



ARTICULO REVISIÓN

Optimización De Las Propiedades Tradicionales Y Bioactivas Del Polen De Abeja: Una Revisión Exhaustiva De Los Procesos De Fermentación

Enhancing The Nutritional And Bioactive Properties Of Bee Pollen: A Comprehensive Review Of Fermentation Processes

Otero-Pérez Tahíz¹, Mantilla-Escalante Diana^{2,4}, Manjarrez, Oscar⁴, Carrascal Juan José^{1,3}, *Alcalá-Orozco María^{4, 5}

¹Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Programa Química Farmacéutica. ✉Correo electrónico:

toterop@unicartagena.edu.co;  <https://orcid.org/0009-0000-7659-3410>

²Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm, Av. El Bosque, Transv. 54 N° 30-453, Cartagena 13001

✉Correo electrónico: diana.mantilla@unad.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-5520-827X>

³Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cr 44 D N° 30A – 91, ✉Correo electrónico:

jcarrascals@unicartagena.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0003-1470-7632>

⁴Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD. Escuela de Ciencias Básica Tecnología e Ingeniería (ECBTI).
Transversal 45 # 44A - 221 Avenida al Acueducto - Barrio Paraguay, 150001, Cartagena de Indias, Bolívar, ✉Correo

electrónico: odmanjarrezm@unadvirtual.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-6752-9425>

⁵Secretaría de Educación Distrital Cartagena. Centro, Plazoleta Benkos Biohó, Cra. 10 No. 35-73, Colombia. *. ✉Correo

electrónico: maria.alcala@unad.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-6752-9425>;

Recibido: junio 27 de 2024; Aceptado: diciembre 08 de 2024

RESUMEN

La fermentación del polen implica una serie de reacciones químicas que modifican su integridad estructural y provocan cambios profundos en la composición de nutrientes y compuestos bioactivos. Como resultado, el polen fermentado exhibe beneficios potenciales para la salud, tales como un mayor contenido de péptidos bioactivos, ácidos fenólicos y flavonoides con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, así como una mejora en la digestibilidad y



biodisponibilidad de proteínas y polisacáridos. Además, este proceso puede reducir la presencia de compuestos alergénicos, aumentando su tolerabilidad en individuos sensibles. Debido a estas mejoras en sus propiedades funcionales, el polen fermentado tiene un gran potencial para su aplicación en la industria alimentaria, donde puede emplearse como un ingrediente funcional en formulaciones de alimentos enriquecidos, suplementos nutricionales y productos probióticos. Sin embargo, garantizar la calidad y la seguridad de este producto requiere una optimización del proceso fermentativo, asegurando el control microbiológico y la estabilidad de los compuestos bioactivos a lo largo del tiempo. Esta revisión profundiza en el proceso de fermentación del polen, destacando la importancia de la selección adecuada de los agentes biológicos y su impacto en el perfil químico del polen de abeja. Asimismo, se analizan los efectos positivos de este tratamiento sobre la funcionalidad y seguridad del producto final, su posible integración en la producción de alimentos y las estrategias para garantizar su calidad y estabilidad. Las investigaciones futuras deberían centrarse en cerrar las brechas de conocimiento existentes y en desarrollar enfoques tecnológicos que permitan optimizar la fermentación del polen para su aplicación a escala industrial.

Palabras clave: Calidad de los alimentos, seguridad alimentaria, propiedades funcionales del polen, apicultura, fermentación.

ABSTRACT

Pollen fermentation involves a series of chemical reactions that modify its structural integrity and induce significant changes in the composition of nutrients and bioactive compounds. As a result, fermented pollen exhibits potential health benefits, such as a higher content of bioactive peptides, phenolic acids, and flavonoids with

Autor correspondencia: *Alcalá-*
Orozco *María*, ✉ *correo*
electrónico:
maria.alcala@unad.edu.co



antioxidant and anti-inflammatory properties, as well as improved digestibility and bioavailability of proteins and polysaccharides. Additionally, this process can reduce the presence of allergenic compounds, increasing its tolerability in sensitive individuals. Due to these improvements in its functional properties, fermented pollen has great potential for application in the food industry, where it can be used as a functional ingredient in fortified food formulations, nutritional supplements, and probiotic products. However, ensuring the quality and safety of this product requires optimization of the fermentation process, guaranteeing microbiological control and the stability of bioactive compounds over time. This review explores the pollen fermentation process, highlighting the importance of selecting suitable biological agents and their impact on the chemical profile of bee pollen. Furthermore, it analyzes the positive effects of this treatment on the functionality and safety of the final product, its potential integration into food production, and strategies to ensure its quality and stability. Future research should focus on addressing existing knowledge gaps and developing technological approaches to optimize pollen fermentation for industrial applications.

Keywords: Food quality, food safety, functional properties of pollen, beekeeping, fermentation.

INTRODUCCIÓN

El polen de abeja, una matriz alimenticia compleja compuesta de granos recolectados por las abejas de las flores, ha ganado importancia en la investigación debido a su potencial como fuente de nutrientes y compuestos bioactivos beneficiosos para la salud humana (Fuenmayor Bobadilla, 2009).

Esta revisión tiene como objetivo abordar de manera integral los métodos de procesamiento destinados a optimizar las características nutricionales y bioactivas del polen de abeja, enfocándose en técnicas de fermentación.



La fermentación, un proceso bioquímico mediado por microorganismos, se ha destacado como una estrategia eficaz para mejorar la biodisponibilidad de los nutrientes intrínsecos del polen de abeja (Filannino, et al., 2021). A través de la actividad metabólica microbiana se puede promover la síntesis o amplificación de compuestos bioactivos como aminoácidos, vitaminas y enzimas, enriqueciendo así el valor nutricional y funcional del polen (Alshallash et al., 2023). Este proceso conduce a una potencial mejora en la liberación y disponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos, lo que podría traducirse en beneficios para la salud del consumidor (Yan et al., 2019). En general, esta revisión cubre la importancia de esta técnica para mejorar las propiedades nutricionales y bioactivas del polen de abeja.

METODOLOGÍA

En esta investigación se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos Science Direct, Scopus, Google Scholar, Scielo y PubMed, con el fin de hallar información pertinente en artículos científicos sobre las propiedades funcionales y bioactivas del polen de abeja y sus componentes. La búsqueda se llevó a cabo hasta febrero de 2025, considerando criterios de inclusión como artículos publicados en revistas científicas

Combinando estos enfoques, los investigadores pretenden resaltar el potencial del polen de abeja como alimento funcional con múltiples beneficios para la salud, tal y como se ha establecido en estudios previos (Mărgăoan et al., 2019; Liu et al., 2023; Zuluaga-Domínguez et al., 2019).

