



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos
(FoodUPV)

Comparación de mieles milflores españolas de diferentes
orígenes en base a su composición en flavonoides y ácidos
fenólicos

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad
Alimentaria

AUTOR/A: Schiatti Siso, Isabella Paola

Tutor/a: Escriche Roberto, M^a Isabel

Director/a Experimental: JUAN BORRAS, MARIA DEL SOL

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

COMPARACIÓN DE MIELES MILFLORES ESPAÑOLAS DE DIFERENTES ORÍGENES EN BASE A SU COMPOSICIÓN DE FLAVONOIDES Y ÁCIDOS FENÓLICOS.

Isabella Paola Schiatti Sisó, Marisol Juan-Borrás¹, Gerardo Caja², Isabel Escriche^{1,3}

RESUMEN

La miel es rica en flavonoides y ácidos fenólicos, considerados como los principales responsables de su actividad antioxidante. En la actualidad se recomienda el análisis específico de la fracción antioxidante, por ello, el objetivo del presente trabajo es la comparación del perfil de flavonoides y ácidos fenólicos de mieles multiflorales de distintos orígenes (comercial, artesanal y procedentes de colmenas experimentales), mediante cromatografía líquida (HPLC-UV), previa extracción en fase sólida. Se identificaron 18 compuestos fenólicos (9 flavonoides y 9 ácidos fenólicos). Las mieles procedentes de colmenas experimentales presentaron la mayor concentración media de compuestos fenólicos (5.13 mg/100 g miel) y las comerciales la más baja (2.58 mg/100 g miel) debido probablemente a la influencia de los tratamientos térmicos industriales. La concentración media de los ácidos fenólicos fue en todos los casos superior a la de los flavonoides, con un contenido especialmente alto para el *vanillic acid*, con valores de 0.77, 1.50, 2.72 mg/100 g miel, respectivamente. Tres flavonoides (*chrysin*, *galangin* y *quercetin*) y dos ácidos fenólicos (*vanillic acid* y *caffeic acid*) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de mieles. Un análisis discriminante lineal puso en evidencia que estos dos últimos compuestos son los que más intervienen en la diferenciación entre los 3 grupos de mieles, con especial separación de las mieles experimentales. Al parecer, el néctar de las flores y/o de las secreciones de las plantas que rodean a estas colmenas aportan a estas mieles características especiales en su perfil antioxidante.

PALABRAS CLAVE: Ácidos fenólicos, Compuestos antioxidantes, Compuestos fenólicos, Flavonoides, Miel.

RESUM

La mel és rica en flavonoides i àcids fenòlics, considerats com els principals responsables de la seua activitat antioxidant. En l'actualitat es recomana l'anàlisi específic de la fracció antioxidant, per això, l'objectiu del present treball és la comparació del perfil de flavonoides i àcids fenòlics de mels

¹ Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos FoodUPV, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera 14, 46022 Valencia – España.

² Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona – España.

³ Departamento de Tecnología de Alimentos (DTAL), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera 14, 46022 Valencia – España.

multiflorals de diferent origen (comercial, artesanal i procedents de ruscos experimentals), mitjançant cromatografia líquida (HPLC-UV), prèvia extracció en fase sòlida. Es van identificar 18 compostos fenòlics (9 flavonoides i 9 àcids fenòlics). Les mels procedents de ruscos experimentals van presentar la major concentració mitjana de compostos fenòlics (5.13 mg/100 g mel) i les comercials la més baixa (2.58 mg/100 g mel), degut probablement a la influència dels tractaments tèrmics industrials. La concentració mitjana dels àcids fenòlics va ser en tots els casos superior a la dels flavonoides, amb un contingut especialment alt per al *vanillic acid*, amb valors de 0.77, 1.50, 2.72 mg/100 g mel, respectivament. Tres flavonoides (*chrysin*, *galangin* i *quercetin*) i dos àcids fenòlics (*vanillic acid* i *caffeic acid*) van mostrar diferències estadísticament significatives entre els tres tipus de mels. Una anàlisi discriminant lineal va posar en evidència que aquests dos últims compostos són els que més intervenen en la diferenciació entre els 3 grups de mels, amb especial separació de les mels experimentals. Pel que sembla, el nèctar de les flors i/o de les secrecions de les plantes que envolten a aquests ruscos aporten a aquestes mels característiques especials en el seu perfil antioxidant.

PARAULES CLAU: Àcids fenòlics, Compostos Antioxidants, Compostos fenòlics, Flavonoides, Mel.

ABSTRACT

Honey is rich in flavonoids and phenolic acids, considered to be the main responsible for its antioxidant activity. At present, the specific analysis of the antioxidant fraction is recommended, therefore, the objective of this work is the comparison of the profile of flavonoids and phenolic acids of multifloral honeys of different origin (commercial, artisanal and from experimental hives), by means of chromatography. liquid (HPLC-UV), after solid phase extraction. Eighteen phenolic compounds were identified (9 flavonoids and 9 phenolic acids). Honeys from experimental hives presented the highest mean concentration of phenolic compounds (5.13 mg/100 g honey) and commercial hives the lowest (2.58 mg/100 g honey), probably due to the influence of industrial heat treatments. The mean concentration of phenolic acids was in all cases higher than that of flavonoids, with a particularly high content for vanillic acid, with values of 0.77, 1.50, 2.72 mg/100 g, respectively. Three flavonoids (*chrysin*, *galangin* and *quercetin*) and two phenolic acids (*vanillic acid* and *caffeic acid*) showed statistically significant differences among the three types of honeys. A linear discriminant analysis showed that these last two compounds are the ones that most intervene in the differentiation between the 3 groups of honeys, with special separation of the experimental honeys. Apparently, the nectar of the flowers and/or the secretions of the plants that surround these hives provide these honeys with special characteristics in their antioxidant profile.

KEY WORDS: Phenolic acids, Antioxidant compounds, Phenolic compounds, Flavonoids, Honey.

INTRODUCCIÓN

La miel es la sustancia natural dulce producida por la abeja *Apis mellifera* a partir del néctar de las flores, de secreciones de partes vivas de plantas o de excreciones de insectos chupadores presentes en ellas, que las abejas recolectan, transforman combinándolas con sustancias específicas propias, depositan, deshidratan, almacenan y dejan en colmenas para que madure (Real Decreto 1049/2003). La miel está constituida fundamentalmente por los azúcares fructosa y glucosa, y agua. Además, posee también otros componentes minoritarios, como: ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes, aminoácidos, compuestos aromáticos, vitaminas y minerales (Ulloa et al., 2010; Codex Alimentarius, 2019).

