

# Determinación de la adulteración de la miel de abeja con miel de caña usando una película de oro y espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier

## Determination of adulteration of bee honey with cane honey using a gold film and Fourier transform infrared spectroscopy

Andrea Somoza<sup>1</sup>, Chak Wu<sup>1</sup>, Angie Martínez<sup>1</sup>, Alfredo Campos<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ciencias y Tecnología, Panamá

**Fecha de recepción:** 27 de septiembre de 2024. **Fecha de aceptación:** 30 de octubre de 2024.

**\*Autor de correspondencia:** [alfredo.campos@utp.ac.pa](mailto:alfredo.campos@utp.ac.pa)

**Resumen.** La adulteración de la miel de abeja representa un problema significativo en la industria alimentaria, afectando tanto a productores como a consumidores. Es crucial lograr una detección precisa de esta adulteración para garantizar la calidad y autenticidad del producto. En este estudio, se empleó la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en combinación con una película delgada de oro para analizar y detectar la presencia de miel de caña en la miel de abeja. El objetivo principal fue identificar adulteraciones en la miel de abeja mediante la obtención de espectros de absorción de diferentes muestras adulteradas con miel de caña a concentraciones conocidas y, al mismo tiempo, identificar picos característicos cuya intensidad se relacionará con la concentración de miel de caña, permitiendo así la detección de alteraciones. Se llevaron a cabo mediciones por triplicado de espectros de absorción en todas las muestras y se observaron picos característicos en ciertos números de onda. El pico encontrado entre 1140 a 1100  $\text{cm}^{-1}$  mostró una disminución de intensidad a medida que aumenta la concentración de miel de caña con una regresión lineal ( $R^2$ ) de 0.97186. Este resultado muestra la viabilidad de la técnica para la detección de adulteraciones potenciales en este producto.

**Palabras clave.** Adulteración, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, miel de abeja, miel de caña.

**Abstract.** Adulteration of bee honey is a significant problem in the food industry, affecting producers and consumers. Accurate detection of this adulteration is crucial to ensure product quality and authenticity. In this study, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) combined with a gold thin film was employed to analyze and detect the presence of cane honey in bee honey. The main objective was to identify adulterations in bee honey by obtaining absorption spectra of different adulterated samples with cane honey at known concentrations and, at the same time, to identify characteristic peaks whose intensity would be related to the concentration of cane honey, thus allowing the detection of alterations. Absorption spectral measurements were carried out in triplicate on all samples and characteristic peaks were observed at certain wavenumbers. The peak found between 1140 to 1100  $\text{cm}^{-1}$  showed a decrease in intensity as the concentration of cane honey increased with a linear regression ( $R^2$ ) of 0.97186. This result shows the feasibility of the technique for detecting potential adulterations in this product.

**Keywords.** Adulteration, Fourier-transform infrared spectroscopy, bee honey, cane honey.

## 1. Introducción

La adulteración de la miel de abeja con miel de caña ha surgido como una problemática significativa en la industria alimentaria, afectando tanto a los productores como a los consumidores a nivel mundial [1]. La miel de abeja es ampliamente valorada por sus propiedades nutritivas y beneficiosas para la salud. Sin embargo, su adulteración compromete la calidad y autenticidad, socavando la confianza de los consumidores y generando un impacto negativo en la industria apícola.

Una de las formas más comunes de adulteración es a través del premezclado con edulcorantes más baratos como sirope de maíz, sirope de arroz, sirope de remolacha o azúcar de caña [2].

La miel de abeja es una sustancia producida por abejas a partir de néctar de plantas y otras fuentes, que transforman y almacenan en el panal [3]. Esta se compone principalmente de 82.4% de carbohidratos distribuidos de la siguiente manera: 38.5 % de fructosa, 31% de glucosa y 12.9 % de otros azúcares [4]. En cambio, la miel de caña es una sustancia extraída de la caña de azúcar tras un proceso de prensado del que se obtiene un jugo concentrado [5]. En su composición se destaca por tener de 26% a 40% de sacarosa y de 12% a 25% de azúcares reductores, con un contenido total de azúcar de más de 50% a 60% [6].

