



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**DG** Dirección General  
de Investigación  
Universidad de San Carlos de Guatemala

---

## **Informe final de Proyecto de Investigación**

**DIGI-PUI-004**

**Informe final de proyecto de investigación**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Dirección General de Investigación**

**Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición**

**Evaluación del efecto bioconservante de extractos polifenólicos de residuos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en carne de pollo bajo diferentes temperaturas de exposición**

**Unidad avaladora: Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería**

**4.8.63.0.88**

**Nombre del coordinador: M.A. Ing. Qco. Gerson Joel Ortega Morales**

**Guatemala, 27 de noviembre de 2025**



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Contraportada

#### Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Patricia Burgos Paniagua  
Directora General de Investigación

Inga. Liuba Cabrera de Villagrán  
Coordinador(a) del Programa Universitario de Investigación

#### Autores

M.A. Ing. Qco. Gerson Joel Ortega Morales, 20170362

Inga. Qca. Claudia Elisa Castellanos Jurado, 20230984

Br. Melinna Lizeth Beteta Castro, 20240650

Colaboradores (si aplica):

Ing. Qca. Telma Maricela Cano Morales, Centro de Investigaciones de Ingeniería

Ing. Qco. Mario José Mérida Meré, Centro de Investigaciones de Ingeniería

M.A. Ing. Mec. Osber Isabel Carías Palencia, Centro de Investigaciones de Ingeniería

Ing. Juan Pablo López Cano, Centro de Investigaciones de Ingeniería

Br. Renato Paolo Cisneros Quiñónez, Centro de Investigaciones Ingeniería

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la DIGI de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: **4.8.63.0.88**

en el Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

**Este informe está licenciado bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).**

Puede copiarse, distribuirse y adaptarse con la condición de dar crédito a los autores, no usarlo con fines comerciales y compartir cualquier obra derivada bajo la misma licencia.

Para más información, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Índice general

<i>Resumen</i> .....	1
<i>Palabras clave</i> .....	2
<i>Abstract</i> .....	2
<i>Keywords</i> .....	3
1. <i>Introducción</i> .....	3
2. <i>Contexto de la investigación</i> .....	5
3. <i>Revisión de literatura</i> .....	6
4. <i>Planteamiento del problema</i> .....	10
5. <i>Objetivos</i> .....	13
5.1 General .....	13
5.2 Específicos .....	13
6. <i>Hipótesis</i> .....	13
7. <i>Método</i> .....	14
7.1 Tipo de investigación .....	14
7.2 Enfoque y alcance de la investigación .....	15
7.3 Diseño de la investigación.....	15
7.4 Población, muestra y muestreo.....	16
7.5 Técnicas.....	17
7.6 Resumen de las variables o unidades de análisis .....	19
7.7 Procesamiento y análisis de la información .....	21
8. <i>Aspectos éticos y legales</i> .....	21
9. <i>Resultados y discusión</i> .....	21
10. <i>Propiedad intelectual</i> .....	51
11. <i>Beneficiarios directos e indirectos</i> .....	52
12. <i>Estrategia de divulgación y difusión de los resultados</i> .....	53



---

## Informe final de Proyecto de Investigación

13. <i>Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)</i> .....	54
14. <i>Otras contribuciones del proyecto al desarrollo</i> .....	55
15. <i>Vinculación</i> .....	55
16. <i>Conclusiones</i> .....	56
17. <i>Recomendaciones</i> .....	58
<i>Referencias</i> .....	59
<i>Apéndice</i> .....	62
<i>Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación</i> .....	83
<i>Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario</i> .....	83
<i>Recepción de la Dirección General de Investigación</i> .....	84



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Resumen

El proyecto de investigación tuvo como propósito evaluar el efecto bioconservante de extractos polifenólicos obtenidos de residuos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) aplicados a carne de pollo bajo diferentes temperaturas de exposición (20 °C y 35 °C), con el fin de promover la valorización de subproductos agroindustriales y reducir el uso de conservantes sintéticos. El estudio se desarrolló en los laboratorios LAFIQ, LAFYM y LIEXVE del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC, mediante un diseño factorial  $2^3$  considerando temperatura, concentración y forma del extracto (encapsulado y sin encapsular).

Se obtuvo el extracto por extracción asistida por ultrasonido utilizando etanol, cuantificándose los polifenoles totales por el método Folin-Ciocalteu. Los extractos se microencapsularon con goma arábica y maltodextrina y se caracterizaron mediante microscopía óptica, evidenciando diferencias significativas en diámetro y morfología (ANOVA y Tukey,  $p < 0.05$ ). La concentración mínima inhibitoria (CMI) mostró actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa* (6.25 mg/mL), y moderada frente a *E. coli* y *Salmonella spp.* (12.5–25 mg/mL). El análisis colorimétrico reveló que el extracto redujo la pérdida de luminosidad ( $L^*$ ) y el cambio total de color ( $\Delta E$ ), manteniendo una apariencia estable durante el almacenamiento. En la evaluación sensorial, las muestras tratadas fueron aceptadas positivamente ( $p < 0.05$ ).

Los resultados fueron divulgados en conferencias nacionales y compartidos con la comunidad académica, demostrando el potencial del extracto fenólico de cáscara de plátano como agente natural de conservación, con aplicaciones directas para la industria alimentaria guatemalteca y futuras investigaciones en tecnologías sostenibles de conservación.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Palabras clave

1. Flavonoides	2. <i>Musa paradisiaca</i> L.	3. Encapsulación	4. Carne de pollo	5. Antimicrobiano
----------------	-------------------------------	------------------	-------------------	-------------------

### Abstract

This research project aimed to evaluate the biopreservative effect of polyphenolic extracts derived from banana (*Musa paradisiaca* L.) waste, applied to chicken meat under different storage temperatures (20 °C and 35 °C). The objective was to promote the valorization of agro-industrial byproducts and reduce the use of synthetic preservatives. The study was conducted in the LAFIQ, LAFYM, and LIEXVE laboratories of the Engineering Research Center within the Faculty of Engineering at USAC, employing a 2<sup>3</sup> factorial design that considered temperature, extract concentration, and physical state (encapsulated vs. non-encapsulated).

The extract was obtained via ultrasound-assisted extraction using ethanol as the solvent, with total phenolic content quantified by the Folin-Ciocalteu method. The extracts were microencapsulated using a blend of gum arabic and maltodextrin and subsequently characterized by optical microscopy, revealing significant differences in particle diameter and morphology (ANOVA and Tukey,  $p < 0.05$ ). The minimum inhibitory concentration (MIC) assay demonstrated antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* (6.25 mg/mL), and moderate efficacy against *E. coli* and *Salmonella* spp. (12.5–25 mg/mL). Colorimetric analysis indicated that the extract mitigated the loss of lightness ( $L^*$ ) and reduced the total color change ( $\Delta E$ ), thereby maintaining a stable visual appearance throughout the storage period. In sensory evaluation, the treated samples received positive acceptance scores ( $p < 0.05$ ).



## Informe final de Proyecto de Investigación

The findings were disseminated at national conferences and shared with the academic community, demonstrating the potential of banana peel phenolic extract as a natural preservative agent. This work has direct applications for the Guatemalan food industry and provides a foundation for future research into sustainable preservation technologies.