La composición de la miel puede variar en cierta medida con el origen botánico del néctar de las flores y las secreciones de las plantas que liban las abejas, e incluso con las condiciones ambientales, temporada de cosecha y situación geográfica (Barrera & Llanos, 2023). El valor del contenido polínico ha sido ampliamente utilizado para clasificar la miel atendiendo al origen geográfico y botánico. Sin embargo, este análisis sigue siendo hoy en día un reto para el sector apícola, puesto que el método tradicional (basado en el análisis melisopalínológico por microscopía óptica), consume mucho tiempo, requiere de personal experto y está sujeto a interferencias, lo que hace que esta analítica sea extremadamente compleja y costosa. Por ello, se siguen buscando técnicas analíticas objetivas que permitan identificar el origen de una miel (Juan-Borrás, 2016; Pauliuc et al., 2020; Escriche et al., 2023). Por ello, la información cualitativa y cuantitativa que proporcionan ciertos componentes minoritarios como es el caso del perfil de compuestos antioxidantes, podría ser una buena alternativa como método de autenticación del origen botánico y geográfico de las mieles (Vazquez et al., 2021; Yao et al., 2004).

En la actualidad, los antioxidantes son muy valorados en los alimentos por retrasar o impedir los procesos oxidativos, combatiendo los efectos perjudiciales producidos por los radicales libres (Nagai et al., 2001). Se ha demostrado que estas sustancias juegan un papel esencial en la salud, así como en la prevención y en el tratamiento de algunas enfermedades (Munteanu & Apetrei, 2021). El consumo de altos niveles de antioxidantes se asocia con la disminución del riesgo de sufrir determinadas patologías como cáncer, enfermedades del corazón, sistema inmune, cataratas y diferentes procesos inflamatorios (Samarghandian et al., 2017). La presencia de estas sustancias en la miel contribuye a que sea considerada como un alimento funcional con importantes propiedades nutricionales y terapéuticas, otorgándole un valor añadido a nivel comercial que puede ser aprovechado económicamente (Juan-Borrás, 2016; Escriche et al., 2023). Es el caso de la miel de Manuka, muy cotizada, por su elevado contenido en antioxidantes (Bodor et al., 2021).

Entre los grupos más importantes de compuestos con actividad antioxidante (enzimas, vitaminas, carotenoides y polifenoles), la miel es

especialmente rica en flavonoides y ácidos fenólicos. En numerosos estudios han sido considerados como los principales responsables de su actividad antioxidante (Martos et al., 2000; Nagai et al., 2001; Ulloa et al., 2010; Escriche et al., 2011; Ahmed & Othman., 2013; Juan-Borrás, 2016; Escriche et al., 2014; Angarita & Cobos, 2017; Tanleque-Alberto et al., 2020; Llinares, 2022). Los compuestos fenólicos son moléculas con uno o más grupos hidroxilo que se encuentran unidos a un anillo aromático. La actividad antioxidante de estos compuestos depende, en su mayoría, del número y posición de los grupos hidroxilo (Llinares, 2022). Entre los flavonoides presentes en la miel destacan 4 familias con estructuras similares: *flavanols (epicatechin)*, *flavanones (naringenin, hesperetin)*, *flavones (apigenin-7-glucoside y chrysin)* y *flavonols (galangin, kaempferol, myricetin, quercetin, quercitrin, quercitin-3-glucoside, rutin)* (Angarita & Cobos, 2017). En el caso de los ácidos fenólicos se encuentran 2 familias: *hydroxybenzoic acids (ellagic acid, gallic acid, 4-hydroxybenzoic acid y vanillic acid)* y *hydroxycinnamic acids (caffeic acid, chlorogenic acid, ferulic acid, p-coumaric acid, sinapic acid y trans-cinnamic acid)*. Concretamente los *hydroxycinnamic acids* son más efectivos en cuanto a actividad antioxidante, debido a la presencia de más de un grupo carboxilo y la separación entre el grupo carbonilo y el anillo aromático (Peñarrieta et al., 2014).

Los métodos e instrumentos empleados para medir la actividad antioxidante han experimentado cambios en los últimos años (Munteanu & Apetrei, 2021). Las directrices más recientes de la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) y la AOAC (*Association of Official Agricultural Chemists*) recomiendan evitar las medidas de actividad antioxidante total basados en métodos espectrofotométricos (ORAC, HORAC, TRAP, CUPRAC, FRAP, entre otros). Aunque son económicos, pues reducen la necesidad de estándares analíticos individuales, no requieren de equipos sofisticados, ni personal altamente capacitado, presentan el inconveniente que no son específicos. Es decir, solo dan una estimación aproximada del contenido fenólico total, sin realizar una medición cuantitativa de los compuestos individuales responsables de la actividad antioxidante en el alimento (Apak et al., 2013; Bonet, 2020; Granato et al., 2016; Tahir et al., 2020). En la miel, solo el análisis específico de la fracción antioxidante es útil para diferenciar entre tipos de miel y de procedencias distintas (Tanleque-Alberto et al., 2020; Becerril-Sánchez et al., 2021). Los métodos cromatográficos, especialmente la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), son los más utilizados para la separación y cuantificación de los compuestos constituyentes específicos del perfil fenólico presente en los productos de la colmena, sin embargo, en general, es de difícil aplicación como procedimiento de rutina debido a su alto costo (Escriche & Juan-Borrás, 2018).

La técnica HPLC en fase reversa, acoplada al detector ultravioleta (UV) es una de las más usadas en los métodos instrumentales, debido a que permite el análisis de diversos compuestos químicos que absorben radiación UV, como los compuestos aromáticos, alquenos y moléculas con enlaces C-O, C-N; y además permite la elección de diferentes longitudes de onda de trabajo

sin cambiar filtros o lámparas (Angarita & Cobos, 2017). En el análisis de compuestos fenólicos generalmente se utilizan columnas C18 de fase reversa con una fase móvil que consta de dos disolventes, uno orgánico polar (metanol o acetonitrilo) y agua acidificada (Oroian & Escriche, 2015).

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el perfil de flavonoides y ácidos fenólicos específicos, de mieles multiflorales españolas procedentes de comercios locales, apicultores artesanales y colmenas experimentales. Además, cabe destacar que este estudio puede relacionarse con algunos de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), como: 3. “salud y bienestar” y 9. “industria, innovación e infraestructuras”. Esto es así, dado que está centrado en la evaluación de ciertos compuestos muy valorados actualmente por sus reconocidas propiedades beneficiosas para la salud, lo que indirectamente repercute de manera positiva a nivel industrial por el valor añadido que su presencia aporta a los alimentos que los contienen.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de miel

Para realizar el presente estudio se emplearon un total de 25 muestras de mieles españolas milflores: 9 fueron obtenidas en establecimientos comerciales de grandes superficies del territorio español, 13 de apicultores artesanales conocidos de la zona de Cataluña y las restantes de un colmenar experimental ubicado en la Universitat Autònoma de Barcelona (UABee, correspondientes a las cosechas de primavera y verano de 2021 y la de primavera de 2022) (Rojas-Rojas, 2022). Tras su recepción en el laboratorio de la miel de la Universitat Politècnica de València (LABMIEL), éstas fueron codificadas (Anexo 1) y almacenadas a temperatura ambiente hasta su análisis.