Además, se proporciona una síntesis de cómo esta técnica influye en aspectos como la digestibilidad, la actividad antioxidante, el contenido de proteínas y los compuestos fenólicos. Para garantizar una adecuada revisión de la literatura, se llevó a cabo una indagación meticulosa en varias bases de datos y se examinaron listas de referencias de artículos relevantes, asegurando la inclusión de estudios relevantes hasta el mes de abril 2024.

revisadas por pares, estudios experimentales y revisiones sistemáticas sobre la fermentación del polen y su impacto en la biodisponibilidad y actividad biológica. Se excluyeron informes técnicos, tesis y artículos sin acceso al texto completo, así como estudios que no presentaran datos experimentales o que tuvieran metodologías no replicables. Para la gestión de referencias se utilizó EndNote X7 como administrador



bibliográfico, lo que permitió la organización eficiente de los artículos seleccionados y la eliminación de referencias duplicadas. Además, se realizó un análisis de los artículos seleccionados con base en indicadores bibliométricos, tales como el país de origen de la investigación, el idioma de publicación y el número de citas, con el objetivo de evaluar la relevancia e impacto de los estudios en el área. Se identificaron las principales temáticas abordadas en la literatura analizada, incluyendo los efectos de la fermentación sobre la bioactividad del polen, su integración

en la industria alimentaria y su seguridad para el consumo humano (Calsada-Urbe *et al.*, 2022). La estrategia de búsqueda se basó en el uso de palabras clave identificadas mediante revisiones de literatura, tales como "polen de abeja", "propiedades bioactivas", "fermentación", "biodisponibilidad" y "beneficios para la salud", utilizando diversos motores en línea especializados. Finalmente, se incluyó el análisis de la fermentación del polen con *S. cerevisiae*, evaluando su impacto en la degradación de compuestos alergénicos y la mejora de sus propiedades funcionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis bibliométrico realizado en esta revisión permitió caracterizar la producción científica sobre la fermentación del polen de abeja, identificando tendencias clave en términos de origen geográfico, idioma de publicación y número de citas. En total, se analizaron 50 artículos publicados hasta febrero de 2025, con una distribución geográfica predominante en países como China, Estados Unidos, Brasil y Colombia, lo que refleja el interés global en el estudio de la fermentación de productos apícolas y su potencial biotecnológico. El idioma predominante en las publicaciones fue el inglés (85%), seguido del español (10%) y el

portugués (5%), evidenciando una mayor divulgación en revistas indexadas de alto impacto. En cuanto a citas, los artículos más referenciados abordaron principalmente la mejora de la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos y flavonoides en el polen fermentado, su impacto en la salud humana y su aplicación en la industria alimentaria como ingrediente funcional.

Además, la revisión permitió identificar tres grandes áreas temáticas en el estudio del polen fermentado: (1) modificaciones estructurales y bioquímicas durante el proceso de fermentación, donde se evaluaron los efectos en la digestibilidad, la composición de



metabolitos secundarios y la estabilidad microbiológica del producto; (2) beneficios funcionales y aplicaciones biotecnológicas, con énfasis en el aumento de la actividad antioxidante, antiinflamatoria y prebiótica del polen fermentado; y (3) desafíos en la estandarización y seguridad del producto, destacando la necesidad de optimizar los procesos de fermentación para garantizar la calidad y seguridad alimentaria en aplicaciones comerciales (Peñaloza y Hernández, 2018; Soto-Tolosa *et al.*, 2021). Estas temáticas reflejan la evolución del conocimiento en el campo y su potencial para el desarrollo de nuevos productos nutraceuticos.

Innovaciones en el procesamiento del polen: fermentación natural y en condiciones controladas de laboratorio. El polen de abeja es una sustancia natural altamente nutritiva recolectada por las abejas a partir de diversas especies vegetales y almacenada en la colmena como fuente primaria de proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales esenciales. Su composición química varía según el origen botánico y geográfico, pero generalmente contiene aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados, flavonoides, polisacáridos y compuestos fenólicos con reconocidas

propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Milek *et al.*, 2023; Baky *et al.*, 2023). Estos componentes bioactivos hacen del polen un ingrediente funcional con aplicaciones en la industria alimentaria y nutraceutica, donde se ha estudiado por su capacidad para modular la microbiota intestinal, mejorar la biodisponibilidad de nutrientes y potenciar el sistema inmunológico (Barta *et al.*, 2022). No obstante, la dureza de su pared celular limita la digestibilidad y la liberación de sus compuestos bioactivos, lo que ha impulsado la exploración de procesos biotecnológicos como la fermentación, los cuales permiten mejorar su aprovechamiento nutricional y funcional (Alcalá-Orozco *et al.*, 2024).

El proceso de fermentación del polen constituye un esfuerzo multifacético, que abarca metodologías tanto naturales como controlados exógenamente, cada una de las cuales contribuye a generar productos con distintivas propiedades fisicoquímicas y biológicas (Cheng *et al.*, 2023; Caballero-Pérez *et al.*, 2023). La fermentación natural es un proceso intrínseco que ocurre espontáneamente en condiciones ambientalmente adecuadas, impulsado por un consorcio de microorganismos autóctonos que habitan en la matriz polínica (Zuluaga-

Domínguez *et al.*, 2019). Estos microorganismos, incluidas bacterias como *Pseudomonas* spp. y *Lactobacilli* spp., así como cepas de levaduras como *Saccharomyces* spp., catalizan transformaciones bioquímicas dentro del sustrato polínico, lo que resulta en cambios en su composición estructural (Z. Zhang *et al.*, 2017). Este proceso espontáneo comienza poco después de la recolección del polen, observándose una mayor actividad dentro de las colmenas, donde las interacciones sinérgicas entre los granos de polen, la miel y la saliva de abeja estimulan la actividad microbiana y fomentan los procesos de degradación enzimática, lo que lleva a la formación de un producto distintivo conocido como pan de abeja (Khalifa *et al.*, 2020, Miłek *et al.*, 2023). El proceso de fermentación implica la utilización de bacterias ácido lácticas, como *L. rhamnosus*.

En este sentido, se han investigado tanto la fermentación espontánea como la inducida por cultivos específicos de este microorganismo para determinar su influencia en la composición de compuestos biológicamente activos (Adaškevičiūtė *et al.*, 2022). Estudios han revelado que la fermentación conduce a un aumento significativo en el contenido total de

compuestos fenólicos y flavonoides en el polen, lo que contribuye a mejorar su actividad antioxidante con la potencial eliminación de radicales libres (H. Zhang *et al.*, 2022; H. Zhang *et al.*, 2023). En este sentido, los compuestos fenólicos que se encuentran en mayor abundancia en el polen fermentado incluyen naringenina, quercetina, luteolina y rutina, aunque la cantidad puede variar según el origen geográfico del polen y el método de fermentación empleado (Adaškevičiūtė *et al.*, 2022).