### Keywords

1. Flavonoids	2. <i>Musa paradisiaca</i> L.	3. Encapsulation	4. Chicken meat	5. Antimicrobial
---------------	-------------------------------	------------------	-----------------	------------------

### 1. Introducción

El banano (*Musa paradisiaca* L.) es una planta herbácea de gran importancia en Guatemala, no solo por su adaptabilidad a diversas condiciones de suelo y clima, sino también por su contribución significativa a la economía nacional. Constituye una parte crucial de las exportaciones del país y genera empleo, especialmente en las regiones norte y sur. Sin embargo, la industria enfrenta retos considerables, como las pérdidas económicas asociadas al rechazo de productos que no cumplen con los estándares de calidad exigidos para la exportación (Banco de Guatemala, 2017).

Ante esta problemática, surge la necesidad de buscar alternativas innovadoras y sostenibles. En este contexto, la presente investigación se orienta a evaluar las propiedades fitoquímicas de los residuos de banano, con el fin de utilizarlos en la conservación de la carne de pollo, un producto esencial en la dieta guatemalteca por su alto valor proteico y asequibilidad (Cruz Quintana et al., 2023; Mercado et al., 2012). La carne de pollo, no obstante, es altamente vulnerable a la contaminación microbiana, lo que pone en riesgo su seguridad alimentaria (Agudelo Tamayo, 2018; Arroyo Tito, 2021).



## Informe final de Proyecto de Investigación

La presencia de patógenos como *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes* ha sido identificada como una de las principales causas de brotes alimentarios asociados al consumo de pollo (Cruz Quintana et al., 2023; Mercado et al., 2012). Estos microorganismos pueden propagarse en diversas etapas del proceso productivo, especialmente en mercados locales donde los controles microbiológicos suelen ser limitados (Cruz Quintana et al., 2023; Arroyo Tito, 2021).

El estudio tiene como objetivo principal aprovechar los residuos de plátano para la obtención de extractos con propiedades antimicrobianas, capaces de extender la vida útil de la carne de pollo bajo condiciones de almacenamiento desafiantes, comunes en los mercados locales. Además, se evaluará el efecto de factores como la temperatura y el pH en la actividad antimicrobiana de los extractos frente a patógenos relevantes, como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas spp.*, y *Salmonella spp.*

Diversos estudios han demostrado que los extractos de banano contienen compuestos fenólicos y flavonoides que les confieren propiedades antimicrobianas (Behiry et al., 2019; Karadi & Parekh, 2011; Naikwade et al., 2014; Ortiz Hernández et al., 2018; Tirado Torres et al., 2019; Venkatesh et al., 2013). Sin embargo, se reconoce que la composición química de dichos extractos puede variar según la variedad de banano y las condiciones de cultivo (Ramu et al., 2013).

La particularidad de este estudio radica en su enfoque sobre las condiciones específicas de almacenamiento de la carne de pollo y la implementación de extractos derivados de residuos de plátano para mitigar la contaminación microbiana. Con ello, se espera contribuir de manera significativa al control de patógenos en este producto de alto consumo en el país, brindando una solución eficaz y aplicable en los mercados locales.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 2. Contexto de la investigación

La propuesta de investigación posee este periodo de ejecución:

Inicio: 03 de febrero 2025. Finalización: 31 de octubre 2025. Duración: 09 meses.

*Delimitación en tiempo y espacio del proyecto.*

La tabla 1 presenta la delimitación del tiempo y espacio del proyecto de investigación.

**Tabla 1**

*Delimitación en tiempo y espacio del proyecto.*

Lugar	Proceso para desarrollar	Tiempo (meses)
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extracción sólido-líquido y líquido-líquido para la obtención de extracto polifenólico asistido con ultrasonido.</li> <li>Encapsulación utilizando horno convectivo y como material de pared goma arábica y maltodextrina.</li> </ul>	4 meses
Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina"	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incubación a 20°C y 35°C de las muestras de pollo tratadas con el extracto polifenólico para el Análisis de color (L*, a*, b*) de la carne de pollo con el extracto, almacenada en función de la temperatura.</li> </ul>	
Centro de Investigación y Desarrollo CETEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Microscopía Óptica para análisis de la morfología y dimensionamiento de las cápsulas.</li> </ul>	3 meses



## Informe final de Proyecto de Investigación

Laboratorio de Físicoquímica, LAFIQ, Sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación del contenido de polifenoles en los extractos obtenidos en las soluciones etanólicas.</li> </ul>	
Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM - Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de la concentración mínima inhibitoria de los extractos fenólicos.</li> <li>• Aplicación y evaluación microbiológica de la fracción polifenólica en carne de pollo a las diferentes temperaturas de exposición.</li> </ul>	2 meses
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve- Sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pruebas hedónicas con test de Likert de 5 puntos.</li> </ul>	
ÁREA INDETEIQ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar informe final</li> </ul>	1 mes

*Nota.* Elaboración propia.

### 3. Revisión de literatura

Diversos estudios han demostrado que las cáscaras de plátano, un subproducto agroindustrial comúnmente desechado, son una fuente rica y sostenible de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas prometedoras. La investigación realizada por Ortiz Hernández et al. (2018) sobre los extractos de *Musa acuminata* mostró un efecto antibacteriano significativo contra *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, lo que respalda su potencial para ser utilizados en la conservación de alimentos. Además, Naikwade et al. (2014) reportaron que los extractos etanólicos de cáscara de plátano exhiben una alta actividad antibacteriana contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*,



## Informe final de Proyecto de Investigación

patógenos comunes en productos cárnicos como la carne de pollo, que pueden causar enfermedades transmitidas por alimentos.

El proceso de extracción de estos compuestos bioactivos es fundamental para maximizar su rendimiento y eficacia. En este sentido, la extracción asistida por ultrasonido (UAE) ha surgido como una técnica altamente eficiente y sostenible. Chaudhry et al. (2022) demostraron que la UAE permite una mayor liberación de compuestos fenólicos en comparación con métodos tradicionales como la maceración. El ultrasonido facilita la ruptura de las paredes celulares mediante cavitación, mejorando la eficiencia de la extracción y reduciendo el tiempo necesario para obtener los compuestos deseados. Este método es especialmente adecuado para compuestos sensibles, como los flavonoides, ya que opera a temperaturas moderadas y evita su degradación térmica. Este proyecto utilizará la UAE debido a su eficacia comprobada y su escalabilidad para aplicaciones industriales.

Una de las innovaciones clave de este estudio es el proceso de encapsulación con goma arábiga, que no solo mejora la estabilidad de los compuestos fenólicos durante el almacenamiento, sino que también permite una liberación controlada de los mismos a lo largo del tiempo, prolongando su efectividad como conservantes naturales. A diferencia del estudio de Afifah et al. (2023), que utilizó extractos sin encapsular, este proyecto se enfocará en la encapsulación de los extractos de cáscara de plátano con goma arábiga. Este enfoque ha demostrado ser efectivo en estudios recientes, como el de Zhang et al. (2023), donde se observó que la encapsulación con goma arábiga aumentó la estabilidad térmica y la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos en matrices alimentarias.

Además, este proyecto utilizará un horno convectivo en lugar de un spray dryer para el secado de los extractos encapsulados. El uso del horno convectivo se justifica por su capacidad para controlar mejor las temperaturas durante el proceso de secado, protegiendo los compuestos fenólicos de la descomposición que podría ocurrir con temperaturas más altas en el spray dryer. Estudios recientes, como el de Kumar et al. (2022), han demostrado que el secado convectivo a temperaturas moderadas (40-60°C) es efectivo para preservar la actividad



## Informe final de Proyecto de Investigación

antioxidante de los compuestos fenólicos, lo que lo convierte en una alternativa viable y económica para la industria alimentaria.

