



EVALUACIÓN POR FTIR DE EXTRACTOS DE PROPÓLEOS DE ABEJAS SIN AGUIJÓN DE BOCHALEMA-NORTE DE SANTANDER

FTIR EVALUATION OF PROPOLIS EXTRACTS FROM STINGLESS BEES FROM BOCHALEMA, NORTE DE SANTANDER

María Camila Gamboa Rodríguez ¹

Amanda Lucía Chaparro García ²

Diana Alexandra Torres Sánchez ³

¹Química en formación, Universidad de Pamplona, Programa de Química, Grupo de Investigación en Recursos Naturales (GIRN), Pamplona, Colombia. maria.gamboa3@unipamplona.edu.co

²Doctora en Química, Universidad de Pamplona, Programa de Química, Grupo de Investigación en Recursos Naturales (GIRN), Pamplona, Colombia. achaparro@unipamplona.edu.co

³Doctora en Ciencias-Química, Universidad de Pamplona, Programa de Química, Grupo de Investigación en Biocalorimetría, Pamplona, Colombia. datorres@unipamplona.edu.co

Citación: Gamboa, M., Chaparro, A. y Torres, D. (2024). Evaluación por FTIR de extractos de propóleos de abejas sin aguijón de Bochalema-Norte de Santander. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 157-173. <https://doi.org/10.22490/21456453.6552>

RESUMEN

Contextualización: el propóleo es producido por las abejas a partir de resinas recolectadas de brotes o exudados de plantas; se emplea para sellar grietas y reducir el riesgo de enfermedades dentro de la colmena. Las propiedades medicinales del propóleo son bien conocidas, reportándose hasta ahora cualidades como antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante y citotóxica. En el país, se han realizado investigaciones de diferentes propiedades del propóleo, pero la diversidad de abejas y plantas es tan variada que se requieren muchos más análisis para establecer una norma de calidad acorde.

Vacío de conocimiento: la composición química del propóleo está estrechamente relacionada con la vegetación cercana al sitio de recolección y la especie de abeja que lo produce. En Colombia, el vacío de información en relación con la composición química de propóleos de las abejas nativas sin aguijón es grande, específicamente en el departamento de Norte de Santander.

Propósito: evaluación por FTIR de extractos etanólicos de propóleos de abejas sin aguijón de las especies: *Scaptotrigona sp.*, *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera*, colectados en Bochalema, Norte de Santander, y comparados con el de *Apis mellifera*.

Metodología: El propóleo colectado se congeló a -18°C , y luego se trituró. Se pesa-

ron 0,25g que luego se extrajeron con 5ml de etanol al 96% a temperatura ambiente, después se mantuvieron durante dos semanas realizando agitaciones manuales; posteriormente se procedió a centrifugar, se filtró y se llevó a la incubadora hasta que se eliminó el disolvente; los espectros ATR-FTIR fueron obtenidos en la región de $4000\text{-}600\text{ cm}^{-1}$, resolución 4 cm^{-1} y 48 scans, se identificaron las bandas donde se muestran las regiones espectrales asociadas a biomoléculas; luego, se realizó la matriz de datos para el PCA y dendrograma en la región de huella dactilar para orden cero, primera y segunda derivada.

Resultados y conclusiones: los resultados mostraron que los extractos de todas las especies presentaron bandas que indican la presencia de compuestos fenólicos, hidrocarburos, esterés, además del residuo de cera restante en las muestras. Se concluye que FTIR combinada con quimiometría, permite establecer diferencias y similitudes entre las muestras de propóleos, indicando que las abejas tienen preferencias específicas de las plantas que tienen disponibles para la recolección de las resinas. Adicionalmente, los extractos de *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera* tienen composición similar al de *Apis mellifera*, y el de la especie *Scaptotrigona sp.* resulta ser diferente.

Palabras clave: abejas sin aguijón, FTIR, propóleo

ABSTRACT

Contextualization: Propolis is produced by bees from resins collected from shoots of plants or plant exudates. It is used to seal cracks and reduce the risk of diseases within the hive. The medicinal properties of propolis are well known, with antimicrobial, anti-inflammatory, antioxidant, and cytotoxic activities reported so far. Research has been carried out in Colombia on different properties of propolis. However, the diversity in bees and plants is so diverse that many more analyses are necessary to establish an appropriate quality standard.

Knowledge gap: The chemical composition of propolis is closely related to the vegetation near the harvesting site and the bee species that produce it. In Colombia, the information gap regarding the chemical composition of propolis from native stingless bees is significant, specifically in the Norte de Santander department.

Purpose: To evaluate, through the FTIR, the ethanolic extracts of stingless bee propolis of the *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula*, and *Frieseomelitta paupera* species collected in Bochalema, Norte de Santander; and to compare them with that of *Apis mellifera*.