Análisis de compuestos fenólicos por cromatografía líquida (HPLC)

PATRONES Y REACTIVOS

Se utilizaron un total de 18 patrones de pureza superior al 99% (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA), disponibles en el laboratorio LABMIEL: *apigenin-7-glucoside*, *caffeic acid*, *chrysin*, *epicatechin*, *ellagic acid*, *ferulic acid*, *galangin*, *gallic acid*, *4-hydroxybenzoic acid*, *kaempferol*, *naringenin*, *p-coumaric acid*, *quercetin*, *quercitrin*, *quercetin-3-glucoside*, *sinapic acid*, *trans-cinnamic acid* y *vanillic acid*. Es importante mencionar que en el presente estudio todos los compuestos y sus familias se citan en inglés para facilitar su comparación con trabajos publicados previamente.

Los disolventes utilizados para el análisis fueron acetonitrilo (ACN), metanol (MeOH) y ácido fórmico (CH₂O₂) de grado HPLC, se adquirieron en VWR (Gliwice, Polonia). Durante todo el procedimiento de extracción se utilizó agua bidestilada de un sistema Milli-Q disponible en el Instituto de Ingeniería

de Alimentos FoodUPV, donde está ubicado LABMIEL. Las soluciones patrón de trabajo se prepararon mediante la dilución de la cantidad apropiada de la solución madre (1000 mg/L en metanol) para obtener 7 niveles de calibración de diferentes concentraciones finales: 0.5, 1, 3, 6, 10, 20, y 40 mg/L (ppm). Todas las diluciones, la madre y las de trabajo se almacenaban a una temperatura de -20 °C hasta su uso.

EXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA (SPE)

Para el proceso de extracción se siguió el método interno puesto a punto en LABMIEL. A 10 g de muestra, se añadían 15 mL de agua pH2 (acidificada con HCL concentrado), se agitaba con ayuda de un agitador magnético, hasta diluir toda la miel y se pasaba por un filtro de vidrio de 24 mm de diámetro (n° 693, VWR, Francia), con la finalidad de eliminar posibles sólidos insolubles presentes en las muestras. La extracción de los compuestos se realizó con el método extracción en fase sólida (SPE). Para ello, se utilizaron cartuchos Strata-X 3µm Polymeric Reversed Phase de 200 mg/3 mL (Phenomenex, USA), previamente acondicionados con 3 mL de metanol y 3 mL de agua Milli-Q. Los cartuchos se insertaron en un sistema colector para la extracción en SPE acoplado a una bomba de vacío que facilitaba el paso de los disolventes a través de ellos. Posteriormente, se pasaba la muestra y se lavaban los cartuchos con 5 mL de agua pH2 y 15 mL de agua Milli-Q, para eliminar posibles interferencias. Finalmente se dejaban secar durante 2 minutos a vacío, eluyendo los compuestos fenólicos con 3 mL de una mezcla MeOH:ACN (2:1). Del eluido, se filtraba 1 mL con ayuda de un filtro de membrana de nylon (0.45 µm) antes de ser inyectado en el cromatógrafo.

Las muestras fueron extraídas por duplicado, junto con una muestra control (que siempre era la misma) para verificar la repetibilidad del análisis.

CONDICIONES CROMATOGRÁFICAS

Para el análisis se utilizó un cromatógrafo HPLC Agilent 1200 SL series Rapid Resolution, equipado con un desgasificador, una bomba binaria, un inyector automático y un compartimento termostático de la columna a 31°C, acoplado a un detector de diodo array (DAD), que mide la adsorción molecular de la radiación UV del compuesto para su identificación. En la separación de los compuestos fue utilizada una columna en fase reversa Kinetex C18 (250x 4.6 mm, 5 µm de poro) (Phenomenex, USA). La fase móvil binaria estaba compuesta por un disolvente polar acidificado acuoso A (1% CH₂O₂) y un disolvente orgánico menos polar B (100% ACN), a flujo constante 0.5 mL/min, teniendo en cuenta los gradientes detallados en la Tabla 1. Se estableció un volumen de inyección de muestra de 10 µL y un límite de presión max 400 bares. Los análisis se realizaron por duplicado.

TABLA 1. Gradiente (%) establecido en función del tiempo de la fase A y B utilizadas durante el análisis cromatográfico de los compuestos fenólicos.

Tiempo (min)	A (%)	B (%)
0.00	90	10
3.00	85	15
18.00	60	40
24.00	60	40
27.00	34	66
27.10	50	50
33.00	30	70
40.00	10	90
43.00	90	10
45.00	90	10

La obtención y el procesado de los datos se realizó con el programa MassHunter Workstation Software versión B.09.00. Los cromatogramas se registraron a diferentes longitudes de onda, entre 200 y 400 nm, identificando flavonoides y ácidos fenólicos por comparación de tiempos de retención y características espectrales UV, en base a los estándares auténticos utilizados y la bibliografía disponible (Merken & Beecher, 2000). La cuantificación para cada compuesto se realizó a partir de las correspondientes curvas de calibrado obtenidas con los estándares anteriores (n=7), aplicando un análisis de regresión lineal de mínimos cuadrados, representando las áreas de los picos de cada compuesto frente a las concentraciones respectivas. Finalmente, los resultados cuantitativos se expresaron como mg de compuesto por 100 g de miel.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa Statgraphics Centurión v18, mediante una ANOVA simple, con la finalidad de evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas respecto a la concentración de cada compuesto antioxidante, considerando como factor el origen de las mieles (comercial, artesanal, experimental). Se utilizó el intervalo LSD (diferencia mínima significativa), considerando que existen diferencias estadísticamente significativas entre un conjunto de datos, cuando se obtiene un valor P (Pvalue) < 0.05, con un nivel de confianza del 95% y que no existen diferencias estadísticamente significativas cuando se obtiene un valor P (Pvalue) > 0,05, al 95 % de nivel de confianza (Romero & Zúnica, 1993). Además, se llevó a cabo un análisis discriminante lineal (LDA) mediante el software IBM SPSS Statistics (versión 26, Statistical Package for the Social Science, Chicago, EUA) como técnica de clasificación supervisada. La selección de los predictores a incluir en los modelos LDA se realizó mediante el algoritmo paso a paso, aplicando una normalización previa (considerando

la media y la desviación estándar) de los datos correspondientes a las concentraciones calculadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación y cuantificación de los compuestos fenólicos

Mediante la comparación de los tiempos de retención de los correspondientes patrones puros, se identificaron 9 flavonoides y 9 ácidos fenólicos. Los flavonoides se agruparon en 4 familias: *flavanols* (*epicatechin*); *flavanones* (*naringenin*); *flavones* (*apigenin-7-glucoside* y *chrysin*) y *flavonols* (*galangin*, *kaempferol*, *quercetin*, *quercitrin* y *quercetin-3-glucoside*). Los ácidos fenólicos se clasificaron en: *hydroxybenzoic acids* (*ellagic acid*, *gallic acid*, *4-hydroxybenzoic acid* y *vanillic acid*) e *hydroxycinnamic acids* (*caffeic acid*, *ferulic acid*, *p-coumaric acid*, *sinapic acid* y *trans-cinnamic acid*). La Tabla 2 muestra la relación de los 18 compuestos antes mencionados ordenados por tiempos de retención, así como los valores de λ que presentaban la mayor absorbancia, teniendo en cuenta que la cuantificación posterior de cada compuesto se realizó considerando dichos valores.