Es importante destacar que los compuestos fenólicos y flavonoides son sensibles a la exposición prolongada a temperaturas elevadas, lo que puede provocar su oxidación y degradación térmica. Estudios previos han demostrado que temperaturas superiores a 30°C pueden acelerar la pérdida de actividad antioxidante y la estabilidad de estos compuestos (González-Montelongo et al., 2010). Por esta razón, las temperaturas de conservación propuestas en este estudio (20°C y 30°C) se han seleccionado para evaluar cómo afectan la estabilidad y la efectividad de los extractos. Estas temperaturas representan un rango que permite simular condiciones de almacenamiento realistas, desde ambientes controlados hasta entornos con temperaturas ligeramente elevadas, como los que podrían encontrarse en climas tropicales o durante el transporte de alimentos. González-Montelongo et al. (2010) destacaron que, para preservar las propiedades antioxidantes de los compuestos fenólicos, es esencial un control riguroso de las condiciones de almacenamiento, incluyendo la temperatura y la exposición a la luz y al oxígeno.

La conservación de la carne de pollo es un aspecto fundamental de este estudio, ya que el pollo es un producto altamente susceptible a la contaminación bacteriana. En especial, algunas bacterias patógenas, como *Salmonella* y *Escherichia coli*, pueden sobrevivir a los procesos de cocción si no se toman medidas adecuadas durante el almacenamiento y la manipulación. Hernández et al. (2001) y Lee et al. (2011) enfatizan la importancia de prevenir la proliferación bacteriana en los productos cárnicos, ya que algunas bacterias no solo sobreviven a las temperaturas de cocción, sino que también pueden producir enterotoxinas que representan un riesgo para la salud pública. Por lo tanto, el uso de extractos antimicrobianos naturales, como los obtenidos de las cáscaras de plátano, puede ser una solución efectiva para reducir la carga microbiana y mejorar la seguridad alimentaria.

Además, este proyecto busca innovar al combinar la encapsulación con goma arábiga y la aplicación de los extractos en matrices alimentarias mediante técnicas de inmersión y



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

recubrimiento, que permiten una distribución uniforme de los compuestos bioactivos en la superficie de la carne. Este enfoque ha sido respaldado por estudios recientes, como el de Silva et al. (2023), que demostraron que la aplicación de extractos encapsulados mediante inmersión mejora la retención de compuestos fenólicos y su actividad antimicrobiana en productos cárnicos.

La aplicación de extractos fenólicos encapsulados no solo mejora la estabilidad microbiológica de la carne de pollo, sino que también influye en sus atributos de calidad y perfil sensorial. Estudios recientes han demostrado que los compuestos fenólicos pueden afectar positivamente el color, la textura y el sabor de los productos cárnicos. Por ejemplo, Gómez-Estaca et al. (2020) reportaron que la adición de extractos fenólicos encapsulados en productos cárnicos ayudó a mantener un color rojo estable durante el almacenamiento, debido a su capacidad para inhibir la oxidación de la mioglobina. Además, Martínez et al. (2021) observaron que los compuestos fenólicos encapsulados mejoraron la textura de la carne al reducir la pérdida de humedad durante el almacenamiento.

En cuanto al perfil sensorial, los extractos fenólicos encapsulados pueden aportar notas aromáticas y sabores ligeramente amargos o herbales, dependiendo de su concentración y origen. Sin embargo, estudios como el de Sánchez-González et al. (2021) han demostrado que, cuando se utilizan concentraciones adecuadas, estos compuestos no afectan negativamente la aceptabilidad sensorial del producto. Por el contrario, pueden mejorar la percepción de frescura y calidad del consumidor. Este proyecto evaluará el impacto sensorial de los extractos encapsulados mediante pruebas de aceptación con consumidores, asegurando que no se comprometa la calidad organoléptica de la carne de pollo.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 4. Planteamiento del problema

El banano es una planta herbácea capaz de crecer en diversas condiciones de suelo y clima, siendo uno de los principales cultivos a nivel mundial. Su producción representa aproximadamente el 12% del total de frutas a nivel global (FAO, 2022). La planta puede alcanzar entre 3 y 7 metros de altura, y su tallo está compuesto por pecíolos de hojas curvadas y comprimidas (Roldán et al., 2004). Las hojas, desarrolladas en espiral desde el centro hacia el exterior, se dividen en dos láminas por una nervadura central.

El sistema radicular se basa en un rizoma central del cual emergen numerosas raíces cortas y cilíndricas. Estas raíces desarrollan yemas que originan hijuelos, permitiendo el crecimiento de nuevas plantas y facilitando el reemplazo de aquellas que ya han producido frutos. Además, los rizomas (también llamados "cabezas") son utilizados para establecer nuevas plantaciones (Anacafé, 2016).

En Guatemala, el banano es el tercer producto agrícola más importante en términos de exportación. En 2017, representó el 6.4% del total de las exportaciones, con un valor de US\$369.3 millones (Banco de Guatemala, 2017). Esta contribución económica está relacionada con la generación de empleo en las regiones norte y sur del país, donde medianas y grandes empresas lideran la producción. Entre las principales empresas destacan BANASA, que utiliza tecnología avanzada para producir bananos de alta calidad, y Agrofruit, que además de producir banano, también se dedica a la exportación de piña y rambután, contando con más de 5,000 empleados y 5,500 hectáreas de plantaciones que generan 17.4 millones de cajas al año (Roble, 2013). A pesar de los rigurosos controles de calidad para garantizar que el banano exportado llegue en óptimas condiciones a los mercados internacionales, los productores enfrentan pérdidas económicas debido a la sobreproducción o al rechazo de aquellos frutos que no cumplen con los estándares de exportación.



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

Aunque el banano de rechazo suele considerarse un residuo, puede aprovecharse en la producción de alimentos para animales o incluso en la generación de energía. Existen diversas iniciativas en marcha que buscan convertir este subproducto en un recurso valioso. En este contexto, la presente investigación propone evaluar las propiedades fitoquímicas de los bananos rechazados para emplearlos en la conservación de la carne de pollo, un alimento altamente demandado en Guatemala debido a su alto contenido de proteínas y menor cantidad de grasa en comparación con otras carnes como la de cerdo (INE, 2023; APOGUA, 2022; Mendoza Parada, 2014). Además, la carne de pollo es más económica, lo que la convierte en un producto fundamental en la dieta de los guatemaltecos (APOGUA, 2022; Mendoza Parada, 2014).

Es crucial que los productos alimenticios no solo cumplan con sus atributos nutricionales, sino que también garanticen la seguridad de su consumo (Mendoza Parada, 2014). La carne de pollo es particularmente vulnerable a la contaminación microbiana, que puede ocurrir tanto de manera endógena, por infección del animal vivo, como exógena, tras el sacrificio (Mendoza Parada, 2014).

Factores como la actividad del agua ( $a_w$ ), la temperatura y el pH juegan un papel fundamental en la proliferación microbiana (Vásquez-Ampuero Juan Marco, 2020). Aunque existen estudios previos sobre el uso de extractos naturales para la conservación de productos cárnicos, hay una brecha en la investigación que se refiere a la optimización de los métodos de extracción y aplicación de estos extractos, especialmente sobre su comportamiento en condiciones de almacenamiento prolongado.

La brecha en el conocimiento que esta investigación busca cerrar es la falta de estudios que detallen cómo las condiciones específicas de temperatura y almacenamiento afectan la efectividad de los extractos fenólicos de cáscara de plátano encapsulados, especialmente cuando se aplican a matrices alimentarias como la carne de pollo. Aunque algunos estudios han investigado la conservación de alimentos utilizando compuestos fenólicos, no se han analizado en profundidad cómo las temperaturas comunes de conservación impactan en la



---

## Informe final de Proyecto de Investigación

estabilidad y actividad antimicrobiana de estos compuestos, ni en la relación entre el proceso de encapsulación y las temperaturas moderadas.