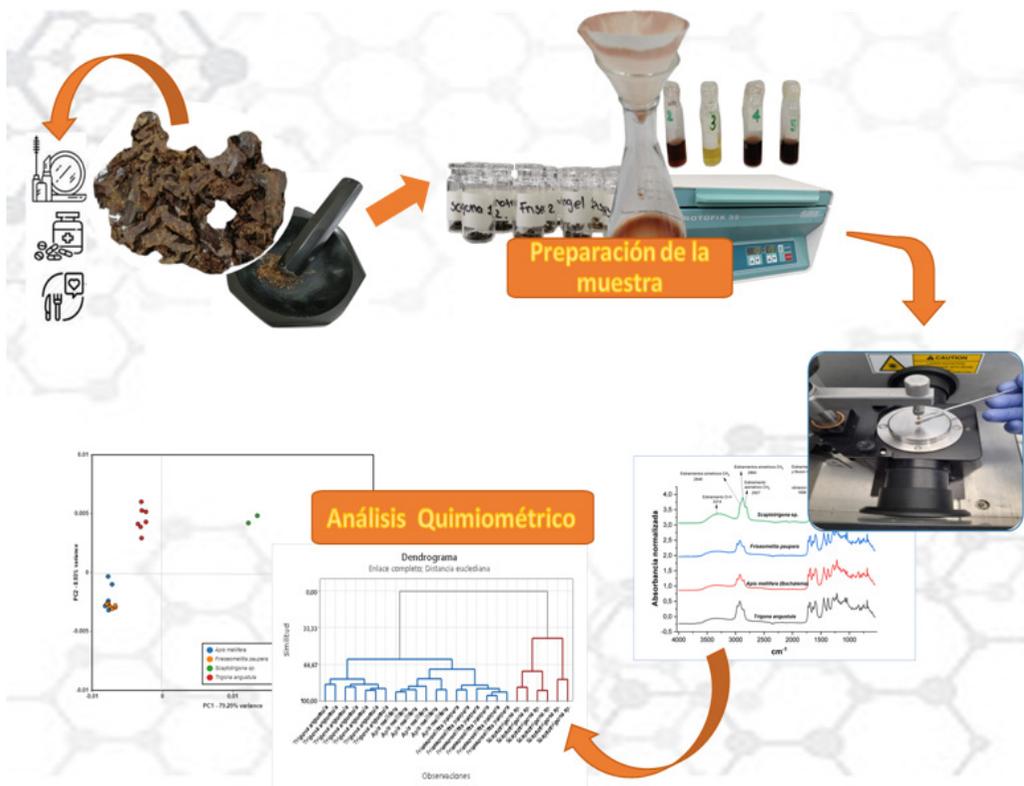
Methodology: The collected propolis was frozen at -18°C and then crushed. From

which, 0.25g was weighed and extracted with 5ml of 96% ethanol at room temperature. For two weeks, they were kept in manual shaking. It was then centrifuged, filtered, and placed in the incubator until the solvent was removed. ATR-FTIR spectra were obtained in the $4000\text{-}600\text{cm}^{-1}$ region, 4cm^{-1} resolution, and 48 scans. Furthermore, the bands showing spectral regions associated with biomolecules were identified. Subsequently, the data matrix for the PCA and dendrogram in the fingerprint region for zero order, first and second derivative was carried out.

Results and conclusions: Results showed that the extracts of all species had bands indicating the presence of phenolic compounds, hydrocarbons, and esters, in addition to the wax residue left in the samples. It is concluded that FTIR combined with chemometrics allows establishing of differences and similarities between propolis samples, indicating that bees have specific preferences for the plants available for resin collection. Additionally, the extracts of *Trigona angustula* and *Frieseomelitta paupera* have a similar composition to that of *Apis mellifera*, whereas *Scaptotrigona* sp. extract is different.

Keywords: propolis, FTIR, stingless bees

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La biodiversidad en los ecosistemas y la producción mundial de la agricultura, dependen directamente de la polinización de las abejas, ya que actúan como “proveedores de servicios” (Herrera-López *et al.*, 2019). Las abejas proporcionan variedad de productos a los humanos; uno de los productos apícolas de uso más extendido es la miel, sin embargo, existen

otros productos de las abejas por los que la humanidad ha mostrado gran interés, entre ellos se pueden mencionar la cera, el polen, la jalea real y el propóleo, siendo este último el más aprovechado desde hace aproximadamente tres mil años por los sacerdotes del antiguo Egipto, los cuales lo empleaban como medicina y como un ungüento (Kuropatnicki *et al.*, 2013)

El propóleo es un material producido por las abejas a partir de sus secreciones salivales, cera y sustancias resinosas, que recogen de diferentes soportes vegetales como cogollos, ramas jóvenes, o heridas de ciertos árboles (álamos, abedules, sauces, hayas, entre otros) y arbustos. En la colmena, el propóleo tiene múltiples usos: sirve para rellenar grietas o huecos, para sellar contra la humedad y proteger del desarrollo de moho, y para resguardar la colonia de enemigos estrechando la entrada de la colmena (Monteil *et al.*, 2022).

La composición del propóleo es variada por su origen botánico y geográfico. Básicamente, el propóleo crudo se compone principalmente de resinas vegetales (50-70%), aceites y ceras (30-50%), 10% de polen y otros compuestos químicos que incluyen aminoácidos, minerales, azúcares, vitamina B, C y E, flavonoides, fenol y compuesto aromáticos (5%-10%). Los flavonoides, fenoles, diterpenos y compuestos alifáticos son los principales compuestos químicos que caracterizan los diferentes tipos de propóleos (álamo, brasileño y mediterráneo), y son responsables de su actividad antimicrobiana (Bouchelaghem, 2022).

Actualmente en Colombia, la meliponicultura es una actividad agrícola que está iniciando, pero cada vez toma más fuerza; sin embargo, pocos saben de las abejas nativas, y del potencial de mercadeo de sus productos, lo cual requerirá tener una buena cantidad de estudios de sus propiedades para sentar las bases que permitan

establecer normas de calidad que faciliten la comercialización interna y externa.