TABLA 2. Tiempos de retención (RT), longitudes de onda (λ) de máxima absorbancia, ajuste lineal R^2 de los estándares y límite de cuantificación (LQ) para cada compuesto fenólico detectado.

	Compuesto fenólico	RT (min)	λ (nm)	R^2	LQ
FLAVONOIDES					
1	<i>Epicatechin</i>	13.036	280	0.992	0.015
2	<i>Quercetin-3-glucoside</i>	16.416	260	0.992	0.015
3	<i>Quercitrin</i>	18.032	260	0.992	0.015
4	<i>Apigenin-7-glucoside</i>	18.192	320	0.994	0.015
5	<i>Quercetin</i>	23.429	380	0.996	0.015
6	<i>Naringenin</i>	26.147	290	0.992	0.015
7	<i>Kaempferol</i>	27.204	380	0.995	0.015
8	<i>Chrysin</i>	33.953	250	0.992	0.030
9	<i>Galangin</i>	34.605	250	0.997	0.015
ÁCIDOS FENÓLICOS					
10	<i>Gallic acid</i>	06.751	280	0.996	0.015
11	<i>4-Hydroxybenzoic acid</i>	12.849	260	0.997	0.015
12	<i>Caffeic acid</i>	13.606	320	0.992	0.015
13	<i>Vanillic acid</i>	13.663	250	0.992	0.015
14	<i>p-Coumaric acid</i>	16.803	320	0.991	0.015
15	<i>Ellagic acid</i>	16.804	250	0.993	0.015
16	<i>Sinapic acid</i>	17.419	320	0.994	0.015
17	<i>Ferulic acid</i>	17.625	320	0.992	0.015
18	<i>trans-Cinnamic acid</i>	24.679	280	0.991	0.015

Para cuantificar la cantidad presente de cada compuesto, se construyeron las correspondientes rectas de calibrado, tal y como se ha explicado en el apartado de Material y Métodos. Los valores de R^2 de los ajustes lineales se muestran también en la Tabla 2, junto con el límite de cuantificación de cada compuesto (LQ). Se puede observar una buena linealidad en el método (oscilando las R^2 entre 0.991 y 0.997).

Influencia del origen de las mieles analizadas en el contenido de compuestos fenólicos

COMPARACIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS

Con la finalidad de describir de forma gráfica el comportamiento de cada variable se ha representado un diagrama de barras con la concentración de los compuestos identificados (en las mieles analizadas) pertenecientes a la familia de los flavonoides (Figura 1a) y los ácidos fenólicos (Figura 1b). Esta figura muestra los valores medios, así como la desviación estándar de todos ellos, expresando el resultado en mg/100 g miel. Una línea roja indica el límite de cuantificación (LQ) para todos los compuestos, que fue de 0.015 mg/100 g miel, a excepción del *chrysin* que fue de 0.030 mg/100 g miel.

A simple vista se observa que, en general, hay una mayor abundancia de ácidos fenólicos que de flavonoides para los tres tipos de mieles, principalmente debido al elevado contenido de *vanillic acid*, en todas las muestras. También destaca en esta familia la abundancia de otros compuestos como: *caffeic acid*, *ellagic acid*, *4-hydroxybenzoic acid* y *p-coumaric acid*. En cuanto a los flavonoides, son importantes el *chrysin* especialmente en mieles experimentales y artesanales y el *epicatechin* en comerciales y artesanales.

Por otro lado, hay compuestos cuyos valores se encontraban en algún caso por debajo del límite de cuantificación como el *apigenin-7-glucoside*, *naringenin*, *sinapic acid* y *gallic acid*. Sus concentraciones se han calculado y su valor se refleja en las figuras; sin embargo, estos valores no se pueden afirmar con exactitud, ya que no se puede asegurar la linealidad obtenida para ese compuesto, en ese rango de concentración.