Por lo tanto, el presente estudio justifica la elección de las temperaturas de conservación (20°C y 30°C) basándose en que estas temperaturas representan condiciones de almacenamiento típicas que se encuentran tanto en ambientes controlados como en aquellos más cálidos, como en climas tropicales o durante el transporte.

Estas temperaturas se han elegido para simular escenarios realistas que los productos cárnicos podrían enfrentar durante su ciclo de vida. Además, estudios previos han demostrado que las temperaturas superiores a 30°C pueden acelerar la degradación de compuestos fenólicos (González-Montelongo et al., 2010), lo que refuerza la importancia de evaluar cómo las temperaturas específicas afectan la estabilidad y efectividad de los extractos de cáscara de plátano.

En este sentido, la investigación se enfoca en desarrollar un modelo de economía circular, utilizando residuos de plátano para la conservación de la carne de pollo y a la vez minimizando el impacto ambiental. Se busca transformar estos desechos en un producto de valor que, además de contribuir a la seguridad alimentaria, ayude a mitigar la contaminación y promueva el aprovechamiento sostenible de recursos.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 5. Objetivos

#### 5.1 General

Evaluar el efecto bioconservador de extractos de residuos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en carne de pollo bajo diferentes temperaturas de exposición

#### 5.2 Específicos

1. Determinar los polifenoles totales (método de Folin-Ciocalteu) en el extracto de cáscara de plátano obtenidas por ultrasonido.
2. Caracterizar las microcápsulas de los extractos polifenólicos de la cáscara de plátano utilizando Microscopía Electrónica de Barrido MEB.
3. Determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) de la fracción polifenólica en *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas spp* y *Salmonela spp*.
4. Evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad y actividad biocida de los extractos microencapsulados.
5. Identificar las variaciones de las propiedades sensoriales del pollo con el extracto fenólico mediante Análisis de CIELAB (L\*, a\*, b\*) en función del tiempo.
6. Evaluar mediante cuadro hedónico de cinco puntos con jueces no entrenados

### 6. Hipótesis

- Se espera que la extracción por ultrasonido de la cáscara de plátano aumente la concentración de polifenoles totales.
- La Microscopia Electrónica de Barrido permitirá la caracterización de las microcápsulas de los extractos polifenólicos de cáscara de plátano, mostrando una estructura morfológica definida y un dimensionamiento dentro del rango de la microencapsulación para la protección y liberación controlada de los compuestos activos.



## Informe final de Proyecto de Investigación

- Los extractos de cáscara de plátano tendrán una CMI efectiva contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas spp.*, y *Salmonella spp.*
- La temperatura afectará la estabilidad y actividad biocida de los extractos microencapsulados.
- Los extractos fenólicos modificarán significativamente las propiedades sensoriales del pollo, incluyendo sabor, aroma, apariencia, consistencia y aceptación global, las cuales serán evaluadas mediante el análisis de los parámetros CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) durante un periodo de 7 días de exposición a diferentes temperaturas de almacenamiento (20°C y 30°C).
- El pollo tratado con extracto fenólico será bien aceptado por los jueces en cuanto a sabor, aroma, apariencia, consistencia y aceptación global, en una evaluación sensorial realizada una vez aplicado el extracto en el pollo y después de su cocción.

## 7. Método

### 7.1 Tipo de investigación

Este proyecto se enmarca en la investigación básica, con el propósito de generar nuevos conocimientos sobre las propiedades fitoquímicas de los residuos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y su efecto antimicrobiano en la carne de pollo. Además, la investigación incluye la microencapsulación de los extractos polifenólicos para optimizar su estabilidad y eficacia frente a microorganismos patógenos.

Con ello, se busca profundizar en los mecanismos relacionados con la composición y la acción de dichos compuestos, contribuyendo al cuerpo científico y sentando las bases para futuras aplicaciones en el ámbito de la conservación de alimentos.

## Informe final de Proyecto de Investigación

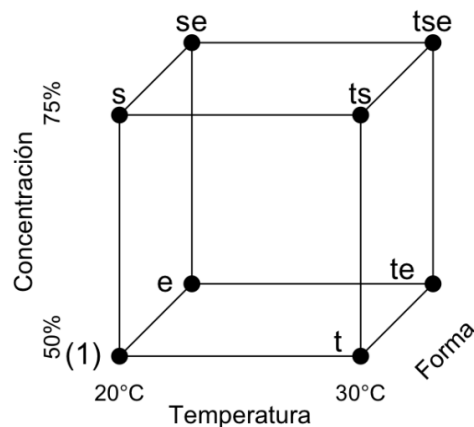
### 7.2 Enfoque y alcance de la investigación

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, fundamentado en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar las propiedades fitoquímicas de los residuos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y su actividad antimicrobiana en la carne de pollo. Además, se incorpora la microencapsulación de los extractos polifenólicos como estrategia para optimizar su estabilidad y eficacia. El alcance es explicativo, pues se busca establecer una relación causa-efecto entre la aplicación de estos extractos y su impacto tanto en la inhibición de microorganismos patógenos como en las propiedades sensoriales del producto.

### 7.3 Diseño de la investigación.

#### Figura 1

Representación del diseño  $2^3$ , Montgomery (2004).



Nota. Temperatura (t), Concentración (s) y Forma (e).



## Informe final de Proyecto de Investigación

**Tabla 2**

*Matriz experimental con arreglo factorial 2<sup>3</sup>*

Corrida	T	S	E	TS	TE	SE	TSE	Etiqueta
1	-	-	-	+	+	+	-	1
2	+	-	-	-	-	+	+	t
3	-	+	-	-	+	-	+	S
4	+	+	-	+	-	-	-	Ts
5	-	-	+	+	-	-	+	E
6	+	-	+	-	+	-	-	Te
7	-	+	+	-	-	+	-	Se
8	+	+	+	+	+	+	+	Tse

*Nota.* Temperatura (t), Concentración (s) y Forma (e).

### 7.4 Población, muestra y muestreo

La población objetivo de este proyecto de investigación es la carne de pollo proveniente de una avícola, recolectada en el lugar de expendio para realizar análisis microbiológicos y evaluar dos concentraciones polifenólicas, dos temperaturas de exposición y dos formas de extracto (encapsulado y sin encapsular), mediante un muestreo aleatorio que minimiza el error experimental y que determina un total de n=24 muestras (3 repeticiones para cada uno de los 8 tratamientos). Además, se emplearán herramientas estadísticas como el análisis de Pareto, el ANOVA y la prueba post-hoc de Tukey para analizar y comparar los datos obtenidos, permitiendo identificar las variables con mayor impacto y las diferencias significativas entre tratamientos.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 7.5 Técnicas

*Objetivo 1:* Determinar los polifenoles totales (método de Folin-Ciocalteu) en el extracto de cáscara de plátano obtenido por ultrasonido.

Método: Se aplicó la extracción asistida por ultrasonido (UAE) para liberar los compuestos fenólicos de la cáscara de plátano, seguida del método de Folin-Ciocalteu para cuantificar los polifenoles totales. Se midió la absorbancia en un espectrofotómetro y se analizaron los datos mediante ANOVA.

*Objetivo 2:* Caracterizar las microcápsulas de los extractos polifenólicos de la cáscara de plátano utilizando Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

Método: Tras encapsular los extractos en goma arábiga y secarlos en horno convectivo, se observó la morfología y el tamaño de las microcápsulas en un Microscopio Óptico. Las imágenes se evaluaron estadísticamente (ANOVA y prueba de Tukey) para comparar diferencias significativas en la estructura de las partículas.