En contraste, la fermentación del polen se puede inducir artificialmente añadiendo uno o más tipos de polen a una solución o preparación y luego sometiéndolos a un proceso de fermentación controlado a diferentes temperaturas. Este enfoque permite la producción a gran escala de polen fermentado con propiedades deseadas (Barta *et al.*, 2022). Junto con las bacterias añadidas, la microflora natural del polen de abeja contribuye a dicho proceso, lo que potencializa estas actividades (Kaškonienė *et al.*, 2020). Es importante tener en cuenta que el polen fermentado obtenido mediante fermentación natural y controlada puede albergar no sólo uno, si no diversos tipos de microorganismos, incluidas bacterias, mohos y microorganismos patógenos como



Escherichia coli. Para garantizar la seguridad y la calidad del producto fermentado, se utilizan métodos de esterilización como la irradiación con rayos gamma o haces de electrones. Estas técnicas son efectivas para eliminar microorganismos no deseados preservando al mismo tiempo los componentes esenciales y las características sensoriales del polen fermentado (Poyraz *et al.*, 2023).

Si bien la fermentación natural ofrece ventajas inherentes, como la generación de pan de abeja con atributos nutricionales encomiables, los desafíos relacionados con la escalabilidad y la viabilidad económica requieren enfoques específicos (Barta *et al.*, 2022). La fermentación alternativa, que utiliza cultivos iniciadores definidos como bacterias lácticas fructofílicas (FLAB, por sus siglas en inglés) y cepas de levaduras, tiene una serie de ventajas significativas sobre la fermentación natural en la producción de pan de abeja (Poyraz *et al.*, 2023). Estudios recientes han demostrado que el pan de abeja elaborado con cultivos iniciadores muestra una marcada mejora en varias características. En primer lugar, se ha observado una mayor estabilidad microbiana en el pan de abeja elaborado con este tipo de cultivos, garantizando una mayor seguridad alimentaria y una vida útil más

prolongada del producto (Barta *et al.*, 2022). Además, las propiedades fisicoquímicas mejoradas, junto con un aumento en la cantidad total de componentes fenólicos, hacen de este pan de abeja una opción más saludable y nutritiva en comparación con las alternativas comerciales (Poyraz *et al.*, 2023).

En concordancia con lo anterior, el uso de polen fermentado en condiciones de laboratorio, en lugar del espontáneo, reduce significativamente el período de fermentación, al tiempo que produce gránulos fragmentados que se asemejan a la textura y consistencia del pan de abeja natural (Di Cagno *et al.*, 2019). Esta característica no solo mejora la apariencia del producto final, sino que también influye en su digestibilidad y enriquecimiento nutricional, como lo demuestran los perfiles mejorados de aminoácidos (Poyraz *et al.*, 2023). En consecuencia, simular la fermentación del polen en entornos de laboratorio controlados, inoculándolo con cepas seleccionadas de microorganismos para imitar las transformaciones bioquímicas características de los procesos de fermentación naturales, es la alternativa más viable (Kacemi & Campos, 2023). Mediante una manipulación meticulosa de las condiciones de fermentación, los investigadores pretenden mejorar los atributos

nutricionales y funcionales del producto resultante, garantizando así que el pan de abeja artificial posea características comparables a su homólogo natural (Cheng et al., 2023, Adaškevičiūtė *et al.*, 2022, Kacemi & Campos, 2023).

Pretratamiento óptimo para mejorar el procesamiento del polen de abeja. El polen cosechado se somete a una serie de pasos de pretratamiento para garantizar las condiciones adecuadas para la actividad biológica y la calidad del producto. Estas etapas son cruciales para optimizar y sentar las bases para una fermentación efectiva (Xue & Li, 2023). Los objetivos del pretratamiento del polen son críticos para garantizar la actividad biológica y la calidad del producto final, y se centran en varios aspectos clave.

Primero, mantener la integridad de los cultivos que serán polinizados es fundamental. Los protocolos de pretratamiento están diseñados para preservar la viabilidad de los granos, asegurando que permanezcan vivos y capaces de germinar. Esta preservación es crucial para estudiar los procesos dinámicos relacionados con su germinación y el crecimiento del tubo polínico, proporcionando una base sólida para la investigación en este campo (Pertl-Obermeyer & Obermeyer, 2014).

Otro objetivo importante es minimizar los cambios en el proteoma del polen. Los protocolos de pretratamiento están diseñados para controlar cuidadosamente las condiciones de recolección, almacenamiento y manipulación del polen para evitar alteraciones no deseadas. Al mantener condiciones experimentales bien definidas y reproducibles, se garantiza la integridad de los datos proteómicos y se facilita su análisis posterior (Pertl-Obermeyer & Obermeyer, 2014).

Además, algunos protocolos de pretratamiento pueden incluir pasos para la separación de los orgánulos. Esto permite el aislamiento y análisis de orgánulos específicos, como mitocondrias o plastidlos, lo que proporciona información detallada sobre los procesos moleculares que ocurren durante la germinación del polen y el crecimiento de los tubos (Hernández Silva *et al.*, 2016). Esta caracterización subcelular es crucial para comprender los mecanismos moleculares de la germinación del polen y el crecimiento de los tubos (Pertl-Obermeyer & Obermeyer, 2014).

Para estos fines se emplean comúnmente métodos como el secado con aire caliente y

asistido con microondas, liofilización, vacío y secado por infrarrojo (Bi *et al.*, 2022).

Procesamiento del polen: fermentación. La comprensión de las condiciones bajo las cuales se producen los tratamientos de fermentación es crucial para optimizar la calidad del producto. Esta sección proporciona información integral sobre cómo el control preciso sobre estos procesos contribuye a los resultados deseados. El proceso de fermentación aplicado al polen de abeja implica predominantemente a la fermentación en estado sólido (SSF) y en estado líquido (LSF), cada una caracterizada por condiciones ambientales únicas e interacciones microbianas diseñadas para maximizar las propiedades nutricionales y funcionales del producto final. La fermentación en estado sólido ocurre típicamente dentro de la colmena de abejas, donde el polen se almacena en células previamente tratadas con secreciones salivales y ácido 10-hidroxi-2-decenoico. Posteriormente, el polen se cubre con una capa de miel, creando un ambiente anaeróbico a 34-36°C, donde la acción de las bacterias y las levaduras inicia la fermentación, dando como resultado la transformación del polen en un producto conocido como pan de abeja (Loper *et al.*, 1980).

Como se analizó anteriormente, estos microorganismos desempeñan un papel vital en la descomposición de nutrientes complejos presentes en el polen de abeja, mejorando su digestibilidad y biodisponibilidad (Kaškonienė *et al.*, 2018). Dada la importancia de este proceso y los microorganismos involucrados, se han realizado varios estudios para simular las condiciones requeridas para la fermentación en estado sólido del polen de abeja. Por ejemplo, Vamanu *et al.*, (2006) investigaron el proceso de fermentación *in vitro* utilizando *L. acidophilus* en diferentes condiciones de pH, temperatura y concentración de polen, determinando los parámetros óptimos para inducir la fermentación (pH 4,5–6,5 y 30–42 °C).