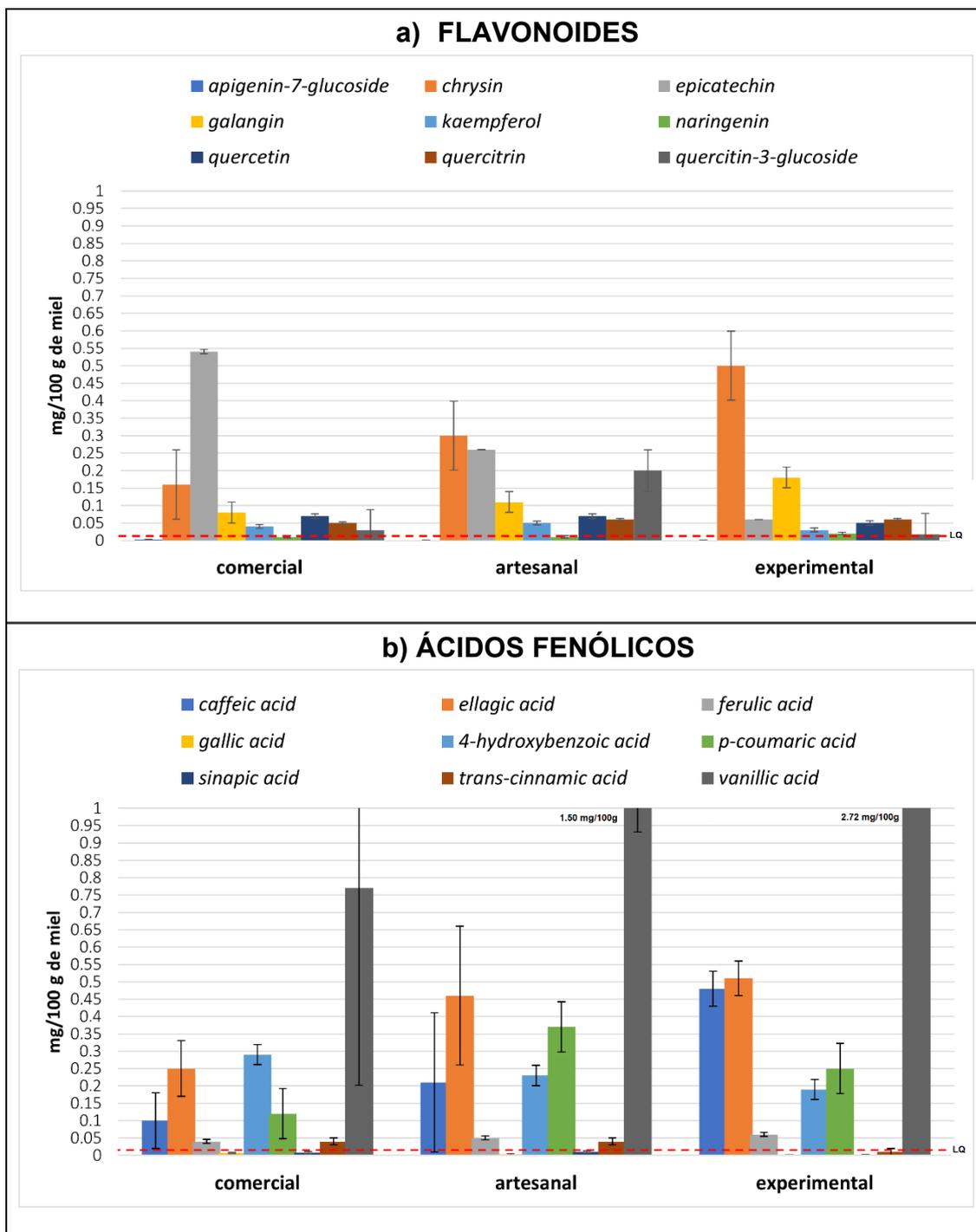


FIGURA 1. Comparación de los compuestos fenólicos identificados (mg/100 g de miel), en base a su origen (comercial, artesanal y experimental), a) flavonoides b) ácidos fenólicos.

EVALUACIÓN DE LA EXISTENCIA DE DIFERENCIAS ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS PARA CADA COMPUESTO

A fin de evaluar si las diferencias observadas entre grupos de muestras son estadísticamente significativas, se ha realizado un ANOVA para cada compuesto, considerando como factor el origen de las mieles, tal y como se ha detallado en el apartado de Materiales y Métodos. La Tabla 3 recoge, agrupados por familias, los valores medios de las concentraciones de los compuestos (mg de compuesto por 100 g de miel), así como los valores mínimo y máximo. También muestra el resultado del ANOVA en cada caso, grupos homogéneos, razón F y la existencia de diferencias significativas considerando el valor P.

De los 18 compuestos, únicamente 5 mostraron diferencias estadísticamente significativas en base al origen de las muestras, 3 flavonoides (*chrysin*, *galangin* y *quercetin*) y 2 ácidos fenólicos (*vanillic acid* y *caffeic acid*), siendo el valor de la razón F más alto de todos para el *caffeic acid*, lo que demuestra que este compuesto puede tener mayor peso en la diferenciación entre grupos de mieles.

El sumatorio total de las medias de flavonoides (considerando *flavanols*, *flavanones*, *flavones* y *flavonols*) de las muestras comercial, artesanal y experimental fue de: 0.97 mg/100 g, 1.05 mg/100 g y 0.90 mg/100 g; mientras que para los ácidos fenólicos (teniendo en cuenta *hydroxybenzoic acids* y *hydroxycinnamic acids*) fue de 1.61 mg/100 g, 2.86 mg/100 g y 4.23 mg/100 g, respectivamente. El compuesto más abundante en los tres grupos de mieles, tal y como se he comentado en la Figura 1, ha sido el *vanillic acid* (perteneciente a la familia de los *hydroxybenzoic acids*), con un valor medio de 0.77 mg/100 g en las mieles comerciales, el doble en mieles artesanales (1.50 mg/100 g) y aproximadamente cuatro veces más en las procedentes de colmenas experimentales (2.72 mg/100 g). Cheung et al (2019), reportaron elevadas concentraciones para el *vanillic acid* en mieles de tomillo de España, proponiéndolo incluso como un compuesto indicador para la identificación de este tipo de miel y su país de procedencia. En la familia de los ácidos fenólicos el ANOVA realizado también mostró diferencias estadísticamente significativas entre orígenes para el *caffeic acid*, con un valor medio más elevado en las mieles experimentales de 0.48 mg/100 g. Escriche et al (2014), mencionan que el *caffeic acid* contribuye a la clasificación de mieles según su origen botánico, reportando elevadas concentraciones de este en mieles españolas de romero y cítricos. Con respecto a los flavonoides, en el presente estudio fueron significativas las diferencias para el *galangin* y *chrysin*, con concentraciones siempre más altas en las mieles experimentales. El *quercetin*, también resultó significativo, pero en este caso con un valor medio ligeramente menor para este último grupo (0.05 mg/100 g), sin diferencias significativas entre los otros dos orígenes.

TABLA 3. Valores medios, mínimos y máximos de las concentraciones (mg/100 g miel) de los compuestos fenólicos identificados en las mieles comerciales, artesanales y experimentales. ANOVA para el factor “origen”.