*Objetivo 3:* Determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) de la fracción polifenólica en *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas spp.* y *Salmonella spp.*

Método: Se llevó a cabo el recuento aeróbico total y el recuento e identificación de *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella spp.* y *Pseudomonas aeruginosa* en el pollo crudo y en los extractos puros obtenidos al 50% y 75%. La CMI se definió como la menor concentración que inhibió el crecimiento visible. Los resultados se analizaron con ANOVA para comparar la eficacia antimicrobiana entre distintos tratamientos.

*Objetivo 4:* Evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad y actividad biocida de los extractos microencapsulados.

Método: Se trataron las muestras de carne de pollo con extractos (encapsulados y sin encapsular) y se almacenaron a 20°C y 35°C. Periódicamente, se realizaron observaciones a las muestras para determinar la supervivencia de microorganismos patógenos. Se aplicó un diagrama de Pareto para priorizar los factores más influyentes y se usó ANOVA y prueba de



---

## Informe final de Proyecto de Investigación

Tukey para identificar diferencias significativas en la actividad biocida bajo distintas condiciones de temperatura.

*Objetivo 5:* Identificar las variaciones de las propiedades sensoriales del pollo con el extracto fenólico mediante análisis de CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

*Método:* Se utilizó un colorímetro para medir los valores de  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (componente rojo-verde) y  $b^*$  (componente azul-amarillo) en las muestras de pollo tratadas, tanto al inicio como a lo largo del almacenamiento. Los datos se registraron en hojas de cálculo y se analizaron estadísticamente (ANOVA y prueba de Tukey) para determinar cambios significativos en el color.

*Objetivo 6:* Evaluar mediante cuadro hedónico de cinco puntos con jueces no entrenados.

*Método:* Se llevó a cabo una prueba sensorial en la que los participantes calificaron la aceptabilidad de las muestras (sabor, aroma, apariencia, consistencia y aceptación global.) usando una escala de cinco puntos. Posteriormente, los resultados se procesaron mediante ANOVA y prueba de Tukey para determinar la aceptación general y diferencias entre tratamientos.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 7.6 Resumen de las variables o unidades de análisis

**Tabla 3.** Objetivos, variables, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

*La operacionalización de las variables se encuentra establecido por objetivo en la tabla 3.*

Objetivo específico	Variables	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
1. Determinar los polifenoles totales (método de Folin-Ciocalteu) en el extracto de cáscara de plátano obtenido por ultrasonido	Concentración de polifenoles totales (método de Folin-Ciocalteu)	Espectrofotómetro UV-Vis, reactivo Folin-Ciocalteu, baño ultrasónico	mg GAE/g (mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto)
2. Caracterizar las microcápsulas de los extractos polifenólicos de la cáscara de plátano utilizando MEB	Morfología y tamaño de las microcápsulas	Microscopio óptico, horno convectivo,	µm (diámetro promedio), imágenes digitales
3. Determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) de la fracción polifenólica en <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> y <i>Salmonella spp.</i>	Recuento aeróbico  CMI del extracto polifenólico	Tubos de dilución Incubadora  Medios de cultivo sólido	Presencia o ausencia de crecimiento bacteriano  mg/mL



### Informe final de Proyecto de Investigación

4. Evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad y actividad biocida de los extractos microencapsulados		Placas de agar Incubadora	
5. Identificar las variaciones de las propiedades sensoriales del pollo con el extracto fenólico mediante análisis de CIELAB (L, a, b*)**	Parámetros de color (L*, a*, b*) Vertido en placa a 35°C 48 hrs. Recuento en placas, UFC CMI Dilución en tubo de dilución. Identificación o presencia o ausencia incubación diluye en caldo se incuba y se usa agar selectivo, se vuelve a incubar estría a 35°C 24 hrs. Kirby Bauer metodología.	Colorímetro, cámara de almacenamiento	L* (luminosidad), a* (rojo-verde), b* (azul-amarillo)
6. Evaluar mediante cuadro hedónico de cinco puntos con jueces no entrenados	Aceptabilidad sensorial (sabor, olor, textura, apariencia)	Cuadro hedónico de 5 puntos, panel de jueces no entrenados	Puntuación en escala de 1 a 5



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 7.7 Procesamiento y análisis de la información

El efecto de los extractos polifenólicos de cáscara de plátano sobre la carne de pollo se evaluó mediante un diseño factorial  $2^3$ , considerando dos concentraciones, dos temperaturas de exposición y dos formas de aplicación (encapsulado y sin encapsular), con tres repeticiones por combinación, para un total de 24 tratamientos experimentales.

El análisis estadístico incluyó un ANOVA, pruebas de comparaciones múltiples (Tukey) y diagramas de Pareto para priorizar factores, aplicando un nivel de confianza del 95% y rechazando la hipótesis nula cuando  $p \leq 0.05$ .

Previo a las pruebas, se validaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para asegurar la solidez de los resultados.

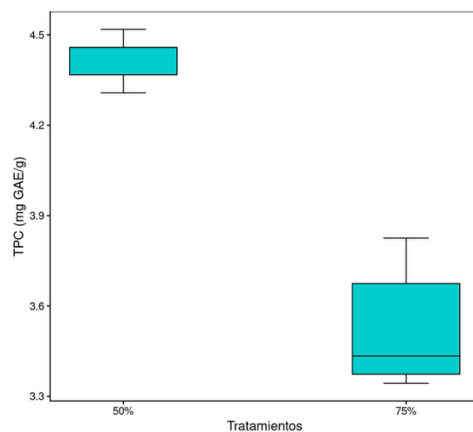
### 8. Aspectos éticos y legales

Este proyecto no tiene conflictos con aspectos éticos para su ejecución.

### 9. Resultados y discusión

#### Figura 2

Determinación de Polifenoles Totales utilizando el método Folin-Ciocalteu en el Extracto de Cáscara de Banano



*Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímicos, -LAFYQ- Sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería.*



## Informe final de Proyecto de Investigación

El contenido fenólico total (TPC) se determinó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, expresando los resultados como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg GAE/g), a partir de la ecuación de calibración ( $Abs = 0.3489 + 0.0166 C$ ).

Esta metodología se empleó por su sensibilidad y reproducibilidad en la cuantificación de compuestos fenólicos, especialmente en extractos de origen vegetal con alto contenido de pigmentos y sustancias reductoras (Blainski, Lopes, & de Mello, 2013).

La Figura 2 presenta los resultados de TPC obtenidos para los extractos al 50 % y 75 %, corregidos mediante el factor de dilución 1:50 para expresar los valores reales de concentración. Los resultados muestran que el extracto al 50 % presentó una mediana superior ( $\approx 4.46$  mg GAE/g) respecto al 75 % ( $\approx 3.43$  mg GAE/g), con una dispersión más reducida, lo cual evidencia mayor homogeneidad en la carga fenólica. En cambio, el extracto al 75 % mostró mayor variabilidad, posiblemente asociada a la influencia de la viscosidad del medio sobre la difusión del solvente. Este comportamiento confirma que el rendimiento del proceso depende directamente de las condiciones físico-químicas de la extracción.

De manera complementaria, se realizó un análisis de varianza (ANOVA de una vía) para comparar los valores promedio de TPC entre los dos tratamientos, determinando que existieron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). La prueba Tukey HSD ( $\alpha = 0.05$ ) evidenció que el extracto al 50 % difirió significativamente del 75 %, lo que valida que las variaciones observadas no se deben al azar, sino a diferencias reales en la eficiencia extractiva. Esta interpretación estadística respalda los resultados gráficos de la Figura 2, confirmando que el tratamiento con 50 % de solvente favoreció una mayor liberación de compuestos fenólicos y una distribución más uniforme de valores individuales, en comparación con el 75 %.