La metodología utilizada para realizar control de calidad involucra generalmente técnicas instrumentales de análisis; muchas de ellas, se realizan para establecer si un producto se ajusta a la descripción que el productor o procesador indica, es decir, se puede comprobar su autenticidad. La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), se ha convertido en uno de los medios analíticos más útiles debido a sus méritos, incluida la detección rápida, la fácil operación y el ahorro de costos. Esta se basa en los cambios en los modos vibratorio y rotacional de las moléculas al recibir luz infrarroja (Derrick, 1989). Como cada muestra tiene una composición química única, sus modos vibratorios y espectros asociados son únicos, lo que hace que la técnica sea altamente sensible y precisa. La espectroscopia ATR-FTIR vinculada con quimiometría proporciona una forma efectiva de determinar las propiedades físicas y químicas de los materiales.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar, mediante espectroscopia FTIR, los extractos etanólicos de propóleos de abejas sin aguijón de las especies *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula*, *Friesomelitta paupera*, colectados en Bochalema, Norte de Santander, y compararlos con el de *Apis mellifera* para después discriminarlos mediante análisis de componentes principales y análisis de conglomerados a partir de las matrices de datos generadas con los espectros infrarrojos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Origen geográfico: las muestras de propóleo de las especies de abejas sin aguijón *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera*, y la especie *Apis mellifera* (africanizada), fueron colectadas en marzo de 2022, en la vereda Zarcuta del municipio de Bochalema, ubicado en Norte de Santander (latitud: 7,58, longitud: -72,64, altitud: 1027 msnm).

El propóleo colectado de las colmenas fue almacenado en bolsas de cierre hermético, se llevó al laboratorio de Biocalorimetría de la Universidad de Pamplona, posteriormente, se rotuló y se congeló a -18°C , después de congelado, se procedió a macerarlo.

Preparación de extractos: los extractos se prepararon por duplicado para cada especie; para ello, se pesaron 25 g del propóleo ya triturado (Figura 1), se extrajeron tres veces con etanol al 96% (5 mL) a temperatura ambiente y se mantuvieron durante dos semanas realizando agitaciones manuales (Boisard *et al.*, 2014). Después de las dos semanas, se procedió a centrifugar la mezcla a 1000 rpm durante 20 minutos utilizando una centrífuga (Hettich universal 320R, Alemania). Seguidamente, a la muestra sobrenadante se le adicionó 10 mL de etanol (96%) para lavarla, se llevó a la centrifuga a 2000 rpm durante 20 minutos, después de lavado el sobrante se combinó con la muestra, por último, se filtraron con papel filtro para separar las ceras precipitadas (Figura 1), el filtrado se

llevó a la incubadora (Memmert SE 200 sterilisator) hasta que se eliminó el disolvente. Los extractos se realizaron por duplicado, para cada una de las cuatro especies evaluadas.

Análisis de extracto de propóleo (ATR-FTIR): las mediciones por espectroscopia ATR-FTIR se realizaron en un espectrofotómetro FTIR marca SHIMADZU modelo IR Prestige-21, provisto de un detector DLATGS (Deuterated L- Alanine Doped Triglycene Sulphate) y equipado con un accesorio ATR modelo MIRacle, marca Pike Technologies, con cristal de diamante. Se calibró el equipo empleando poliestireno como estándar de calibración. Los espectros se obtuvieron en la región del infrarrojo medio, con un barrido de 4000 cm^{-1} hasta 600 cm^{-1} , a una resolución de 4 cm^{-1} y 48 scans. Cada extracto se analizó por triplicado de manera independiente. La adquisición de los datos se realizó utilizando el software del equipo, IR Solution 2002.

Tratamiento espectral: una vez adquiridos los espectros, se les aplicó tratamiento de corrección de línea base para minimizar la diferencia entre los espectros durante el cambio de línea base, suavizado y normalizado, para reducir el ruido en datos espectrales y regularización de los datos con respecto a las variaciones en la preparación de la muestra, utilizando el programa ORIGIN 2018 (OriginLab Corporation, USA); posteriormente, se realizó el cálculo de primera y segunda

derivada de cada espectro empleando el mismo programa. Después de que los espectros fueron tratados, y se calculó primera y segunda derivada, se utilizaron como datos de entrada para la aplicación del método multivariado PCA y análisis de conglomerados.

Análisis quimiométrico: los análisis de componentes principales y análisis de conglomerados se realizaron con el fin de reconocer muestras atípicas, discriminar los cuatro extractos de propóleos e identificar las variables (números de onda) responsables de esta discriminación, a partir de las diferencias espectrales, utilizando el

software BIOVINCI (BioTuring-USA) para PCA y MINITAB (LLC-USA) para HCA a un nivel de significancia de 0,05. Aunque el rango de trabajo fue de 4000 cm^{-1} a 600 cm^{-1} , el análisis quimiométrico se realizó, teniendo en cuenta lo reportado por algunos autores, solamente a partir de una matriz de datos con los espectros obtenidos empleando la región de huella dactilar (1800 cm^{-1} - 600 cm^{-1}) de orden cero, primera y segunda derivada, y se definió cual tratamiento discriminó mejor las muestras. Las distancias espectrales fueron analizadas mediante la correlación de Pearson, y en la determinación de las similitudes de la muestra se utilizó la distancia euclidiana.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas de extractos etanólico de propóleo

Las características físicas están relacionadas con la fuente vegetal, el método de recolección y el clima de la región donde es recolectado (Rodríguez *et al.*, 2020). Se realizaron observaciones físicas de color de los extractos, encontrando que los extractos etanólicos de muestras de

Scaptotrigona sp., *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera* y *Apis mellifera* (Bochalema), mostraron intensidades variables de tonalidades marrones; los extractos de *Scaptotrigona* sp. y *Frieseomelitta paupera* exhibieron el color marrón más oscuro mientras que *Trigona angustula*, *Apis mellifera* (Bochalema) y *Melipona favosa* fueron de color marrón más claro (Figura 1).