En el año 2023, el Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá, realizó una investigación en donde buscaba determinar la calidad de la miel de abeja en Panamá, en respuesta a reportes de productos que se estaban comercializado sin el registro sanitario correspondiente y eran una competencia desleal para los fabricantes nacionales que cumplen todos los protocolos establecidos [7]. Algunos productores de la región dividen la miel de abeja para mantener su aroma, la enriquecen con un sirope, la calientan para que adquiera la textura de la miel, y luego la venden como genuina [8]. Esta práctica fraudulenta no solo perjudica a los consumidores, sino que también afecta la reputación y la sostenibilidad económica de los apicultores locales.

Para abordar esta problemática, la detección precisa y confiable de la adulteración de la miel se convierte en un objetivo fundamental. En este sentido, la espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) se ha posicionado como una técnica prometedora para analizar y detectar la adulteración de la miel de abeja con miel de caña. Esta permite la identificación de los grupos funcionales de un compuesto [9] basándose en el aumento de la energía de vibración de los enlaces moleculares al momento de la absorción de luz infrarroja irradiada por la fuente del instrumento [10]. En el extremo del dispositivo, un detector recibe el haz de luz transmitido y mide su intensidad en diferentes longitudes de

ondas infrarrojas, generando así un espectro de absorción utilizando la técnica de Transformada de Fourier.

No obstante, la utilización tradicional del accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) en la técnica FTIR puede representar un desafío económico para muchos investigadores y laboratorios, ya que implica el uso de cristales de alto costo generalmente de seleniuro de cinc (ZnSe), diamante, germanio [11].

Con el propósito de ofrecer una solución más accesible y efectiva, en este estudio se propone el uso de película delgada de oro como sustituto a la técnica ATR-FTIR. El oro, al ser altamente reflectante en el rango infrarrojo [12], permite obtener señal de la muestra depositada sobre él sin causar interferencia con la medida, aumentando la intensidad de la señal infrarroja detectada. Esto conduce a una mayor sensibilidad y precisión en el análisis. Además, debido a su naturaleza inerte [13], el oro minimiza las interacciones químicas indeseadas con la muestra a estudiar, reduciendo así las interferencias en el espectro infrarrojo. En la figura 1 se presenta un esquema del sistema empleado en este trabajo.

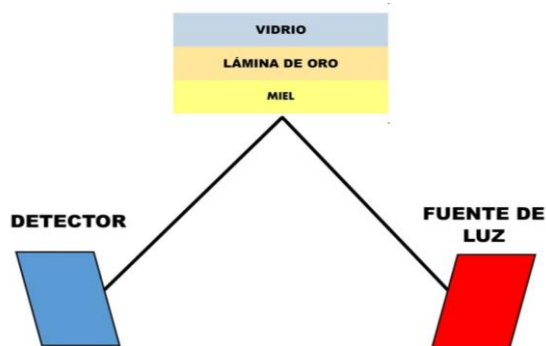


Figura 1. Representación visual del esquema de medición

La creciente preocupación sobre la adulteración de la miel de abeja ha impulsado la búsqueda de métodos más sensibles para detectar azúcares foráneos [14]. En este artículo, se discute el potencial impacto de la técnica FTIR con lámina de oro en la detección de adulteración de la miel, con el objetivo de fortalecer la integridad y autenticidad de este valioso recurso alimentario.

## 2. Materiales y métodos

Para llevar a cabo este trabajo se usaron los siguientes reactivos: miel de abeja pura producida artesanalmente en la región de Chilibre, miel de caña pura artesanal de la región de Antón. Asimismo, se utilizaron los instrumentos: jeringuillas, secador industrial, celdas de espectrofotómetro, *spin coater*, espectrofotómetro infrarrojo Shimadzu IRAffinity-1S ® con

accesorio de reflexión especular (ángulo de incidencia 10°) y película de oro comercial de 50 nm de espesor de la empresa Platypus Technologies©.