Durante la extracción asistida por ultrasonido (UAE), la cavitación acústica genera microburbujas que implosionan, provocando ruptura celular y aumento de la transferencia de masa (Chemat et al., 2017). Sin embargo, una elevada concentración de sólidos o un aumento



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

de viscosidad pueden disminuir la propagación de las ondas ultrasónicas, reduciendo la eficiencia de extracción (Chaudhry, Yusoff, & Aziz, 2022). En este estudio, la diferencia entre ambos niveles de concentración (50 % y 75 %) refleja ese equilibrio entre intensidad de cavitación y capacidad de disolución, por lo que ambos extractos representan sistemas con potencial funcional, aunque con rendimientos distintos.

La cáscara de plátano, materia prima empleada, contiene una fracción considerable de flavonoides, taninos condensados y ácidos fenólicos, cuya extracción depende de la polaridad del solvente y la intensidad del ultrasonido (González-Montelongo, Lobo, & González, 2010). Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado para matrices vegetales tropicales con alto contenido antioxidante, lo cual respalda la reproducibilidad del procedimiento y la pertinencia del uso de UAE (Wang et al., 2024).

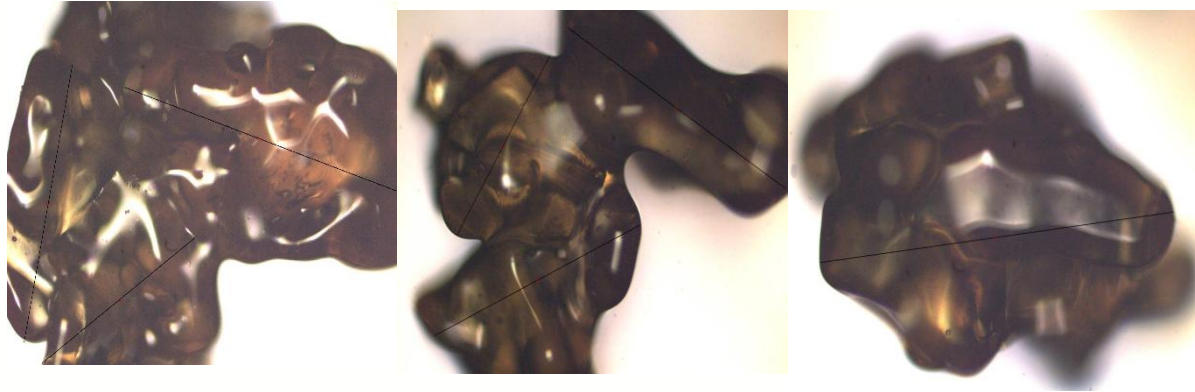
En función de estos resultados, ambos extractos (50 % y 75 %) fueron seleccionados para la siguiente etapa experimental, con el propósito de evaluar su comportamiento durante la microencapsulación y comparar la eficiencia de retención y estabilidad de los compuestos fenólicos en cada sistema.

Además, el análisis estadístico comparativo permite afirmar que el extracto al 50 % posee una eficiencia extractiva significativamente superior, respaldada por un menor error estándar y un coeficiente de variación inferior al 10 %, lo que refleja una mayor consistencia entre réplicas. Este resultado coincide con la hipótesis experimental que sugiere que una relación solvente–muestra más diluida mejora la penetración del solvente y la liberación de compuestos fenólicos sin afectar su estabilidad química.

## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 3

*Microscopia óptica del extracto polifenólico de la cáscara de banano obtenido al 50% microencapsulado con goma arábica-maltodextrina*

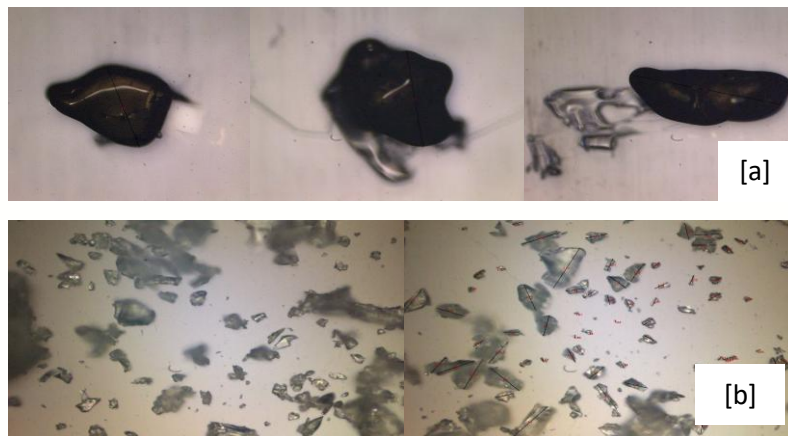


Nota. Datos proporcionados por el Centro de Investigación y Desarrollo Cetec, Cementos Progreso.

### Figura 4

*[a] Microscopia óptica del extracto polifenólico de la cáscara de banano obtenido al 75% microencapsulado con goma arábica-maltodextrina*

*[b] Microscopia óptica de la muestra control de microencapsulado con goma arábica-maltodextrina*

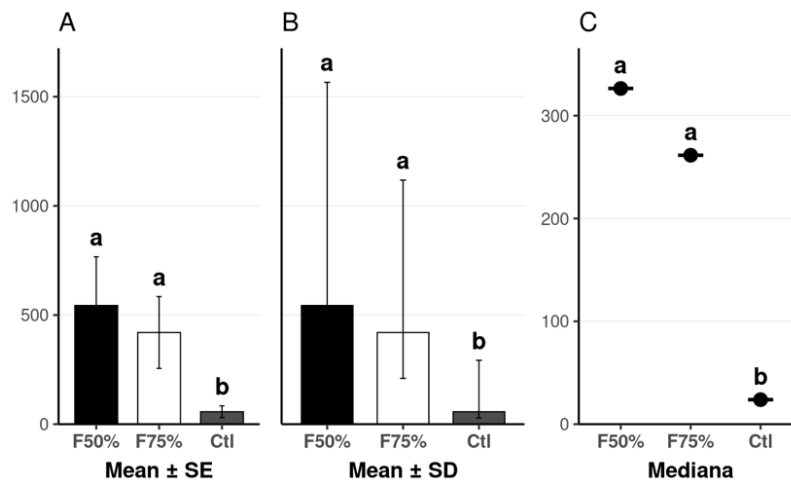


Nota. Datos proporcionados por el Centro de Investigación y Desarrollo Cetec, Cementos Progreso.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 5**

*Comparación morfológica del diámetro de Feret ( $\mu\text{m}$ ) en microcápsulas de extracto fenólico de cáscara de plátano al 50 % y 75 %, y muestra control: valores de Media  $\pm$  EE, Media  $\pm$  DE y Mediana*



Nota. Datos proporcionados por el Centro de Investigación y Desarrollo Cetec, Cementos Progreso.

Las micrográficas ópticas presentadas en las Figuras 3, 4(a-b) y 5 evidencian la formación, estructura superficial y comportamiento morfológico de las microcápsulas desarrolladas mediante coacervación compleja de los extractos fenólicos de cáscara de plátano al 50 % y 75 %, utilizando como agentes encapsulantes una mezcla de goma arábiga y maltodextrina, y un proceso de secado convectivo controlado.