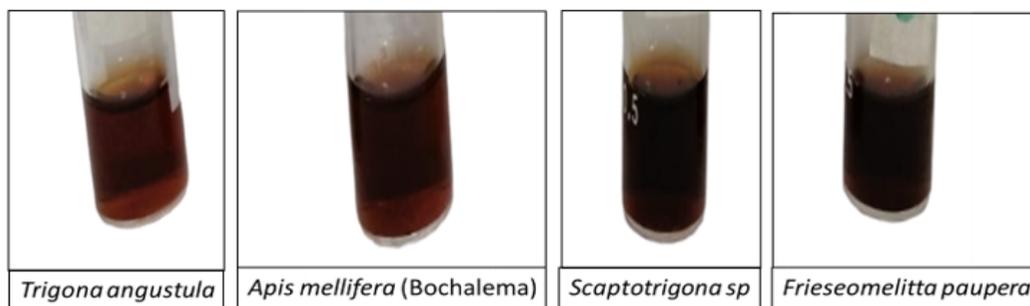


Figura 1. Extractos etanólicos de muestras de propóleo.

Fuente: autores.

Análisis de las muestras de extractos etanólicos de propóleo mediante ATR-FTIR

En los espectros de ATR-FTIR de extractos de propóleo (Figura 2), se evidenció la absorción a $3314 - 3283 \text{ cm}^{-1}$ atribuida a la presencia de compuestos flavonoides y fenólicos (Cai *et al.*, 2020). Asimismo, las bandas a $2970 - 2927 \text{ cm}^{-1}$ y 2864 cm^{-1} correspondieron con los tramos simétricos de CH_3 y tramos asimétricos de CH_2 de hidrocarburos insaturados y aromáticos. Estas bandas se detectaron en todas las muestras de extractos etanólicos examinadas, pero con diferentes intensidades; de hecho, el propóleo *Scaptotrigona sp.*, *Tri-*

gona angustula y *Frieseomelitta paupera* tienen los picos más intensos. Por otra parte, las absorbancias a 1701 cm^{-1} ($\text{C}=\text{O}$), 1633 cm^{-1} ($\text{C}=\text{C}$), 1445 cm^{-1} (aromático $\text{C}-\text{H}$) y a 1376 cm^{-1} ($\text{C}-\text{O}$ aromáticos), se asociaron con la presencia de flavonoides, también se observaron amplias bandas vibratorias a 1026 cm^{-1} debido al estiramiento $\text{C}-\text{O}$ de los grupos éster (Zhang *et al.*, 2018). Según Pant *et al.* (2022), las bandas que componen las longitudes de onda entre 1724 y 1689 cm^{-1} , están relacionadas con las vibraciones del grupo $\text{C}=\text{O}$ presentes en aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y ésteres. La presencia de carbonilos y carboxilos puede estar asociada con la presencia de los constituyentes fenólicos.

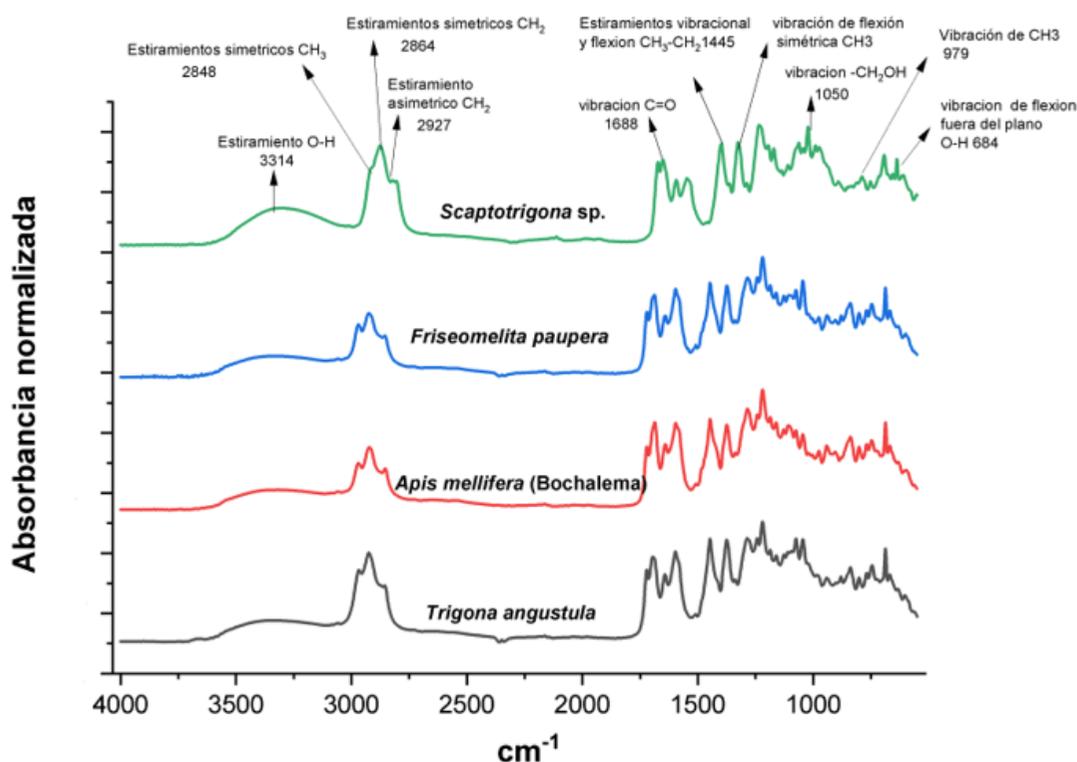


Figura 2. Espectro ATR-FTIR de extractos etanólicos de propóleo.

Fuente: autores.

Los anillos aromáticos son responsables de fuertes vibraciones en la región de 900 a 600 cm^{-1} , estas bandas varían según la cantidad y conformación de las sustituciones en el benceno (Do Nascimento *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2018). Las bandas obtenidas a esta longitud de onda pueden asociarse principalmente con enlaces presentes en compuestos antioxidantes, como la instauración y la presencia de anillos aromáticos como ácidos fenólicos y flavonoides (Cömert y Gökmen, 2018). El perfil del espectro infrarrojo obtenido para el extracto de propóleos estudiado, fue similar a los datos previos publicados para propóleos de otros orígenes (Odalanowska *et al.*, 2021).