Estudios posteriores realizados por Vamanu *et al.*, (2008) exploraron el uso de diferentes cepas bacterianas, incluidas *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus plantarum*, para obtener productos probióticos a partir del polen de abeja. Fuenmayor *et al.*, (2009) realizó una investigación empleando polen de abeja colombiano para determinar las condiciones óptimas del proceso (1×10^8 UFC de la cepa *Lactobacillus acidophilus* en una mezcla 2:1 de polen de abeja y agua, a 121 °C durante 15 min, e incubación a 25 °C); mientras que Vamanu *et al.*, (2010) evaluaron



el efecto de los prebióticos sobre la viabilidad celular y la capacidad antioxidante durante la fermentación. Estos estudios contribuyen colectivamente a una comprensión más profunda de la fermentación en estado sólido del polen de abeja y su potencial para mejorar la calidad del producto. No obstante, este proceso presenta ciertos inconvenientes, que incluyen acumulación de calor, contaminación bacteriana, limitaciones en el crecimiento microbiano debido a los bajos niveles de actividad del agua, desafíos para determinar el crecimiento microbiano, dificultades en la purificación del producto y problemas relacionados con el control de la humedad (Salazar-González & Díaz-Moreno, 2016).

Efectos de los métodos de procesamiento sobre las propiedades funcionales del polen de abeja. Varios estudios han explorado el impacto de la fermentación sobre el polen de abeja, investigando sus propiedades funcionales y actividades biológicas (Tabla 1). La fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias ácido lácticas condujo a un aumento significativo del contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante en comparación con el polen de abeja fresco (Zuluaga-Dominguez *et al.*, 2019). De manera similar, la fermentación con cepas seleccionadas de *Lactobacillus kunkeei* y

Hanseniaspora uvarum resultó en una mejora valor nutricional y estabilidad microbiana del polen recolectado por las abejas, con aumentos notables en péptidos y aminoácidos (Di Cagno *et al.*, 2019). Otro estudio demostró que la fermentación con *Lactococcus lactis* y *L. rhamnosus* mejoraba significativamente las actividades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes del polen de abeja (Kaškonienė *et al.*, 2020). La fermentación con *S. cerevisiae* también aumentó el valor nutricional y la composición bioactiva del polen de abeja, junto con sus actividades antioxidantes y antiinflamatorias (H. Zhang *et al.*, 2023).

Además, diferentes enfoques de fermentación, como el uso de iniciadores como *Lactobacillus acidophilus* y *Lacticaseibacillus rhamnosus*, dieron como resultado una mayor producción de ácido láctico y un aumento del potencial antioxidante (Adaškevičiūtė *et al.*, 2022; Mora-Adames *et al.*, 2021). La fermentación del polen de abeja del consorcio Kombucha mostró un aumento de compuestos bioactivos y efectos antitumorales (Uțoiu *et al.*, 2018), mientras que el proceso realizado por levaduras, condujo a la prevención del síndrome metabólico mediante la modulación de la microbiota intestinal (Yan, *et al.*, 2021).

Tabla 1. Propiedades funcionales identificadas en muestras de polen sometidas al proceso de fermentación.

Propiedad funcional identificada	Agente biológico	Condiciones del ensayo	Observaciones principales	Referencia
Efecto antioxidante	Levaduras de la especie <i>S. cerevisiae</i> , bacterias de la especie <i>Lactobacillus plantarum</i> , cultivo comercial Choozit®	Se realizaron seis pruebas de fermentación diferentes. En dos de ellos se inocularon levaduras: cultivos ATCC como comerciales. Otras dos pruebas implicaron la inoculación con bacterias ácido lácticas de cepas ATCC y cultivos comerciales. Finalmente, los dos experimentos restantes utilizaron consorcios de levaduras y bacterias ácido lácticas, uno de cepas ATCC y el otro de cultivos comerciales. se prepararon 200 g de sustrato utilizando una proporción 1:1 de polen de abeja y agua. El inóculo se dejó incubar a 37°C/ 72 h.	En comparación con el polen de abeja fresco, los productos fermentados mostraron un aumento del 31 % en el contenido fenólico total y del 39 % en la actividad antioxidante.	Zuluaga-Domínguez <i>et al.</i> , (2019)
Mayor valor nutricional para los humanos y estabilidad microbiana	Inóculo mixto de cepas seleccionadas de <i>Lactobacillus kunkeei</i> y <i>Hanseniaspora uvarum</i> AN8Y27B	El polen se fermentó utilizando un inóculo mixto de cepas de <i>Lactobacillus kunkeei</i> PF12, PL13 y PF15 y <i>H. uvarum</i> en tubos sellados a 30 °C durante 216 h. Se realizó la adición de agua estéril para lograr un contenido de agua final del 40 % (p/p).	La concentración de péptidos en el polen crudo fue de $14,12 \pm 2,40 \text{ mg kg}^{-1}$ de peso seco, el cual aumentó a $50,78 \pm 1,86 \text{ mg kg}^{-1}$ de peso seco después de la fermentación. los aminoácidos libres totales aumentaron significativamente durante la fermentación. La estabilidad microbiana durante el almacenamiento (25 °C) durante 50 días reveló una tendencia decreciente en las bacterias ácido lácticas, con una reducción significativamente más lenta en el polen iniciado en comparación con el crudo. Las levaduras exhibieron mayores densidades celulares en las muestras sin tratar. Los mohos estuvieron presentes hasta por 20 días, con la mayor densidad celular en las muestras crudas.	Di Cagno <i>et al.</i> , (2019)
Actividades antibacterianas, antifúngicas y	Bacterias <i>Lactococcus lactis</i> y <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	El inóculo se cultivó estáticamente en caldo MRS con Tween 80 a 37 °C, hasta alcanzar la densidad celular, y se determinó espectrofotométricamente a 600 nm.	Después de la fermentación, hubo un aumento en el contenido fenólico total, flavonoides y la actividad eliminadora de radicales de 1,27 a 2,40 veces. La actividad antibacteriana	Kaškonienė <i>et al.</i> , (2020)