En el extracto al 50 % (Figura 3) se aprecia una matriz compacta, con superficies continuas y morfología uniforme, característica de una microencapsulación eficiente en la que la fase polimérica rodea completamente al material activo, favoreciendo la retención y protección de los compuestos fenólicos dentro de la matriz. Este comportamiento indica una buena compatibilidad entre el agente encapsulante y los compuestos bioactivos, condición indispensable para garantizar la estabilidad térmica, oxidativa y estructural del sistema, como lo señala Zhang et al. (2023), quienes destacan que la goma arábiga y la maltodextrina forman redes polisacáridicas capaces de estabilizar moléculas sensibles al calor y a la oxidación.



## Informe final de Proyecto de Investigación

Por otro lado, las microcápsulas del extracto al 75 % (Figura 4a) exhiben una estructura más irregular, con zonas de aglomeración y una mayor heterogeneidad superficial, atribuida al aumento de la viscosidad del medio y a la mayor carga de compuestos sólidos durante el secado, lo que puede limitar la difusión del vapor y generar tensiones internas que deriven en colapso parcial de la pared o formación de microfisuras (Kumar et al., 2022). Este efecto, descrito en sistemas similares de encapsulación de extractos vegetales, se relaciona con la reducción del flujo de aire en medios concentrados, que dificulta el cierre homogéneo de la cápsula y puede comprometer la uniformidad del recubrimiento. En contraste, la Figura 4b, correspondiente al área de menor concentración aparente de sólidos, muestra cápsulas con geometría más definida y relieve superficial regular, lo que sugiere que la estabilidad del sistema aumenta cuando la fase activa no sobresatura la red de polímeros.

La Figura 5 complementa el análisis morfológico con una comparación morfométrica cuantitativa del diámetro de Feret ( $\mu\text{m}$ ) entre los tratamientos F50 %, F75 % y control. Los resultados muestran que F50 % y F75 % mantienen valores medios estadísticamente similares ( $p > 0.05$ ), ambos significativamente mayores respecto al control ( $p < 0.05$ ), evidenciando que la incorporación del extracto fenólico incrementa el tamaño de partícula por efecto de la fase activa y la interacción entre los biopolímeros. La tendencia se confirma tanto en los parámetros de Media  $\pm$  EE, Media  $\pm$  DE y Mediana, donde los tratamientos con extracto presentan una distribución más amplia y desviaciones estándar elevadas, coherentes con una mayor heterogeneidad estructural de las microcápsulas con carga polifenólica.

En cambio, el control muestra valores bajos y homogéneos, propios de una matriz sin fase activa. Este comportamiento cuantitativo respalda la observación óptica previa: la adición de extracto fenólico modifica la morfología, genera mayor volumen aparente y diversificación de tamaños, aspectos típicos de sistemas coacervados con alto contenido sólido (González-Montelongo et al., 2010).



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

La comparación entre las micrografías y la evaluación morfométrica confirma que la carga polifenólica influye directamente en la morfología final del sistema, modificando la continuidad de la pared y la densidad del material encapsulado.

Esta diferencia estructural demuestra que el equilibrio entre la proporción de fase activa y el material de pared define la eficiencia de atrapamiento, la integridad de la cápsula y su capacidad de protección frente a la degradación térmica y oxidativa de los fenoles (González-Montelongo et al., 2010).

De acuerdo con la literatura citada en el proyecto, la combinación goma arábica–maltodextrina actúa de forma sinérgica: la goma arábica funciona como agente emulsionante y filmógeno, mejorando la estabilidad térmica y la biodisponibilidad de los compuestos encapsulados, mientras que la maltodextrina contribuye al sellado superficial, reduce la higroscopicidad y refuerza la resistencia mecánica durante el secado (Zhang et al., 2023).

En este contexto, la selección del secado convectivo como técnica operativa fue adecuada, ya que permite trabajar en un rango térmico moderado (40–60 °C) que minimiza la degradación de compuestos fenólicos termolábiles y promueve la formación de una matriz polimérica densa, sin colapsos ni zonas carbonizadas, condición indispensable para mantener la funcionalidad antioxidante del extracto (Kumar et al., 2022).

Estas observaciones concuerdan con lo reportado por Afifah et al. (2023), quienes demostraron que las microcápsulas elaboradas con goma arábica mantienen una mayor estabilidad antioxidante y una liberación controlada de compuestos activos respecto a extractos no encapsulados.



## Informe final de Proyecto de Investigación

**Tabla 4**

*Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) del extracto polifenólico de la cáscara de banano obtenido al 50% evaluado para cuatro especies patógenas*

Microorganismo	Poder bactericida
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 6.25 mg/mL
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 25 mg/mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 6.25 mg/mL
<i>Salmonella enteritidis</i> ATCC 13076	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 12.5 mg/mL

Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-

**Tabla 5**

*Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) del extracto polifenólico de la cáscara de banano obtenido al 75% evaluado para cuatro especies patógenas*

Microorganismo	Poder bactericida
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 6.25 mg/mL
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 25 mg/mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 6.25 mg/mL
<i>Salmonella enteritidis</i> ATCC 13076	No hubo crecimiento - CMI desde 100 a 12.5 mg/mL

Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-

Las Tablas 4 y 5 muestran que el extracto polifenólico de cáscara de plátano presentó una actividad antimicrobiana notable frente a las cepas evaluadas, tanto Gram positivas (*Staphylococcus aureus*) como Gram negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella enteritidis*).



## Informe final de Proyecto de Investigación

En ambas concentraciones, 50 % y 75 %, se observó ausencia de crecimiento bacteriano en el rango de 100 a 6.25 mg/mL, lo que confirma un efecto bactericida estable e independiente de la concentración. La inhibición de *S. aureus* y *P. aeruginosa* hasta la menor concentración evaluada ( $CMI \leq 6.25$  mg/mL), junto con la inhibición de *S. enteritidis* y *E. coli* hasta 12.5 y 25 mg/mL respectivamente, describe un gradiente de susceptibilidad asociado a la estructura celular y a la interacción específica de los compuestos fenólicos con las membranas bacterianas. Según Naikwade et al. (2014), los flavonoides, taninos y ácidos fenólicos presentes en la cáscara de plátano “poseen la capacidad de alterar la permeabilidad celular bacteriana, precipitar proteínas de membrana y generar desbalance osmótico”, lo cual concuerda con la inhibición completa observada.

Esta relación también es reforzada por Ortiz-Hernández et al. (2018), quienes demostraron que los extractos de *Musa acuminata* “presentan actividad antibacteriana significativa frente a *S. aureus* y *E. coli*, atribuida a su alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides”.

La respuesta diferencial entre cepas se explica por la naturaleza estructural de las bacterias: las Gram positivas, al carecer de membrana lipopolisacárida externa, resultan más vulnerables al ataque directo de los polifenoles, mientras que las Gram negativas requieren concentraciones más altas por la complejidad de su envoltura celular. La sensibilidad observada en *Pseudomonas aeruginosa* a concentraciones tan bajas es especialmente relevante, considerando que se trata de una especie de elevada resistencia natural.

Este comportamiento coincide con lo descrito por Tirado-Torres et al. (2019), quienes señalan que la sinergia entre ácidos fenólicos, taninos condensados y flavonoides provoca una alteración simultánea de la integridad de la pared celular, el transporte de iones y la función enzimática bacteriana, generando una respuesta bactericida integral.