Análisis quimiométrico

La espectroscopía infrarroja aplicada para discriminar o determinar la autenticidad de un material no es selectiva. Esta técnica no permite determinar la presencia o ausencia de una molécula específica que se pueda utilizar como marcador, pero los espectros obtenidos contienen información sobre la composición química completa de la muestra bajo análisis, y para poder extraer información relevante de estos, se hace necesario realizar un análisis quimiométrico (análisis de datos multivariados) como PCA o HCA (Biancolillo *et al.*, 2020).

Durante muchos años, el análisis multivariado se ha utilizado en muchas áreas, como la informática, la ingeniería, la far-

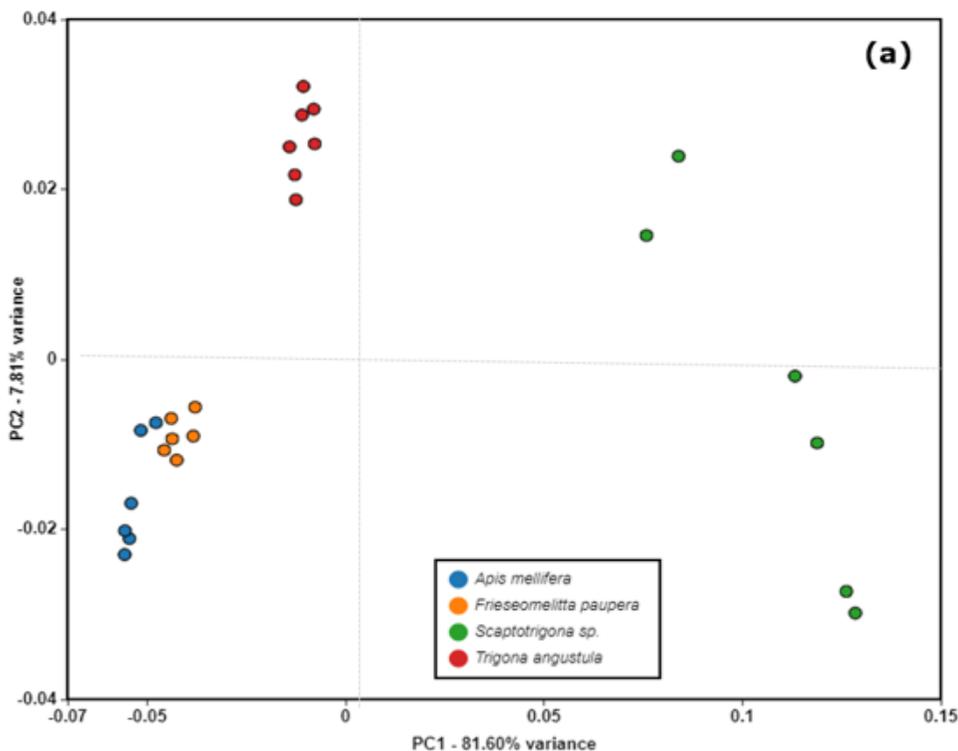
macia, la química, entre otras, para la reducción de un conjunto de datos de interés; cuando se realiza utilizando datos químicos, se denomina “quimiometría”, como son los casos del análisis de componentes principales (PCA) y del análisis jerárquico de conglomerados (HCA), donde la información generada por los espectros IR (Frecuencia vs Absorbancia) se usa para generar las matrices utilizadas como datos de entrada, y son miles los valores que hacen parte de las mismas. Los análisis de componentes principales y análisis de conglomerados, permiten identificar muestras atípicas, discriminar los cuatro extractos de propóleos e identificar las variables (números de onda) responsables de esta discriminación a partir de las diferencias espectrales.

Análisis de componentes principales PCA para extractos etanólicos de propóleo

Los espectros ATR-FTIR de orden cero, primera derivada y segunda derivada de 24 muestras de extractos etanólicos de propóleo fueron analizados mediante el análisis de componentes principales PCA (Figura 3). Los modelos de PCA se conformaron de dos componentes principales, PC1 y PC2, los cuales obtuvieron el mayor porcentaje de varianza, con el objetivo de identificar cual matriz de datos discriminaba mejor las muestras de propóleo. En la matriz de orden cero (Figura 3a) el componente principal 1(PC1) explicó el

81,60 % de la varianza total, mientras que el componente principal 2 (PC2) explicó el 7,08% de la varianza total (Figura 3a), pese a su alto porcentaje en la varianza total no se evidencia un agrupamiento específico para las muestras, en comparación con las gráficas obtenidas para primera y segunda derivada donde se observa que en los dos PCA las muestras se agruparon en grupos discretos. La gráfica de PCA para la primera derivada (Figura 3b) explicó el 79,29% de la varianza total en su componente 1 (PCA 1), mientras que el componente principal 2 (PCA 2) explicó el 8,93% de la va-

rianza total (Figura 3b); y de la segunda derivada (Figura 3c), donde el aporte del componente principal 1(PC1) explicó el 62,71% de la varianza total, mientras que el componente principal (PC2) explicó el 28,46% de la varianza total (Figura 3c). El modelo de PCA que mejor describe la discriminación de los datos fue la matriz de orden cero, debido a que sus componentes principales representaron el 88,68% de la varianza total, un porcentaje relativamente mayor comparado con el de la segunda derivada que fue de 88,22%.