Con el objetivo de investigar la adulteración de la miel de abeja, primero se procedió a estudiarla sin adulterar. Posteriormente, se realizaron diluciones de la miel de abeja con la miel de caña, en diferentes proporciones detalladas en la tabla 1.

**Tabla 1.** Disoluciones de miel de abeja con miel de caña

Disoluciones de miel de abeja con miel de caña		
Concentración de miel de caña	Volumen de miel de abeja (mL)	Volumen de miel de caña (mL)
0%	3.0	0.0
10%	2.7	0.3
20%	2.4	0.6
30%	2.1	0.9
40%	1.8	1.2
50%	1.5	1.5
60%	1.2	1.8
70%	0.9	2.1
80%	0.6	2.4
90%	0.3	2.7
100%	0.0	3.0

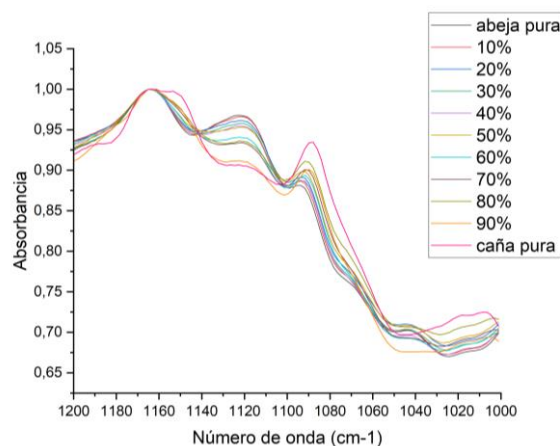
Se tomaron 0.2 mL de las muestras y fueron puestas en un portaobjeto recubierto con una lámina de oro de 50 nm de espesor, luego se colocó el portaobjeto en un *spin coater* con la finalidad de crear una película fina de la muestra. Para cada muestra se configuró el *spin coater* en 2800 RPM y, el promedio del tiempo configurado fue de 5.5 segundos.

Luego de emplear el *spin coater*, las muestras fueron analizadas por espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR), dicho análisis se hizo en el espectrofotómetro Shimadzu® IRAffinity-1S, además se usó un accesorio de reflectancia especular donde se colocaban las muestras de miel depositadas sobre la película de oro. Gracias a la viscosidad de las muestras, estas quedaban adheridas y no se desprendían de la película de oro durante la medición (figura 1). Cabe resaltar que, entre cada medida, la película de oro se limpiaba con agua a presión y se secaba con un secador industrial. El procedimiento mencionado se llevó a cabo mediante la replicación de este en tres ocasiones independientes.

Cabe destacar que, adicionalmente, se analizaron muestras de miel de abeja comerciales y no comerciales (vendedor ambulante).

### 3. Resultados y discusión

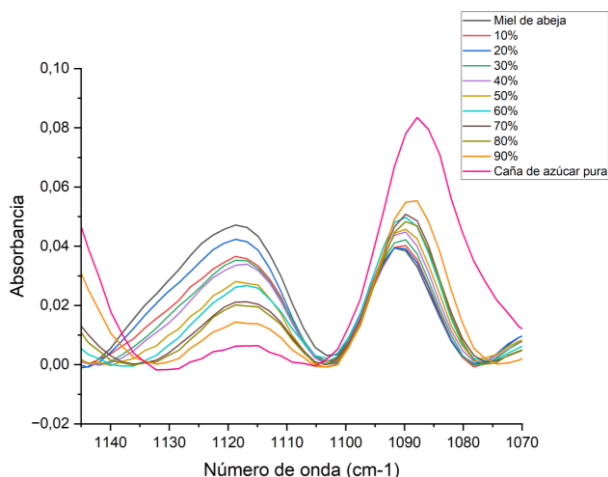
Se tomaron espectros infrarrojos de las diferentes soluciones presentadas en la tabla 1. En la figura 2 se observan varios picos en el rango de 1000 cm<sup>-1</sup> a 1200 cm<sup>-1</sup>. Al examinar detenidamente la gráfica, fue posible observar la presencia de un pico consistente entre 1180 cm<sup>-1</sup> y 1140 cm<sup>-1</sup> en todas las muestras analizadas. Este pico se utilizó para normalizar todos los espectros.