Compuesto fenólico (mg/100 g miel)	Origen			ANOVA razón F / valor P
	Comercial \bar{X} (min-max)	Artesanal \bar{X} (min-max)	Experimental \bar{X} (min-max)	
FLAVONOIDES				
<i>Flavanols</i>				
<i>Epicatechin</i>	0.54 (0.31-0.76)	0.26 (0.07-0.44)	0.06 (<LQ-0.45)	ns
<i>Flavanones</i>				
<i>Naringenin</i>	<LQ	<LQ	0.015(<LQ-0.020)	ns
<i>Flavones</i>				
<i>Apigenin-7-glucoside</i>	<LQ	<LQ	<LQ	ns
<i>Chrysin</i>	0.16 ^a (0.11-0.21)	0.30 ^b (0.24-0.32)	0.50 ^a (0.40-0.56)	11.52 ^{***}
Σ media Flavones	0.16	0.30	0.50	
<i>Flavonols</i>				
<i>Galangin</i>	0.08 ^a (0.07-0.10)	0.11 ^b (0.10-0.12)	0.18 ^c (0.15-0.20)	10.25 ^{***}
<i>Kaempferol</i>	0.04 (0.03-0.05)	0.05(0.04-0.06)	0.03 (0.01-0.05)	ns
<i>Quercetin</i>	0.07 ^b (0.06-0.08)	0.07 ^b (0.07-0.08)	0.05 ^a (0.04-0.06)	2.70 [*]
<i>Quercitrin</i>	0.05 (0.03-0.06)	0.06 (0.05-0.08)	0.06 (0.03-0.10)	ns
<i>Quercitin-3-glucoside</i>	0.03 (<LQ-0.13)	0.20 (0.12-0.29)	0.010(<LQ-0.180)	ns
Σ media Flavonols	0.27	0.49	0.33	
Σ Total medias FLAVONOIDES	0.97	1.05	0.90	
ÁCIDOS FENÓLICOS				
<i>Hydroxybenzoic acids</i>				
<i>Ellagic acid</i>	0.25 (0.11-0.40)	0.46 (0.33-0.60)	0.51 (0.25-0.77)	ns
<i>Gallic acid</i>	<LQ	<LQ	<LQ	ns
<i>4-Hydroxybenzoic acid</i>	0.29 (0.23-0.35)	0.23 (0.18-0.28)	0.19 (0.08-0.29)	ns
<i>Vanillic acid</i>	0.77 ^a (0.42-1.10)	1.50 ^b (1.20-1.80)	2.72 ^c (2.13-3.31)	8.7 ^{***}
Σ media Hydroxybenzoic acids	1.31	2.19	3.42	
<i>Hydroxycinnamic acids</i>				
<i>Caffeic acid</i>	0.10 ^a (0.05-0.14)	0.21 ^b (0.17-0.25)	0.48 ^c (0.40-0.56)	15.6 ^{***}
<i>Ferulic acid</i>	0.04 (0.03-0.05)	0.05 (0.04-0.06)	0.06 (0.04-0.08)	ns
<i>p-Coumaric acid</i>	0.12 (<LQ-0.28)	0.37 (0.24-0.51)	0.26 (<LQ-0.54)	ns
<i>Sinapic acid</i>	<LQ	<LQ	<LQ	ns
<i>trans-Cinnamic acid</i>	0.04(0.01-0.06)	0.04 (0.01-0.06)	0.01 (<LQ-0.06)	ns
Σ media Hydroxycinnamic acids	0.30	0.67	0.81	
Σ Total medias ÁCIDOS FENÓLICOS	1.61	2.86	4.23	
Σ Total medias FLAVONOIDES y ÁCIDOS FENÓLICOS	2.58	3.91	5.13	

Las letras a, b, c en la misma fila indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% obtenidos en base a un estudio LSD; ns: no hay diferencias significativas; LQ: Límite de cuantificación, LQ=0.015, LQ chrysin=0.03; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001.

Considerando el sumatorio total medio de compuestos fenólicos, se alcanzaron valores de 5.13, 3.91 y 2.58 mg/100 g para las mieles experimentales, artesanales, comerciales, respectivamente. La menor concentración en este último grupo de mieles puede estar relacionado con los tratamientos térmicos a los que se somete la miel en la industria. Estos tratamientos tienen por finalidad eliminar núcleos de cristalización y levaduras que pueden facilitar su fermentación. Sin embargo, si estos tratamientos no son agresivos, la alteración no es importante tal y como han reportado algunos autores (Escriche et al., 2014 y Wang et al., 2004). También hay que considerar que el contenido de estos compuestos depende fundamentalmente del origen geográfico, relacionado a su vez con el origen botánico del cual las abejas extraen el néctar (o las secreciones de las plantas obtener la miel). Se ha demostrado que esta característica permite diferenciar tipos de miel, incluso entre zonas de un mismo país (Tanleque-Alberto, 2020) y también según su monofloralidad. Por ello, algunos autores han atribuido al origen floral las elevadas concentraciones de determinados compuestos, como es el caso del *ellagic acid* en mieles de eucalipto (Muñoz et al., 2007); *naringenin*, *caffeic acid* en mieles de cítricos o *p-coumaric acid* en miel de mielada (Escriche et al., 2011); *kaempferol*, *chrysin*, *caffeic acid* y *naringenin*, en mieles de romero (Escriche et al., 2014). En el presente estudio, a excepción del *vanillic acid*, no fueron encontrados valores muy elevados de ningún compuesto, probablemente debido al hecho de que se trata de mieles milflores, en las que no hay una predominancia importante del néctar de ninguna especie botánica.

CLASIFICACIÓN DE LAS MIELES

Del ANOVA se concluye que ciertos compuestos, pueden contener información útil para la diferenciación de las mieles según su origen. Con la finalidad de conocer hasta qué punto las variables independientes (compuestos antioxidantes) clasifican correctamente las mieles consideradas, se aplicó un análisis discriminante (LDA). Se trata de una técnica de análisis multivariante que procura encontrar relaciones lineales entre las variables continuas que mejor discriminen entre un conjunto de categorías previamente definidas (Fontalvo Herrera et al., 2012). Para la realización de este análisis se construyó una matriz de datos que contenía los objetos (25 muestras x 2 repeticiones), y 15 variables predictoras normalizadas. No se consideraron las 3 variables cuyos valores se encontraban por debajo del LQ en todos los grupos. Esta matriz contenía la asignación relacionada con el origen de cada tipo de miel: 1 (artesanal), 2 (comercial), 3 (experimental).

La Figura 2 muestra el resultado del análisis discriminante realizado. Se observa una clara separación de los tres grupos, especialmente de las mieles procedentes de colmenas experimentales. Este hecho puede deberse, probablemente, a que el néctar de las flores o las secreciones de las plantas en donde se ubican las colmenas experimentales (UABee) presentan en su composición ciertas características singulares respecto a la presencia de compuestos antioxidantes. Estas peculiaridades se transmiten a las mieles hasta el punto de permitir su diferenciación de los otros dos grupos.