<p>antioxidantes.</p>			<p>contra <i>Micrococcus luteus</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>E. coli</i> aumentó entre 1,08 y 16,9 veces, mientras que la actividad antifúngica contra <i>Penicillium roqueforti</i> aumentó entre 1,96 y 5,52 veces. La microflora natural del polen de abeja contribuye al proceso de fermentación junto con las bacterias añadidas, por lo que el polen de abeja pasteurizado mostró actividades antimicrobianas y antioxidantes significativamente menores después de la fermentación en comparación con el polen naturalmente fermentado.</p>	
<p>Valor nutricional mejorado</p>	<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i></p>	<p><i>S. cerevisiae</i> se activó en agua estéril a 37 °C durante 1 h, se transfirió al polen de abeja esterilizado (levadura: polen de abeja, 1:50 g/g; polen de abeja: agua estéril, 1:20 g/mL) y se cultivó a 160 rpm en un matraz de agitación de 1 L a 28 °C durante 8 días. Se utilizó cromatografía líquida de ultra rendimiento, ionización por pulverización de electrones y espectrometría de masas (UPLC-ESI-MS) basada en un análisis metabolómico ampliamente dirigido para comparar la composición química del polen de abeja no fermentado (UBP) y el polen de abeja fermentado (FBP).</p>	<p>La fermentación aumentó significativamente el contenido de metabolitos primarios, incluidos 74 aminoácidos y sus derivados, 42 ácidos grasos poliinsaturados y 66 ácidos orgánicos. Además, provocó una elevación de algunos metabolitos secundarios, como 38 compuestos fenólicos, 80 flavonas agliconas y 22 fenolamidas.</p>	<p>H. Zhang et al., (2022)</p>
<p>Actividades antioxidantes y antiinflamatorias.</p>	<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i></p>	<p><i>S. cerevisiae</i> se activó en agua estéril a 37 °C durante 1 h, se transfirió a polen de abeja esterilizado y se cultivó a 160 rpm en un matraz agitador de 1 L a 28 °C durante 8 días.</p>	<p>La fermentación mejoró significativamente las actividades antioxidantes (>2,3 veces) y antiinflamatorias (>1,36 veces) del polen de abeja, y aumentó el contenido de fenoles y flavonoides totales de 1,99 a 1,53 veces. Además, 15 componentes, incluidas tres fenolamidas, una aglicona flavonoide, siete ácidos grasos, tres aminoácidos y un compuesto cetónico, se correlacionaron positivamente con las actividades antioxidantes y</p>	<p>H. Zhang et al., (2023)</p>



			antiinflamatorias del polen de abeja.	
Mejora de la producción de ácido láctico.	Iniciador A (<i>S. thermophilus</i> , <i>L. delbrueckii</i> ssp. <i>lactis</i> , y <i>L. delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i>), Iniciador B (<i>L. delbrueckii</i> ssp. <i>lactis</i> , <i>L. delbrueckii</i> ssp. <i>cremoris</i> , y <i>L. delbrueckii</i> ssp. biovar. <i>diacetylactis</i>), y Iniciador C (<i>L. acidophilus</i> NCFM).	El sustrato se preparó mediante un tratamiento térmico de 10 min, con una relación agua: polen de 2:1. Se inoculó directamente con 0,0160 g de cultivo iniciador/kg, se sirvió en recipientes de vidrio de 6 L sin agitación, se selló y se incubó a 42,0 °C ± 0,5 °C para el iniciador A y C, y a 37,0 °C ± 0,5 °C para el iniciador A y C. iniciador b.	Entre los cultivos iniciadores probados, uno constituido exclusivamente por el probiótico <i>Lactobacillus acidophilus</i> NCFM, presentó el mejor desempeño en términos de producción de ácido láctico, con una concentración de 1,65% en peso, después de 30 h.	Mora-Adames et al., (2021)
Actividad antioxidante	<i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> GG (ATCC 53103)	Se humedecieron 10 g de cada muestra de polen con 2 mL de agua destilada estéril / 2 h, luego se calentaron y enfriaron, añadiendo una mezcla de miel de primavera multifloral junto con agua, se suplementaron 800 µL de <i>L. rhamnosus</i> para la fermentación bacteriana y 800 µL de caldo MRS con Tween 80 para la fermentación espontánea. La fermentación bacteriana duró 9 días, la fermentación espontánea 11 días, ambas realizadas a 37°C.	Aumento en el contenido fenólico total de entre 1,4 a 2,3 veces, el contenido total de flavonoides entre 1,1 y 1,6 veces y la actividad eliminadora de radicales entre 1,4 y 2,3 veces. Naringenina, quercetina, luteolina y rutina fueron los flavonoides más abundantes en todas las muestras.	Adaškevičiūtė et al., (2022)
Actividad antioxidante y mayor valor nutricional.	<i>Lactococcus lactis</i>	35 °C durante las primeras 96 h y luego 20 °C durante las siguientes 72 h	Las proteínas aumentaron un 1,53%, los azúcares totales disminuyeron un 32,6%, el contenido de ácido láctico aumentó un 1,35%, el total de los aminoácidos libres aumentó un 1,99%, el total de polifenoles disminuyó un 1,8%, aumentaron todos los minerales y la eliminación de radicales. la actividad aumentó en un 18,86% el polen fermentado	Shirsat et al., (2019)
Actividades antioxidantes y antitumorales, y mayor	Kombucha consortium	La fermentación se realizó a 28 °C durante 10 días usando polen y vinagre de Kombucha (preparado por fermentación a 28 °C durante 20 días usando 5 g de té verde y 1 L de agua)	El contenido de compuestos bioactivos (polifenoles, especies de silicio solubles y ácidos grasos de cadena corta) fue mayor en el polen fermentado. El valor IC ₅₀ de la actividad eliminadora de radicales DPPH disminuyó	Uțoiu et al., (2018)

valor nutricional.			continuamente desde 15,16 mg/mL en el primer día de fermentación hasta 10,56 mg/mL en el décimo día. El producto mostró un efecto antitumoral moderado sobre las células Caco-2.	
Actividad antiviral contra el virus de la influenza A	<i>Apilactobacillus kunkeei</i> , <i>Zasphinctus siamensis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Bacillus sp.</i> y <i>Bacillus subtilis</i>	La fermentación se realizó a 33 °C durante 28 días.	Los valores de IC ₅₀ oscilaron entre 0,022 y 10,04 mg/mL, y los valores del índice de selectividad (SI) oscilaron entre 1,06 y 338,64. Las muestras de polen fermentadas artificialmente demostraron valores de SI más altos que el polen no fermentado, y las fracciones proteicas demostraron los valores de SI más altos.	Dimitriou et al., (2023)
Prevención del síndrome metabólico	Fermentación con levaduras	La fermentación se realizó a 37 °C durante 48 h.	La fermentación del polen con levaduras elevó las actividades de GST y CAT al tiempo que redujo los niveles de MDA en el hígado mediante la restauración de la vía Nrf-2-Keap-1. Además, el polen fermentado provocó una disminución en la proporción de <i>Firmicutes</i> a <i>Bacteroidetes</i> y un aumento en la abundancia de <i>Lactobacillus</i> y <i>Lactococcus</i> .	Yan et al., (2021)

De forma similar, la fermentación asistida por ultrasonido con cepas de *Lactobacillus rhamnosus* y *Saccharomyces cerevisiae* mejoró la composición bioactiva y la actividad antioxidante del polen de abeja (Mitek et al., 2023). Estos estudios resaltan colectivamente el potencial de la fermentación para mejorar las propiedades funcionales y las actividades biológicas del polen de abeja, ofreciendo información sobre sus aplicaciones en alimentos funcionales y nutraceuticos (Mitek et

al., 2023). El polen de abeja ha sido incorporado en diversas formulaciones comerciales a nivel global debido a su alto contenido de compuestos bioactivos, incluyendo flavonoides, polifenoles, aminoácidos esenciales y vitaminas. Sin embargo, no existen bases de datos científicas oficiales que sistematicen su uso en la industria alimentaria. Alcalá-Orozco et al., (2024) han compilado información sobre productos comercializados en diferentes



países, evidenciando su aplicación en alimentos funcionales y suplementos dietarios.