**Figura 2.** Espectros de absorción infrarroja normalizados en el software de OriginPro®.

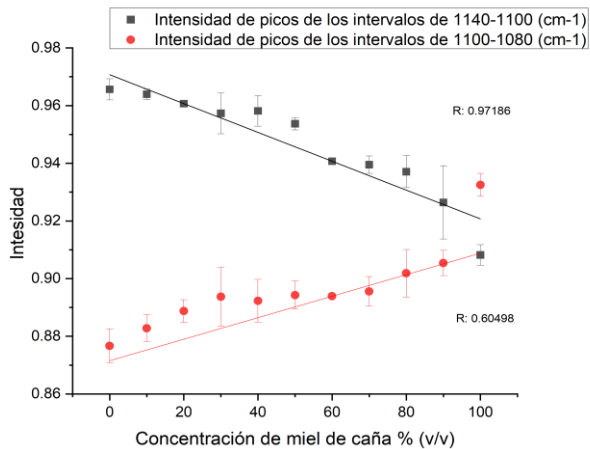
Tras realizar la normalización de los espectros, se logró obtener una representación visual más clara del comportamiento de las muestras con relación a los picos identificados entre 1140 cm<sup>-1</sup> y 1100 cm<sup>-1</sup>, así como entre 1100 cm<sup>-1</sup> y 1080 cm<sup>-1</sup>. Este enfoque permitió una mejor evaluación y resaltar las diferencias de dichos picos.

Con el propósito de mejorar la claridad entre las intensidades de los picos de interés, se empleó la técnica de corrección de línea base. Por medio de esta técnica se retira el fondo en el cual se encuentran superpuestos los picos, tal como se muestra en la figura 3. Esto permitió una mejor visualización de los picos de absorbancia, que adquieren una mayor prominencia. Además, esto facilita la identificación y análisis de las características de los picos de interés presentes en la muestra.



**Figura 3.** Espectros con la línea base retirada enfocado en los picos de interés entre 1140  $\text{cm}^{-1}$  y 1100  $\text{cm}^{-1}$ , así como entre 1100  $\text{cm}^{-1}$  y 1080  $\text{cm}^{-1}$ .

Después de la adquisición de las intensidades de los picos correspondientes a distintas concentraciones en los tres análisis independientes, se procedió a realizar un análisis estadístico para cada intensidad, lo cual se muestra en la figura 4. En esta figura se empleó el valor promedio de la intensidad como medida de la señal y la desviación estándar como una representación gráfica del margen de error en forma de barras de errores.

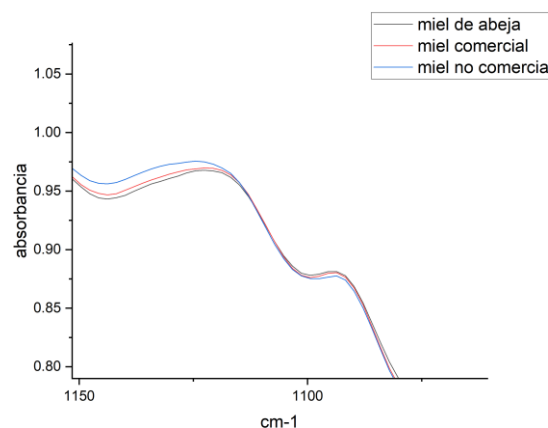


**Figura 4.** Gráfica de Intensidades vs Concentración de miel de caña en miel de abeja.

En la figura 4 se puede observar que el pico ubicado entre 1100  $\text{cm}^{-1}$  y 1080  $\text{cm}^{-1}$  presenta una intensidad a mayor concentración de miel de caña, mientras que el pico que se ubica entre 1140  $\text{cm}^{-1}$  y 1100  $\text{cm}^{-1}$  muestra una menor intensidad a mayor concentración de miel de caña. Para la intensidad de los picos de los intervalos de 1140  $\text{cm}^{-1}$  a