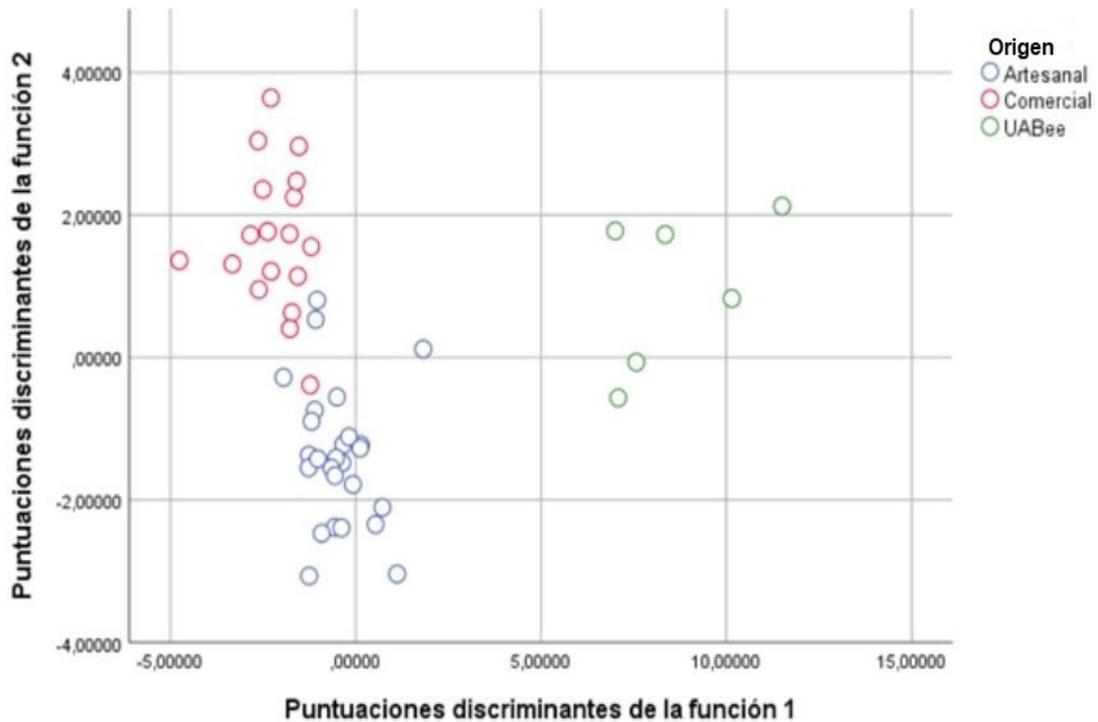


FIGURA 2. Gráfico de puntuaciones discriminantes de la función 1 (F1: 87.2%) y de la función 2 (F2: 12.8%) del modelo de LDA construido para diferenciar mieles en función de su origen.

Con la finalidad de evaluar las variables predictoras que más han contribuido en la discriminación de los tres grupos, la Tabla 4 muestra los coeficientes estandarizados de las dos funciones discriminantes canónicas resultantes del análisis, una representaba el 83.6% y la otra el 16.4% de la variabilidad total de los datos. Las variables con mayor peso en la función 1 fueron: *caffeic acid* y *vanillic acid*, por lo tanto, estos dos compuestos son los que más contribuyen en la diferenciación de las mieles experimentales de las demás.

TABLA 4. Coeficientes de función discriminante canónica estandarizados de la función 1 (83.6%) de la variabilidad, la función 2 el (16.4%).

	Función	
	1	2
<i>4-Hydroxybenzoic acid</i>	-.429	3.167
<i>Epicatechin</i>	.028	1.892
<i>Caffeic acid</i>	7.751	-1.842
<i>Vanillic acid</i>	-4.108	5.404
<i>Quercetin 3-glucoside</i>	-2.722	-2.101
<i>Quercitrin</i>	.366	-.613
<i>trans-Cinnamic</i>	1.366	2.344
<i>Naringenin</i>	-1.285	1.043
<i>Kaempferol</i>	-.877	-1.400
<i>Chrysin</i>	-.701	-6.954

CONCLUSIONES

Se han identificado 18 compuestos fenólicos: 9 flavonoides y 9 ácidos fenólicos. En general, las mieles procedentes de colmenas experimentales presentaron los niveles más altos de estos compuestos y las comerciales los más bajos. Al parecer, los tratamientos industriales a los que se someten éstas últimas, podrían ser la principal causa de la menor presencia de estos compuestos en ellas. en ellas de estos compuestos.

En líneas generales, la concentración media de los ácidos fenólicos ha sido superior a la de los flavonoides en los tres grupos de mieles analizadas, especialmente en las procedentes de colmenas experimentales, siendo el *vanillic acid*, el compuesto con un nivel más alto en todos los casos. Su abundancia fue 2 veces superior en las mieles artesanales y 4 veces en las experimentales con relación a las comerciales.

Únicamente 5 compuestos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de mieles: 3 flavonoides (*chrysin*, *galangin* y *quercetin*) y 2 ácidos fenólicos (*vanillic acid* y *caffeic acid*). El análisis discriminante realizado demostró que son estos dos ácidos fenólicos los que más contribuyen en la diferenciación entre los 3 grupos de mieles. Se observa una importante separación para las mieles procedentes de las colmenas experimentales, probablemente influenciada por características específicas de las plantas que crecen en las zonas cercanas a estas colmenas. Esto demuestra la relación directa de la flora con la composición de antioxidantes específicos en las mieles, y, por lo tanto, el valor de la determinación analítica desarrollada en este trabajo para la diferenciación de tipos de miel según origen botánico y geográfico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto AGROALNEXT/2022/043, financiado por la Generalitat Valenciana, Next Generation European Union y Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España.

REFERENCIAS

- Ahmed, S., & Othman, N. H. (2013). Honey as a potential natural anticancer agent: a review of its mechanisms. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*.
- Angarita Salamanca, L. X., & Cobos Torres, D. M. (2017). Estudio Cromatográfico por HPLC-UV, Cuantificación de Fenoles, Flavonoides y Evaluación de la Capacidad Antioxidante en Miel de Abejas (Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas).
- Apak, R., Gorinstein, S., Böhm, V., Schaich, K. M., Özyürek, M., & Güçlü, K. (2013). Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 85(5), 957-998.
- Barrera, O. I. C., & Llanos, G. A. H. (2023). Factores que determinan las propiedades fisicoquímicas de la miel de abejas: Revisión Sistemática de Literatura. *Revista Mutis*, 13(1), 1-28.
- Becerril-Sánchez, A. L., Quintero-Salazar, B., Dublán-García, O., & Escalona-Buendía, H. B. (2021). Phenolic compounds in honey and their relationship with antioxidant activity, botanical origin, and color. *Antioxidants*, 10(11), 1700.
- Bodor, Z., Benedek, C., Kovacs, Z., & Zinia Zaukuu, J. L. (2021). Identification of Botanical and Geographical Origins of Honey-Based on Polyphenols. *Plant-Based Functional Foods and Phytochemicals*; Apple Academic Press: Palm Bay, FL, USA, 125-161.
- Bonet Galarza, M. (2020). Desarrollo de un método analítico para la determinación de la actividad antioxidante mediante HPLC (Trabajo fin de grado, Universitat Politècnica de València).
- Cheung, Y., Meenu, M., Yu, X., & Xu, B. (2019). Phenolic acids and flavonoids profiles of commercial honey from different floral sources and geographic sources. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 290-308.
- Comisión del Codex Alimentarius. (2019). Norma para la miel. CXS 12-1981. Adoptada en 1981. Revisada en 1987 y 2001. Enmendada en 2019. págs 1-9.
- Escriche I., Kadar M., Juan-Borrás M. & Domenech E. (2014). Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of Spanish honey. Impact of industrial thermal treatment. *Food Chemistry*, 142, 135–143.
- Escriche, I., & Juan-Borrás, M. (2018). Standardizing the analysis of phenolic profile in propolis. *Food Research International*, 106, 834-841.
- Escriche, I., Conchado, A., Peral, A. M., & Juan-Borrás, M. (2023). Volatile markers as a reliable alternative for the correct classification of citrus monofloral honey. *Food Research International*, 168, 112699.
- Escriche, I., Kadar, M., Juan-Borrás, M., & Domenech, E. (2011). Using flavonoids, phenolic compounds and headspace volatile profile for botanical authentication of lemon and orange honeys. *Food Research International*, 44(5), 1504–1513.