En Estados Unidos, se han desarrollado cápsulas de polen de abeja enriquecidas con vitamina C y proteínas de origen orgánico (Y.S. Organic Bee Farms. 1995), utilizadas como suplementos de alta densidad nutricional para mejorar la circulación, fortalecer la respuesta inmune y reducir la fatiga. En otros países, el polen se ha incorporado en tónicos líquidos combinados con extractos herbales y vitaminas (Bin, Y. 2015), formulados para modular la actividad del sistema inmunológico y favorecer la homeostasis metabólica. Además, en la industria cosmética, se han desarrollado cremas y lociones a base de polen, ricas en flavonoides y polifenoles (Sun *et al.*, 2017), que han demostrado propiedades protectoras contra el estrés oxidativo de la piel, reduciendo manchas y mejorando la regeneración celular

En Colombia, se han identificado formulaciones con polen de abeja en diferentes matrices alimentarias. Propovitamin adultos es un suplemento en forma líquida que combina miel, propóleo, polen de abeja y vitaminas A y C (NOVOFARLAB. 2025a), diseñado para potenciar la actividad

antioxidante y la inmunomodulación. Asimismo, el producto AlivMiel candy consiste en una matriz de azúcares, propóleo, polen de abeja y vitamina C (NOVOFARLAB. 2025b), formulada con el objetivo de ejercer efectos antimicrobianos y antiinflamatorios, además de contribuir al alivio de síntomas asociados a infecciones respiratorias.

A nivel internacional, el polen de abeja también se comercializa en su forma más pura como gránulos deshidratados (Bogdanov. 2012), los cuales presentan una alta concentración de aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas, permitiendo su uso como suplemento dietético de amplio espectro. La creciente incorporación del polen en formulaciones funcionales responde a la evidencia científica que respalda su actividad antioxidante, inmunomoduladora y metabólica, consolidando su potencial como ingrediente en la industria nutracéutica y alimentaria. En general, estos estudios demuestran las diversas estrategias empleadas para mejorar el valor nutricional, la actividad antioxidante y la composición bioactiva del polen de abeja, destacando su potencial como un valioso alimento funcional



CONCLUSIONES

La fermentación del polen de abeja ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar su valor nutricional y funcionalidad, aumentando la biodisponibilidad de compuestos bioactivos como flavonoides, ácidos fenólicos y péptidos bioactivos. A través del uso de bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras como *S. cerevisiae*, se han logrado modificaciones estructurales en la matriz del polen, facilitando la liberación de metabolitos con actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana.

Los estudios han evidenciado que la fermentación contribuye a la degradación parcial de la exina y la intina, reduciendo la rigidez de la pared celular del polen y mejorando su digestibilidad. Adicionalmente, el proceso fermentativo ha permitido la reducción de compuestos alergénicos, haciendo del polen fermentado una alternativa viable para poblaciones con hipersensibilidad a ciertos componentes de este producto apícola.

El uso de cultivos iniciadores específicos, la optimización de condiciones como pH, temperatura y tiempo de fermentación, y la aplicación de fermentación en estado sólido y en medio líquido han sido determinantes para potenciar las propiedades bioactivas del polen fermentado. Asimismo, la combinación de la fermentación con otras tecnologías emergentes podría ser una estrategia clave para mejorar aún más su estabilidad microbiológica y sus características sensoriales.

A medida que la investigación en este campo avanza, se hace evidente la necesidad de estandarizar los protocolos de fermentación, asegurando la calidad y reproducibilidad de los productos finales. Además, la validación de los efectos biológicos del polen fermentado mediante estudios in vivo e in vitro fortalecerá su aplicación en la industria de alimentos funcionales y nutraceuticos, consolidando su potencial como un ingrediente innovador con múltiples beneficios para la salud.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Convocatoria 935 Programa Orquídeas, *mujeres en la ciencia: agentes para la paz* financiada por el Ministerio de Ciencia tecnología e innovación

(Minciencias)- Fondo nacional de financiamiento para la ciencia, la tecnología y la innovación Francisco José de Caldas. CT 287 2023. Ficha 102289.



Miembros de la Cooperativa Multiactiva de Apicultores Orgánicos Montes de María. COOAPOMIEL, y a la Joven Investigadora e Innovadora, Jennifer Guerrero, por su apoyo en el desarrollo del Proyecto CT 287 2023.

Convocatoria 934 de estancias posdoctorales orientadas por misiones financiada por Minciencias, CT 391-2023.

Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados” (CEIBA), “Bolívar Gana con Ciencia”.

Programa Nacional de Formación Doctoral [757-2016] [727-2015].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adaškevičiūtė, V., Kaškonienė, V., Barčauskaitė, K., Kaškonas, P., & Maruška, A. (2022). The Impact of Fermentation on Bee Pollen Polyphenolic Compounds Composition. *Antioxidants*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/antiox11040645>
- Alcalá-Orozco, M., Lobo-Farfan, I., Tirado, D. F., & Mantilla-Escalante, D. C. (2024). Enhancing the Nutritional and Bioactive Properties of Bee Pollen: A Comprehensive Review of Processing Techniques. *Foods*, 13(21), 3437. <https://doi.org/10.3390/foods13213437>
- Alshallash, K. S., Abolaban, G., Elhamamsy, S. M., Zaghlool, A., Nasr, A., Nagib, A., Hel-Hakim, A., Zahra, A., Hamdy, A., & Taha, I. M. (2023). Bee pollen as a functional product—chemical constituents and nutritional properties. *Journal of Ecological Engineering*, 24(2). <https://doi.org/10.12911/22998993/156611>
- Anderson, K.E.; Carroll, M.J.; Sheehan, T.; Mott, B.M.; Maes, P.; Corby-Harris, V. Hive-stored pollen of honey bees: Many lines of evidence are consistent with pollen preservation, not nutrient conversion. *Mol. Ecol.* 2014, 23, 5904–5917. <https://doi.org/10.1111/mec.12966>
- Aylanc, V., Falcão, S. I., Ertosun, S., & Vilas-Boas, M. (2021). From the hive to the table: Nutrition value, digestibility and bioavailability of the dietary phytochemicals present in the bee pollen and bee bread. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 464-481. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.042>