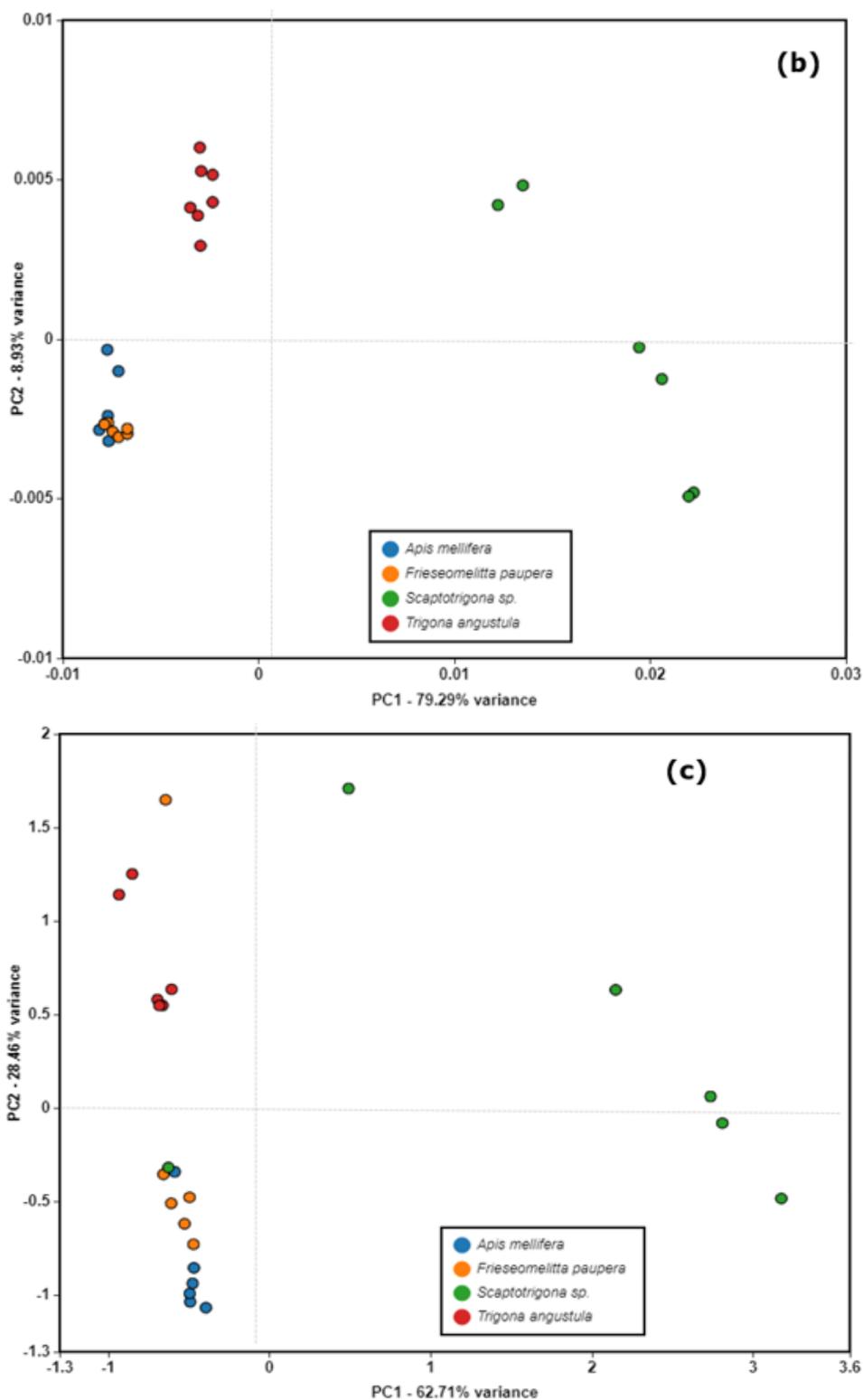


Figura 3. PCA de los espectros IR de extractos etanólicos de propóleos, utilizando la región entre 1800-600 cm^{-1} para las matrices de orden cero (a); primera derivada (b); segunda derivada (c). **Fuente:** autores.

El análisis de componentes principales con ATR-FTIR, explica los principales patrones de las variaciones en los datos, generando información no solo de la discriminación de su origen geográfico sino también sobre la composición química (Pavlovic *et al.*, 2020). Con el fin de obtener una visión general de las diferencias en la composición química de las muestras de propóleo de *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera* y *Apis mellifera* (Bochalema), se utilizó PCA. La Figura 3a ilustra el gráfico de puntajes (muestras) de PC1 versus PC2, donde se puede verificar una buena separación de los extractos. Las muestras de propóleo se clasificaron en tres grupos. Las bandas en la región espectrales a $1800-12000\text{ cm}^{-1}$ y $900-700\text{ cm}^{-1}$, PC1 y PC2, son responsables de la discriminación de los extractos de la región, resolviendo aproximadamente el 88,68 %. El modelo PCA fue capaz de reconocer las muestras atípicas, obtener una buena separación de muestras e identificar las variables responsables de esta separación.

Las muestras de *Trigona angustula* y *Frieseomelitta paupera* se agruparon en la parte inferior izquierda de la gráfica, lo que indica que tienen composiciones químicas similares que atribuyen a su agrupamiento, mientras que *Scaptotrigona* sp. se ubicó en la parte inferior derecha a pesar de que esta muestra fue recolectada de la misma zona que las demás muestras, y se esperaba un agrupamiento con ellas. Dicho hallazgo se puede explicar en cualquier extensión en función de la composición de la flora de la región geográfica estudia-

da, *Apis mellifera* (Bochalema) se ubica en la parte superior alejada de los otros grupos. Esto posiblemente se debe a que este propóleo fue recolectado de una fuente vegetal diferente, lo cual concuerda con estudios relacionados con la composición química de propóleos (Anjum *et al.*, 2019; Maraschin *et al.*, 2016).

Análisis jerárquico de conglomerados (HCA)

Los datos también se sometieron a análisis de conglomerados jerárquicos (HCA) para la clasificación de muestras de propóleos. Se alcanzaron los tres grupos (Figura 4) y se evaluaron las similitudes de la muestra mediante el uso de distancias euclidianas (enlace único).