- Fontalvo Herrera, T., De la Hoz Granadillo, E., & Vergara, J. C. (2012). Aplicación de análisis discriminante para evaluar el mejoramiento de los indicadores financieros en las empresas del sector alimento de Barranquilla-Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 20(3), 320-330.
- Granato, D., Santos, J. S., Maciel, L. G., & Nunes, D. S. (2016). Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 80, 266-279.
- Juan-Borrás, M. D. S. (2016). Herramientas analíticas en la clasificación de mieles en base a criterios de calidad e inocuidad (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Llinares Grau, M. (2022). Propiedades antioxidantes de mieles de Mozambique en base a su composición en flavonoides y ácidos fenólicos (Trabajo fin de grado, Universitat Politècnica de València).
- Manzano, J. (2022). Manual de Apicultura en Sistemas de Producción Ecológica (4a. ed.). España, Guadalajara: Ecocolmena. Profesor de apicultura y perito judicial en apicultura – Socio fundador de Ecocolmena
- Martos, I., Ferreres, F., Yao, L. H., D'Arcy, B. R., Caffin, N., & Tomás-Barberán, F. A. (2000). Flavonoids in monospecific Eucalyptus honeys from Australia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4744–4748.
- Merken, H. M. Y., & Beecher, G. R. (2000). Measurement of food flavonoids by high performance liquid chromatography: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(3), 577–599.
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380.
- Muñoz, O., Copaja, S., Speisky, H., Peña, R. C., & Montenegro, G. (2007). Contenido de flavonoides y compuestos fenólicos de mieles chilenas e índice antioxidante. *Química Nova*, 30, 848-851.
- Nagai, T., Sakai, M., Inoue, R., Inoue, H., & Suzuki, N. (2001). Antioxidative activities of some commercially honeys, royal jelly, and propolis. *Food chemistry*, 75(2), 237-240.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Visto el 30 de junio de 2023. <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>.
- Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, 74, 10-36.
- 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.
- Peñarrieta, J. M., Tejada, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista boliviana de química*, 31(2), 68-81.
- Real Decreto 1049/2003 [Ministerio de la Presidencia], de 1 de agosto, por el que se aprueba la Norma de calidad relativa a la miel. Última modificación 22 de junio de 2020. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/08/01/1049>.
- Rojas-Rojas, Edna L & Caja López G. (2022). Producción y calidad de mieles multiflorales comparación de muestras comerciales con la producida en el colmenar experimental UABee (Trabajo fin de master, Universitat Autònoma de Barcelona).

- Romero, R. & Zúnica, L. (1993). Estadística. Diseño de experimentos. Modelos de regresión. Editorial:SPUPV 93.637. Valencia.
- Samarghandian, S., Farkhondeh, T., & Samini, F. (2017). Honey and health: A review of recent clinical research. *Pharmacognosy research*, 9(2), 121.
- Tahir, H. E., Arslan, M., Mahunu, G. K., Shi, J., Zou, X., Gasmalla, M. A. A., & Mariod, A. A. (2020). Data fusion approach improves the prediction of single phenolic compounds in honey: A study of NIR and Raman spectroscopies. *eFood*, 1(2), 173-180.
- Tanleque-Alberto, F., Juan-Borrás, M., & Escriche, I. (2020). Antioxidant characteristics of honey from Mozambique based on specific flavonoids and phenolic acid compounds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 86, 103377.
- Ulloa, J. A., Mondragon Cortez, P., Rodríguez Rodríguez, R., Reséndiz Vázquez, J. A., & Rosas Ulloa, P. (2010). La miel de abeja y su importancia. *CONACYT*.
- Vazquez, L., Armada, D., Celeiro, M., Dagnac, T., & Llupart, M. (2021). Evaluating the presence and contents of phytochemicals in honey samples: Phenolic compounds as Indicators to Identify their botanical origin. *Foods*, 10(11), 2616.
- Wang, X. H., Gheldof, N., & Engeseth, N. J. (2004). Effect of processing and storage on antioxidant capacity of honey. *Journal of Food Science*, 69(2), 96–101.
- Yao, L., Jiang, Y., D'Arcy, B., Singanusong, R., Datta, N., Caffin, N., & Raymont, K. (2004). Quantitative high-performance liquid chromatography analyses of flavonoids in Australian Eucalyptus honeys. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(2), 210-214.

ANEXOS

ANEXO 1

Codificación de las muestras de miel, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Laboratorio de la miel (LABMIEL), teniendo en cuenta su origen.

Código UAB	Código LABMIEL	Origen muestra
CAA/001	I-22104	Comercial
CAA/002	I-22105	Comercial
CAA/003	I-22106	Comercial
CAA/004	I-22107	Comercial
CAA/005	I-22108	Comercial
CAA/006	I-22109	Comercial
CAA/007	I-22110	Artesanal
CAA/008	I-22111	Comercial
CAA/009	I-22112	Artesanal
CAA/010	I-22113	Artesanal
CAA/011	I-22114	Artesanal
CAA/012	I-22115	Experimental
CAA/013	I-22116	Comercial
CAA/014	I-22117	Experimental
CAA/015	I-22118	Artesanal
CAA/016	I-22119	Artesanal
CAA/017	I-22120	Artesanal
CAA/018	I-22121	Artesanal
CAA/019	I-22122	Artesanal
CAA/020	I-22123	Comercial
CAA/021	I-22124	Artesanal
CAA/022	I-22125	Experimental
CAA/023	I-22126	Artesanal
CAA/024	I-22127	Artesanal
CAA/025	I-22128	Artesanal

ANEXO 2

Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030

Grado de relación del Trabajo Fin de Máster con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLES (ODS)	ALTO	MEDIO	BAJO	NO PROCEDE
ODS 1. Fin de la pobreza.				X

ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.	X			
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto:

3- SALUD Y BIENESTAR: En un estudio publicado en la Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura, la miel habría evitado el crecimiento de tumores en ratones. Los antioxidantes presentes en ella también ayudaron a su sistema inmunológico a combatir mejor los resfriados y la gripe (Manzano, 2022). Es por esto que hoy en día se siguen realizando numerosos estudios científicos que permitan comprender mejor los mecanismos y los efectos beneficiosos que proporciona el consumo de miel, ayudando a prevenir enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, como el cáncer y fortaleciendo el sistema inmune en los humanos.

9- INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS: Los avances tecnológicos también son esenciales para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales. De esta forma, la comisión al parlamento europeo y el consejo sobre la implementación de programas apícolas, buscan inversión en investigación e innovación científica que permita rescatar la industria apícola, la cual realiza una contribución inestimable a muchos sectores, como el agrícola con la polinización de los cultivos, además de proporcionar miel y otros productos apícolas con valor añadido, como lo es la miel rica en antioxidantes.