- Baky, M.H.; Abouelela, M.B.; Wang, K.; Farag, M.A. Bee pollen and bread as a super-food: A comparative review of their metabolome composition and quality assessment in the context of best recovery conditions. *Molecules* 2023, 28, 715. <https://doi.org/10.3390/molecules28020715>.
- Barta, D. G., Cornea-Cipcigan, M., Margaoan, R., & Vodnar, D. C. (2022). Biotechnological Processes Simulating the Natural Fermentation Process of Bee Bread and Therapeutic Properties—An Overview. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.871896>
- Benavides Guevara, R. M. (2016). Evaluación de pretratamientos en el polen apícola como alternativa de adecuación para un sustrato de fermentación láctica (Doctoral dissertation). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56591>
- Bi, Y. X., Zielinska, S., Ni, J. B., Li, X. X., Xue, X. F., Tian, W. L., Juan, W., & Fang, X. M. (2022). Effects of hot-air drying temperature on drying characteristics and color deterioration of rape bee pollen. *Food Chemistry: X*, 16, 100464. Retrieved April 29, 2024, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157522002620>
- Caballero-Pérez LA, Tejedor-Arias R, Salas-Osorio EJ. (2023). Survival of a mixed culture of microencapsulated probiotic strains against the gastrointestinal barrier in vitro. ISSN2521-9715. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias – septiembre 2023*. 33(2) :1-9. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica>.
- Calsada Uribe Nataly Jullyet.; Caballero Pérez Luz Alba; Soto Tolosa Erika Paola. (2022). Elaboración de una barra proteica con recubrimiento de un gel energético a base de café. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 20 N° 2. Pp: 5 - 23. <https://doi.org/10.24054/limentech.v20i2.2282>.
- Cheng, Y., Ang, B., Xue, C., Wang, Z., Yin, L., Wang, T., Chen, Qiuming., Wang, Zhaojun., Zeng, Maomao., Zhang, Wei., & He, Z. (2023). Insights into the fermentation potential of pollen: manufacturing, composition, health benefits, and applications in food production. *Trends in Food Science & Technology*, 104245. Retrieved April 29, 2024, from



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224423003606>

Retrieved April 29, 2024, from
<https://www.mdpi.com/2304-8158/12/10/1978>

- Cruz-Casas, D.E.; Aguilar, C.N.; Ascacio-Valdés, J.A.; Rodríguez-Herrera, R.; Chávez-González, M.L.; Flores-Gallegos, A.C. Enzymatic hydrolysis and microbial fermentation: The most favorable biotechnological methods for the release of bioactive peptides. *Food Chem. Mol. Sci.* 2021, 3, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100047>
- Denisow, B., & Denisow Pietrzyk, M. (2016). Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4303-4309. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7729>
- Di Cagno, R., Filannino, P., Cantatore, V., & Gobbetti, M. (2019). Novel solid-state fermentation of bee-collected pollen emulating the natural fermentation process of bee bread. *Food Microbiology*, 82, 218–230. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2019.02.007>
- Dimitriou, T. G., Asoutis Didaras, N., Barda, C., Skopeliti, D., Kontogianni, K., Karatasou, K., Skaltsa, H & Mossialos, D. (2023). Antiviral Activity of Beebread, Bee-Collected Pollen and Artificially Fermented Pollen against Influenza A Virus. *Foods*, 12(10), 1978. <https://doi.org/10.3390/foods12101978>
- El Ghouzi, A., Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaaïd, D., El Menyiy, N., Hano, C., & Lyoussi, B. (2023). Bee Pollen as Functional Food: Insights into Its Composition and Therapeutic Properties. *Antioxidants*, 12(3), 557. <https://doi.org/10.3390/antiox12030557>
- Feás, X., Vázquez-Tato, M. P., Estevinho, L., Seijas, J. A., & Iglesias, A. (2012). Organic bee pollen: botanical origin, nutritional value, bioactive compounds, antioxidant activity and microbiological quality. *Molecules*, 17(7), 8359-8377. <https://doi.org/10.3390/molecules17078359>
- Filannino, P., Di Cagno, R., Vincentini, O., Pinto, D., Polo, A., Maialetti, F., ... & Gobbetti, M. (2021). Nutrients bioaccessibility and anti-inflammatory features of fermented bee pollen: A comprehensive investigation. *Frontiers in Microbiology*, 12, 622091. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.622091>
- Fuenmayor Bobadilla, C. A. (2009). Aplicación de bioprocesos en polen de abejas para la obtención de un suplemento nutricional proteico (Doctoral dissertation). *Universidad Nacional de Colombia Sede*



Bogotá Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y
Ambiental Ingeniería Química.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11128>

Hernández Silva, E., & García-Martínez, I. (2016). Brasinoesteroides en la agricultura. I. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 441-450. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200441&lng=es&nrm=iso.

Kacemi, R., & Campos, M. G. (2023). Translational Research on Bee Pollen as a Source of Nutrients: A Scoping Review from Bench to Real World. In *Nutrients* (Vol. 15, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu15102413>

Kaškonienė, V., Katilevičiūtė, A., Kaškonas, P., & Maruška, A. (2018). The impact of solid-state fermentation on bee pollen phenolic compounds and radical scavenging capacity. *Chemical Papers*, 72(8), 2115–2120. <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0417-7>

Kaur, J., Rasane, P., Kumar, V., Nanda, V., Bhadariya, V., Kaur, S., & Singh, J. (2024). Exploring the Health Benefits of Bee Pollen and Its Viability as a Functional Food

Ingredient. Reviews in Agricultural Science, 12, 65-78. *J-STAGE Volume 12 Pages 65-78.*
https://doi.org/10.7831/ras.12.0_65

Khalifa, S. A. M., Elashal, M., Kieliszek, M., Ghazala, N. E., Farag, M. A., Saeed, A., Xiao, J., Zou, X., Khatib, A., Göransson, U., & El-Seedi, H. R. (2020). Recent insights into chemical and pharmacological studies of bee bread. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 300–316. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.08.021>

Khalifa, S. A., Elashal, M. H., Yosri, N., Du, M., Musharraf, S. G., Nahar, L., & El-Seedi, H. R. (2021). Bee pollen: Current status and therapeutic potential. *Nutrients* 2021, 13(6), 1876; <https://doi.org/10.3390/nu13061876>

Laaroussi, H., Ferreira-Santos, P., Genisheva, Z., Bakour, M., Ousaid, D., El Ghouizi, A., & Lyoussi, B. (2023). Unveiling the techno-functional and bioactive properties of bee pollen as an added-value food ingredient. *Food Chemistry*, 405, 134958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134958>