1100  $\text{cm}^{-1}$  este mostró una regresión lineal ( $R^2$ ) de 0.97186 y para la intensidad de los picos de los intervalos 1100  $\text{cm}^{-1}$  a 1080  $\text{cm}^{-1}$  se encontró una regresión lineal ( $R^2$ ) de 0.60498, de tal forma que para medir adulteraciones el pico sugerido es el que se ubica entre 1140  $\text{cm}^{-1}$  y 1100  $\text{cm}^{-1}$ .

Seguido a esto, se realizó un análisis de una muestra comercial y una no comercial comparándola con la miel de abeja pura previamente analizada. Dichos espectros se recopilaron en un mismo gráfico representado en la figura 5.



**Figura 5.** Espectro de absorción de muestras de miel de abeja pura, miel comercial y no comercial.

Al realizar el análisis de las muestras, emergió una sutil disparidad entre la muestra no comercial y la comercial. La muestra comercial se acerca mucho a la miel de abeja pura, mientras que la muestra no comercial muestra una ligera diferencia. Esto sugiere que la muestra no comercial podría tener algún grado de adulteración. No obstante, alcanzar la identificación precisa del agente adulterante subyacente excede los límites de este estudio, ya que el único adulterante utilizado fue la miel de caña.

En una proyección hacia el futuro, se contempla la eventual realización de estudios que involucren una diversidad de agentes adulterantes. Esta iniciativa persigue la construcción de una base de datos, con el propósito de posibilitar una comparativa más precisa y un discernimiento más certero, con el fin de hallar la identificación más acertada de la manifestación de adulteración. Además, el hecho de haber utilizado una película de oro permite realizar el estudio de las muestras mediante otras técnicas, tal como la resonancia de plasmones de superficie [17].

## 4. Conclusiones

La integración de una película de oro en el espectrofotómetro FTIR demostró ser un implemento eficiente en el análisis de adulteración de la miel de abeja con miel de caña, esto se debe a que el oro es un material altamente reflectivo, que a su vez minimiza interferencias con la muestra, permitiendo distinguir de manera precisa los picos de interés y su intensidad para identificar posibles adulteraciones. En particular, se observó que a medida que se aumentaba la concentración de miel de caña, el pico ubicado entre  $1140\text{ cm}^{-1}$  y  $1100\text{ cm}^{-1}$  disminuía, mientras que el pico entre  $1100\text{ cm}^{-1}$  y  $1080\text{ cm}^{-1}$  aumentaba. Estos cambios en los picos proporcionaron información clave sobre la concentración de miel de caña en la muestra. El pico entre  $1140\text{ cm}^{-1}$  y  $1100\text{ cm}^{-1}$  mostró el mejor ajuste con una regresión lineal ( $R^2$ ) de 0.97186, por lo que se sugiere su uso en la identificación de adulteraciones con miel de caña.