El dendrograma obtenido como resultado de HCA, muestra tres grupos correspondientes a la composición química de propóleos. Las muestras de extractos de propóleo se clasificaron en tres grupos: grupo 1 se distribuyeron en el clúster I, a diferencia de los grupos 2 y 3, que se clasificaron en los clúster II y III. Las muestras de extractos de propóleo de la especie *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera* y *Melipona favosa*, se ubicaron en el clúster I, en este grupo se evidencian las similitudes entre estas muestras, mientras que, las muestras que clasificaron en diferentes conglomerados fueron diferentes entre sí. Las muestras de *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula* y *Frieseomelitta paupera* a pesar de que son originarias del mismo lugar, se observa que la composición química de los propóleos varía. Las especies *Scpto-*

trigona sp. y *Apis mellifera* a pesar de que son de subfamilias diferentes presentaron similitudes en su composición, esto puede deberse a la atracción de esta especie por un tipo de planta diferente a la que las

otras especies extraen las resinas, teniendo en cuenta que la composición química del propóleo depende de la vegetación del sitio (Herrera-López *et al.*, 2019).

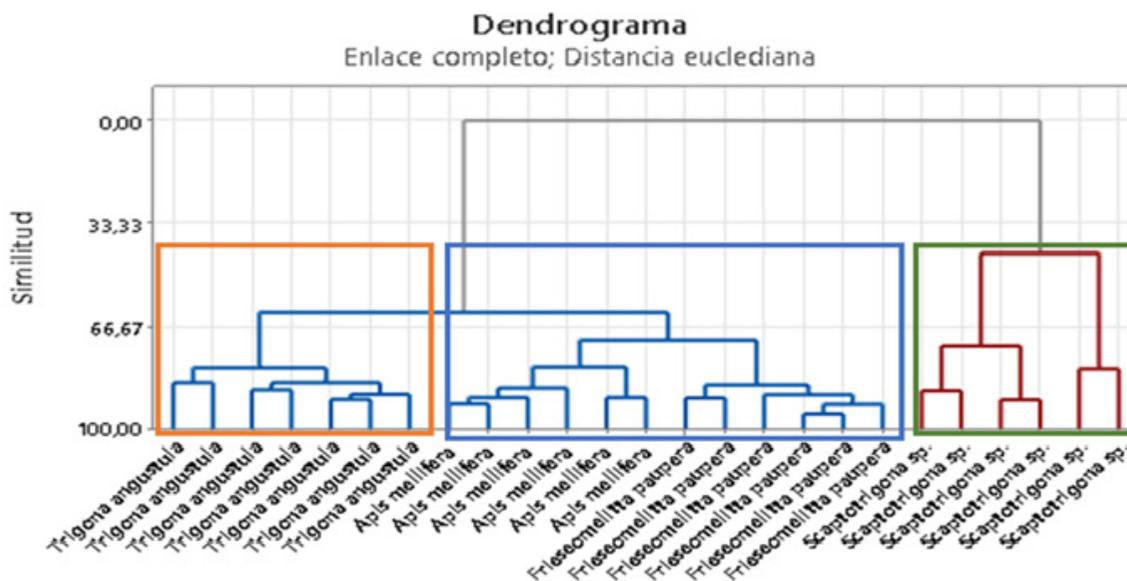


Figura 4: Análisis de Conglomerados para la primera derivada muestras de extractos etanólicos de propóleos.

Fuente: autores.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Nur Basyraha *et al.*, 2019, donde utilizaron FTIR en la región de huella dactilar para la discriminación de extractos etanólicos y metanólicos de dos especies de propóleos de abejas sin aguijón de Malasia, *Heterotrigona itama* y *Geniotrigona thoracica*. Encontraron que el total de la varianza fue de 95.63 % (PC1 = 54.01 %, PC2 = 41.61 %) y los dendrogramas HCA de los datos de FTIR se agruparon en tres grupos, con un resultado similar al de PCA. Concluyeron que es razonable utilizar la región de huella dac-

tilar del espectro IR junto con el análisis quimiométrico para diferenciar las dos especies diferentes, de extractos de propóleo de la abeja sin aguijón.

Resultados similares fueron encontrados por Ibrahim *et al.* (2018), donde aplicaron la región de huellas dactilares del espectro infrarrojo junto con quimiometría para la comparación de extractos etanólicos de propóleos de abeja sin aguijón de *Heterotrigona itama* obtenidos a partir de diferentes métodos de extracción, que fueron maceración, sonicación y soxhlet. Los re-

sultados de PCA para diferentes métodos de extracción, revelaron que la variabilidad de PC1 y PC2 fue del 84,76 %. Con lo cual, se llega a la conclusión de que La FTIR junto con el análisis quimiométrico mostró la clasificación de diferentes métodos de extracción de propóleos a partir de PCA y HCA en función de la vibración de la presencia de grupos funcionales en las muestras (Nur Basyirah *et al.*, 2019).

Como se puede observar, los estudios previos y los resultados obtenidos en este trabajo, permiten concluir que la espectroscopia infrarroja acoplada con el análisis quimiométrico (PCA y conglomerados), es una buena herramienta, económica y rápida, que puede ser utilizada para establecer diferencias y similitudes entre la composición química de las muestras de extractos de propóleo de las especies estudiadas.

4. CONCLUSIONES

El análisis ATR-FTIR reveló patrones espectrales únicos de los extractos etanólicos de propóleos de Bochalema, los cuales reflejaron diferencias en su composición, asociadas a las distintas posiciones e intensidades de las bandas, revelando variaciones asociadas con el contenido de hidrocarburos procedentes de la cera de abeja presente en el propóleo, flavonoides (resi-

nas de plantas) y otros componentes que fueron significativos entre las muestras.

