving Multiple Facets of Atherosclerosis. *Nutrients*, 11(1), 167. <https://doi.org/10.3390/nu11010167>

Norma Técnica Colombiana 1273 del 2023. Miel de abejas.

Olas B. (2020). Honey and Its Phenolic Compounds as an Effective Natural Medicine for Cardiovascular Diseases in Humans?. *Nutrients*, 12(2), 283. <https://doi.org/10.3390/nu12020283>

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

Palma-Morales, M., Huertas, J. R., & Rodríguez-Pérez, C. (2023). A Comprehensive Review of the Effect of Honey on Human Health. *Nutrients*, 15(13), 3056. <https://doi.org/10.3390/nu15133056>.

Palma-Morales, M., Huertas, J. R., & Rodríguez-Pérez, C. (2023). A Comprehensive Review of the Effect of Honey on Human Health. *Nutrients*, 15(13), 3056. <https://doi.org/10.3390/nu15133056>

Rahal, A., Kumar, A., Singh, V., Yadav, B., Tiwari, R., Chakraborty, S., & Dhama, K. (2014). Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay. *BioMed research international*, 2014, 761264. <https://doi.org/10.1155/2014/761264>

Shamsudin S., Selamat J., Sanny M., Abd Razak S.-B., Jambari N.N., Mian Z., Khatib A. Influence of Origins and Bee Species on Physicochemical, Antioxidant Properties and

Botanical Discrimination of Stingless Bee Honey. *Int. J. Food Prop.* 2019;22:239–264. doi: 10.1080/10942912.2019.1576730.

Skoka, P & Tuszynski, T. (2007). Changes in organic acids contents during mead wort fermentation. *Food Chemistry* 104: 1250-1257.

Soares, S., Mélima B., Clara G., Maria João R., Irene G., Garcia J, Rodrigues, F., Delerue-Matos C. (2022). Honey as an Adjuvant in the Treatment of COVID-19 Infection: A Review. *Applied Sciences* 12, no. 15: 7800. <https://doi.org/10.3390/app12157800>

Ulloa F., Pablo (2022-04) Metodologías para la determinación de parámetros fisicoquímicos y de calidad en miel [en línea]. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/68794> (Consultado: 12 noviembre 2023).

Villagran E., Henao-Rojas J.C., Franco G. Thermo-Environmental Performance of Four Different Shapes of Solar Greenhouse Dryer with Free Convection Operating Principle and No Load on Product. *Fluids.* 2021;6:183. doi: 10.3390/fluids6050183.

Viteri, R., Zacconi, F., Montenegro, G., & Giordano, A. (2021). Bioactive compounds in *Apis mellifera* monofloral honeys. *Journal of food science*, 86(5), 1552–1582. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15706>

Zandamela Mungói, E M F. (2008). Caracterización físico-química y evaluación sanitaria de la miel de Mozambique. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/5701>

Zapata-Vahos, I. C., Henao-Rojas, J. C., Yepes-Betancur, D. P., Marín-Henao, D., Giraldo Sánchez, C. E., Calvo-Cardona, S. J., David, D., & Quijano-Abril, M. (2023). Physicochemical Parameters, Antioxidant Capacity, and Antimicrobial Activity of Honeys from Tropical Forests of Colombia: *Apis mellifera* and *Melipona eburnea*. *Foods* (Basel, Switzerland), 12(5), 1001. <https://doi.org/10.3390/foods12051001>

Zulkifli, M. F., Radzi, M. N. F. M., Saludes, J. P., Dalisay, D. S., & Ismail, W. I. W. (2022). Potential of Natural Honey in Controlling Obesity and its Related Complications. *Journal of evidence-based integrative medicine*, 27, 2515690X221103304. <https://doi.org/10.1177/2515690X221103304>