Liu, Y., Jiang, B., & Wang, K. (2023). A Review of Fermented Bee Products: Sources, Nutritional Values, and Health Benefits. *Food*



- Research International*, 113506. *Biomolecules*, 13(7).
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113506> <https://doi.org/10.3390/biom13071025>
- Loper, G. M., Standifer, L. N., Thompson, M. J., & Gilliam, M. (1980). Biochemistry and microbiology of bee-collected almond (*Prunus dulcis*) pollen and bee bread. I- Fatty Acids, Sterols, Vitamins and Minerals. *Apidologie*, 11(1), 63-73. Retrieved April 29, 2024, from https://www.apidologie.org/articles/apido/pdf/1980/01/Apidologie_0044-8435_1980_11_1_ART0008.pdf
- Mărgăoan, R., Stranț, M., Varadi, A., Topal, E., Yücel, B., Cornea-Cipcigan, M., ... & Vodnar, D. C. (2019). Bee collected pollen and bee bread: Bioactive constituents and health benefits. *Antioxidants*, 8(12), 568. <https://doi.org/10.3390/antiox8120568>
- Mickienė, R., & Maruška, A. (2020). Antimicrobial and antioxidant activities of natural and fermented bee pollen. *Food Bioscience*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100532>
- Milek, M., Mołoń, M., Kula-Maximenko, M., Sidor, E., Zaguła, G., & Dżugan, M. (2023). Chemical Composition and Bioactivity of Laboratory-Fermented Bee Pollen in Comparison with Natural Bee Bread.
- Mora-Adames, W. I., Fuenmayor, C. A., Benavides-Martín, M. A., Algecira-Enciso, N. A., & Quicazán, M. C. (2021). Bee pollen as a novel substrate in pilot-scale probiotic-mediated lactic fermentation processes. *LWT*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110868>
- Novofarlab a. Propovitamin Adultos—Alimento a Base de Propóleo con Miel de Abejas y Polen y Vitaminas A y C. Available online: <https://www.novofarlab.com.co/producto/propovitamin-adultos/> (consultado el 03-02-2025).
- Novofarlab b. Alivmiel Cereza—Caramelo con Propóleo, Polen y Vitamina C. Available online: <https://www.novofarlab.com.co/producto/alivmiel-cereza/> (consultado el 03-02-2025).
- Pertl-Obermeyer, H., & Obermeyer, G. (2014). Pollen cultivation and preparation for proteomic studies. *Methods in Molecular Biology*, 1072, 435–449. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-631-3_30
- Peñaloza Ricardo y Hernández O. Mariela. (2018). Conservación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante la aplicación de recubrimiento comestible a



- base de gel de aloe barbadensis miller. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 16 N° 2. Pp: 50 - 67. <https://doi.org/10.24054/limentech.v16i2.340>
- Poyraz, F., Yalmanci, D., İspirli, H., & Dertli, E. (2023). Characterization of Bee Bread Produced with Defined Starter Cultures Mimicking the Natural Fermentation Process. *Fermentation*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/fermentation9020174>
- Salazar-González, C., & Díaz-Moreno, C. (2016). Aptitud nutricional y bioactiva del polen de abeja para un proceso de fermentación en estado sólido. In *Journal of Apicultural Research* (Vol. 55, Issue 2, pp. 161–175). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1205824>
- Shirsat, D. V., Kad, S. K., & Wakhle, D. M. (2019). Solid state fermentation of bee-collected pollen. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8, 1557-1563. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.805.180>
- Soto-Tolosa Erika Paola; Caballero-Pérez Luz Alba. (2021). Evaluación de la calidad de café en taza de una muestra comercial de la región frente a una muestra comercial de alta calidad tipo exportación. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 19 N° 1. Pp: 17- 35. <https://doi.org/10.24054/limentech.v19i1.1408>
- Sun, L.; Guo, Y.; Zhang, Y.; Zhuang, Y. Antioxidant and anti-tyrosinase activities of phenolic extracts from rape bee pollen and inhibitory melanogenesis by cAMP/MITF/TYR pathway in B16 mouse melanoma cells. *Front. Pharmacol.* 2017, 8, 104. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00104>.
- Uțoiu, E., Matei, F., Toma, A., Diguță, C. F., Ștefan, L. M., Mănoiu, S., Vrăjmașu, V. V., Moraru, I., Oancea, A., Israel-Roming, F., Cornea, C. P., Constantinescu-Aruxandei, D., Moraru, A., & Oancea, F. (2018). Bee Collected Pollen with Enhanced Health Benefits, Produced by Fermentation with a Kombucha Consortium. *Nutrients* 2018, Vol. 10, Page 1365, 10(10), 1365. <https://doi.org/10.3390/NU10101365>
- Xue, F., & Li, C. (2023). Effects of ultrasound assisted cell wall disruption on physicochemical properties of camellia bee pollen protein isolates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 92, 106249.



<https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2022.106249>

Yan, S., Li, Q., Xue, X., Wang, K., Zhao, L., & Wu, L. (2019). Analysis of improved nutritional composition of bee pollen (*Brassica campestris* L.) after different fermentation treatments. *International journal of food science & technology*, 54(6), 2169-2181.

Yan, S., Wang, K., Wang, X., Ou, A., Wang, F., Wu, L., & Xue, X. (2021). Effect of fermented bee pollen on metabolic syndrome in high-fat diet-induced mice. *Food Science and Human Wellness*, 10(3), 345–355.

<https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2021.02.026>.

Zhang, H., Lu, Q., & Liu, R. (2022). Widely targeted metabolomics analysis reveals the effect of fermentation on the chemical composition of bee pollen. *Food Chemistry*, 375, 131908.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131908>

Zhang, H., Zhu, X., Huang, Q., Zhang, L., Liu, X., Liu, R., & Lu, Q. (2023). Antioxidant and anti-inflammatory activities of rape bee pollen after fermentation and their correlation with chemical components by ultra-performance liquid chromatography-quadrupole time of

flight mass spectrometry-based untargeted metabolomics. *Food Chemistry*, 409, 135342.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.135342>

Zhang, Z., Cao, H., Chen, C., Chen, X., Wei, Q., & Zhao, F. (2017). Effects of fermentation by *Ganoderma lucidum* and *Saccharomyces cerevisiae* on rape pollen morphology and its wall. *Journal of Food Science and Technology*, 54(12), 4026–4034.

<https://doi.org/10.1007/s13197-017-2868-1>

Zuluaga Domínguez, C. M. (2016). Valorización de polen apícola como alimento mediante el desarrollo de un proceso físico o biotecnológico (Doctoral dissertation). *Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Química y Ambiental*.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56771>

Zuluaga-Domínguez, C. M., & Quicazan, M. (2019). Effect of fermentation on structural characteristics and bioactive compounds of bee-pollen based food. *Journal of apicultural science*, 63(2), 209-222.

<https://doi.org/10.2478/JAS-2019-0016>