La espectroscopia infrarroja acoplada con el análisis quimiométrico (PCA y conglomerados), permitió establecer diferencias y similitudes entre la composición química de las muestras de propóleo de las especies estudiadas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Autor 1: Desarrollo de la parte metodológica, análisis de datos, y redacción del documento.

Autor 2: Desarrollo de la parte metodológica, análisis de datos, y redacción del documento.

Autor 3: Desarrollo de la parte metodológica, análisis de datos, y redacción del documento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Pamplona y al laboratorio de Biocalorimetría por la disposición

de los espacios y equipos necesarios para la realización de la parte experimental.

LITERATURA CITADA

- Anjum, S. I., Ullah, A., Khan, K. A., Attaulah, M., Khan, H., Ali, H., Bashir, M. A., Tahir, M., Ansari, M. J., Ghramh, H. A., Adgaba, N., & Dash, C. K. (2019). Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1695-1703. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.08.013>
- Biancolillo, A., Marini, F., Ruckebusch, C., & Vitale, R. (2020). Chemometric strategies for spectroscopy-based food authentication. *Applied Sciences*, 10(18), 6544. <https://doi.org/10.3390/app10186544>
- Boisard, S., Le Ray, AM., Gatto, J., Aumond, MC., Blanchard, P., Derbré, S., Flurin, C., Richomme, P. (2014). Chemical composition, antioxidant and anti-AGEs activities of a French poplar type propolis. *J Agric Food Chem.*, 62(6), 1344. <https://doi.org/10.1021/jf4053397>
- Bouchelaghem, S. (2022). Propolis characterization and antimicrobial activities against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 1936-1946. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.063>
- Cai, W., Xu, J., Li, G., Liu, T., Guo, X., Wang, H., & Luo, L. (2020). Ethanol extract of propolis prevents high-fat diet-induced insulin resistance and obesity in association with modulation of gut microbiota in mice. *Food Research International*, 130(June 2019), 108939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108939>
- Cömert, E. D., & Gökmen, V. (2018). Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Research International*, 105(November 2017), 76-93. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>
- Derrick, M. (1989). Fourier transform infrared spectral analysis of natural resins used in furniture finishes. *Journal of the American Institute for Conservation*, 28(1), 43-56. <https://doi.org/10.1179/019713689806046264>
- Do Nascimento, T. G., de Almeida, C. P., da Conceição, M. M., dos Santos, A., de Almeida, L. M., de Freitas, J. M. D., Grillo, L. A. M., Dornelas, C. B., Ribeiro, A. S., da Silva, J. F., da Silva, C. J., Basílio-Júnior, I. D., & de Freitas, J. D.

- (2022). Caseinates loaded with Brazilian red propolis extract: preparation, protein-flavonoids interaction, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(2), 1329-1343. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10448-w>
- Herrera-López, M. G., Calvo-Irabién, L., Luis, Y. y Peña-Rodríguez, M. (2019). El propóleo y su potencial económico como producto de la industria apícola. Desde El Herbario CICY, 11, 190-194. <http://www.cicy.mx/sitios/desdeherbario/>
- Kuropatnicki, A. K., Szliszka, E., & Krol, W. (2013). Historical aspects of propolis research in modern times. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/964149>
- Maraschin, M., Somensi-Zeggio, A., Oliveira, S. K., Kuhnen, S., Tomazzoli, M. M., Raguzzoni, J. C., Zeri, A. C. M., Carreira, R., Correia, S., Costa, C., & Rocha, M. (2016). Metabolic Profiling and Classification of Propolis Samples from Southern Brazil: An NMR-Based Platform Coupled with Machine Learning. *Journal of Natural Products*, 79(1), 13-23. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.5b00315>
- Monteil, J., Hadj-sassi, A., Guzmán-barra, N., Poque, E., & Leal-calderon, F. (2022). Method to prepare aqueous propolis dispersions based on phase separation. 389(April). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133072>
- Nur Basyirah Md Zin, Azierah Azemin, Muhammad Muslim Mohd Rodi, Zalilawati Mat Rashid, Khamsah Suryati Mohd. (2019). Application of FTIR fingerprints coupled with chemometric for comparison of stingless bee propolis from different extraction methods. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(2-1), 350-355. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n2-1.1553>
- Ibrahim, N., Jamil, A., Ismail, Z., Ahmad, Y. and Suryati Mod, K. (2018). Application of GCMS and FTIR Fingerprinting in Discriminating Two Species of Malaysian Stingless Bees Propolis. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.43), 106-112. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.43.25828>
- Odalanowska, M., Woźniak, M., Ratajczak, I., Zielińska, D., Cofta, G., & Borysiak, S. (2021). Propolis and organosilanes as innovative hybrid modifiers in wood-based polymer composites. *Materials*, 14(2), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ma14020464>
- Pant, K., Thakur, M., Chopra, H. K., & Nanda, V. (2022). Encapsulated bee propolis powder: Drying process optimization and physicochemical characterization. *Lwt*, 155, 112956. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112956>
- Pavlovic, R., Borgonovo, G., Leoni, V., Giupponi, L., Cecilian, G., Sala, S., Basoli, A., & Giorgi, A. (2020). Effectiveness of different analytical methods for the characterization of propolis: A case

of study in northern Italy. *Molecules*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/molecules25030504>

Rodríguez, B., Canales, M. M., Penieres, J. G., y Cruz, T. A. (2020). Composición química, propiedades antioxidantes y actividad antimicrobiana de propóleos mexicanos. *Acta Universitaria*, 30, 1-30. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2435>

Zhang, H., Fu, Y., Niu, F., Li, Z., Ba, C., Jin, B., Chen, G., & Li, X. (2018). Enhanced antioxidant activity and in vitro release of propolis by acid-induced aggregation using heat-denatured zein and carboxymethyl chitosan. *Food Hydrocolloids*, 81, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.019>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