El análisis de los datos obtenidos fue crucial para comparar los espectros y mejorar la visualización de picos. La combinación de una película delgada de oro y la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier muestra ser una herramienta de interés para el análisis de adulteraciones de la miel de abeja.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Laboratorio de Marie Curie de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Tecnológica de Panamá y su personal, por prestarnos sus instalaciones y los equipos necesarios para realizar la parte experimental de nuestro experimento. Igualmente agradecemos a Hanna Fernández, estudiante de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, a quien nos gustaría reconocer por su generosidad al proveernos la miel de abeja artesanal, la cual fue utilizada para nuestro proyecto de investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] O. Valega, «Adulteraciones y fraudes en la miel (parte 1),» 2021.
- [2] J. Alzate, «Normatividad,» Flow chemical, 11 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.flowchem.com.co/normatividad-todo-lo-que-necesita-saber-sobre-la-adulteracion-de-alimentos-segun-la-fda/#:~:text=Seg%C3%BAn%20un%20estudio%20publicado%20en,el%20caf%C3%A9%20y%20las%20especies.> [Último acceso: 23 Junio 2023].
- [3] «Norma para la miel CXS 12-1981,» CODEX ALIMENTARIUS, 1981.
- [4] J. Giacometti, V. R. Pasupuleti, L. Sammugam y N. Ramesh, «HINDAWI,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2017/1259510/>.
- [5] H. C. Sinisterra, «Producción de miel ecológica,» Colombia, 2012.
- [6] Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, «Gobierno Nacional de México,» Noviembre 2016. [En línea]. Available: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171888/Nota\\_Informativa\\_Noviembre\\_Melazas.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171888/Nota_Informativa_Noviembre_Melazas.pdf).
- [7] I. C. Castillo, Revista Hacia la Luz, Panamá, Panamá, 2023.
- [8] T. d. Moral, «La Estrella de Panamá,» 3 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.laestrella.com.pa/cafe-estrella/ciencia/230203/seguridad-basada-evidencia>.
- [9] D. Martínez Otero y M. Guadarrama Aguilar, «Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable,» 2023. [En línea]. Available: [http://www.cciqs.uaemex.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=113&Itemid=86](http://www.cciqs.uaemex.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=86).
- [10] R. Gómez y R. Murillo. [En línea]. Available: <https://sistemas.fcencias.unam.mx/~fam/Infrarroja.pdfhttps://sistemas.fcencias.unam.mx/~fam/Infrarroja.pdf>.
- [11] C. Hernández, «Industrias Garay e Instrumentación Analítica SAS de CV,» 17 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.industrialgaray.com/post/cristales-m%C3%A1s-utilizados-en-atr-propiedades>.
- [12] C. De Meyer, R. Moerkerke, P. Persoone y A. Segers, «Espectroscopía Infrarroja: Instrumentación y Método de Análisis Químico». España Patente 2 573 934, 2016.
- [13] L. M. Serna Durango, L. Perez Rios, R. R. Vellojin y M. A. Grisales, «El mineral oro,» Medellín, 2017.
- [14] C. Dini y N. García, «Manual de buenas prácticas en alimentación de abejas,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Luis-Maldonado-5/publication/364139481\\_La\\_deteccion\\_de\\_adulteraciones\\_en\\_la\\_miel/links/633c2eeb76e39959d69b6326/La-deteccion-de-adulteraciones-en-la-miel.pdf#page=21](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Maldonado-5/publication/364139481_La_deteccion_de_adulteraciones_en_la_miel/links/633c2eeb76e39959d69b6326/La-deteccion-de-adulteraciones-en-la-miel.pdf#page=21).
- [15] M. MG, A. MD y F. ML, «Honey as a Complementary medicine,» National Library of Medicine, 24 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5406168/#bibr2-1178633717702869>. [Último acceso: 23 Junio 2023].
- [16] M. Chavarrías, «¿Cuáles son los alimentos más adulterados?,» EROSKIconsumer, 11 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/cuales-son-los-alimentos-mas-adulterados.html>. [Último acceso: 23 Junio 2023].
- [17] Zainuddin, N. H., Fen, Y. W., Alwahib, A. A., Yaacob, M. H., Bidin, N., Omar, N. A. S., & Mahdi, M. A. (2018). Detection of adulterated honey by surface plasmon resonance optical sensor. In *Optik* (Vol. 168, pp. 134–139). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jlleo.2018.04.048>