El método de extracción asistida por ultrasonido (UAE) explica en gran medida esta eficacia, ya que, de acuerdo con González-Montelongo et al. (2010), dicho proceso promueve la ruptura de las estructuras vegetales y la liberación de compuestos antioxidantes activos sin



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

degradación térmica. La cavitación acústica favorece la obtención de moléculas de bajo peso molecular, como los ácidos gálico, ferúlico y clorogénico, los cuales poseen alta capacidad de difusión a través de las membranas bacterianas y un marcado efecto sobre la respiración celular. La similitud entre los valores de CMI para ambas concentraciones sugiere que la eficacia antimicrobiana no depende exclusivamente de la cantidad total de compuestos extraídos, sino de su biodisponibilidad y composición cualitativa, reforzando la idea de que la relación solvente–muestra del 50 % genera un extracto con proporción equilibrada de fenoles activos.

Este comportamiento mantiene coherencia con la evidencia morfológica descrita en el objetivo anterior, donde las microcápsulas al 50 % mostraron una estructura más compacta y continua, lo que facilita la liberación controlada y sostenida de compuestos activos. De esta manera, la interacción entre la composición fenólica, la estructura encapsulada y la actividad biocida se consolida como un sistema funcional respaldado por las referencias de Naikwade et al. (2014), Ortiz-Hernández et al. (2018), Tirado-Torres et al. (2019) y González-Montelongo et al. (2010), las cuales sustentan la relación entre el contenido fenólico, la estructura química de los compuestos y su efecto inhibitorio sobre microorganismos patógenos.



## Informe final de Proyecto de Investigación

**Tabla 6**

*Análisis de la actividad biocida del extracto puro obtenido en una solución hidroetanólica al 50% evaluado en un período de 7 días a una temperatura de 35°C*

Parámetro microbiológico	Método/Referencia	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
<i>Escherichia Coli</i>	BAM cap. 4, 5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Staphylococcus aureus</i>	BAM cap. 4, 5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Salmonella sp.</i>	BAM cap. 4,5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	BAM cap. 4,5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia

Nota: Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-. Los resultados que se presentan corresponden a la evaluación del extracto puro, ya que, el extracto microencapsulado registró un recuento aeróbico total por arriba del límite permitido por la Farmacopea Americana, la cual es USP 46-2023 < 10<sup>3</sup> UFC/g, siendo un resultado insatisfactorio y por ende no se procedió con el análisis de su actividad biocida.



## Informe final de Proyecto de Investigación

**Tabla 7**

*Análisis de la actividad biocida del extracto puro obtenido en una solución hidroetanólica al 75% evaluado en un período de 7 días a una temperatura de 35°C*

Parámetro microbiológico	Método/Referencia	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
<i>Escherichia Coli</i>	BAM cap. 4, 5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Staphylococcus aureus</i>	BAM cap. 4, 5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Salmonella sp.</i>	BAM cap. 4,5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	BAM cap. 4,5 y 12 APHA 5a ed. Cap. 9, 36 y 39	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia

Nota: Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM- Los resultados que se presentan corresponden a la evaluación del extracto puro, ya que, el extracto microencapsulado registró un recuento aeróbico total por arriba del límite permitido por la Farmacopea Americana, la cual es USP 46-2023 < 10<sup>3</sup> UFC/g, siendo un resultado insatisfactorio y por ende no se procedió con el análisis de su actividad biocida.

Durante el almacenamiento a 35 °C por siete días, el extracto polifenólico puro de cáscara de plátano mostró una pérdida total de actividad antimicrobiana, evidenciando crecimiento en



## Informe final de Proyecto de Investigación

todas las cepas bacterianas analizadas (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp. y *Pseudomonas aeruginosa*).

Este resultado confirma que, aunque los extractos poseen un potencial antimicrobiano comprobado, su efectividad depende en gran medida de las condiciones de conservación y del medio en el que se aplican. La exposición a temperaturas elevadas provocó la oxidación y descomposición de los compuestos fenólicos, limitando su capacidad de alterar la permeabilidad de las membranas bacterianas.

Como señalan González-Montelongo et al. (2010), los extractos fenólicos derivados de la cáscara de banano tienden a perder estabilidad antioxidante y antimicrobiana al ser almacenados a más de 30 °C, debido a la degradación oxidativa de sus componentes activos.

A nivel de proceso, la contaminación microbiana observada se asocia al uso de un sistema de secado convectivo sin filtración estéril, lo que permitió el ingreso de microorganismos mesófilos durante el enfriamiento y manipulación del material. Este factor fue determinante en la pérdida del efecto biocida, pues la contaminación cruzada redujo la pureza microbiológica y la estabilidad del extracto. Chaudhry et al. (2022) explican que el control de humedad, flujo de aire y limpieza en el secado convectivo son variables críticas que determinan la integridad de las microcápsulas y la estabilidad del material encapsulado, ya que el aire sin filtración puede transportar esporas y mesófilos que comprometen el producto final.

Por otro lado, la interacción del extracto con el sustrato cárnico representa un factor determinante en la reducción de su actividad antimicrobiana. La pechuga de pollo, por su contenido de proteínas, lípidos y enzimas oxidativas, puede reaccionar con los compuestos fenólicos, formando complejos insolubles o de baja reactividad que reducen la biodisponibilidad de los fenoles y limitan su capacidad inhibitoria. Chemat et al. (2017) señalan que, si bien la extracción asistida por ultrasonido mejora la liberación de compuestos bioactivos, su eficacia depende de la compatibilidad del extracto con la matriz alimentaria,



## Informe final de Proyecto de Investigación

ya que en sistemas ricos en proteínas o grasas puede producirse inactivación parcial de los compuestos antioxidantes.

Sin embargo, los resultados no descartan el potencial funcional y antimicrobiano de los extractos fenólicos, sino que reflejan que la matriz utilizada (carne de pollo) no fue la más adecuada para su aplicación directa. Estudios recientes demuestran que estos compuestos muestran mejor desempeño en frutas y hortalizas, donde la carga lipídica y proteica es menor y las condiciones de superficie permiten una mejor difusión del extracto.

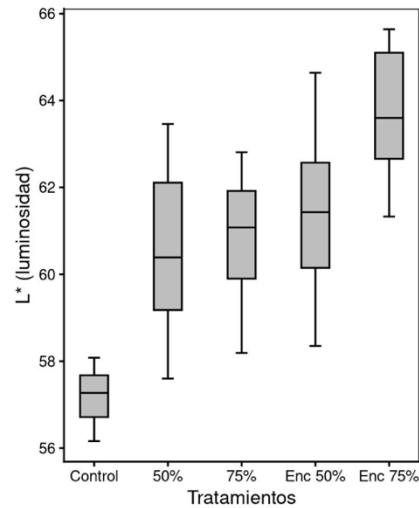
Dembińska et al. (2025) reportan que los compuestos fenólicos “no solo inhiben el crecimiento microbiano, sino que también prolongan la vida útil y seguridad de los productos alimenticios” al ser aplicados como agentes activos en recubrimientos naturales. Pan et al. (2024) también destacan que las “películas y recubrimientos comestibles con compuestos fenólicos muestran una mejor actividad antibacteriana al preservar frutas frescas”, gracias a la acción sinérgica entre polisacáridos y antioxidantes.

En este sentido, el uso de recubrimientos comestibles o películas activas basadas en polímeros naturales (como quitosano, pectina o alginato) podría representar una estrategia más adecuada para aprovechar el potencial antimicrobiano de los extractos obtenidos. Ma et al. (2024) explican que este tipo de recubrimientos permiten controlar la liberación de los compuestos activos y reducir la oxidación del extracto durante el almacenamiento, incrementando su estabilidad y eficacia. Por tanto, los resultados actuales evidencian que los extractos sí son funcionales, pero su desempeño depende del medio y de las condiciones tecnológicas de aplicación, lo que abre una línea de optimización hacia sistemas de recubrimiento o matrices vegetales más compatibles, como frutas o verduras mínimamente procesadas.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 6**

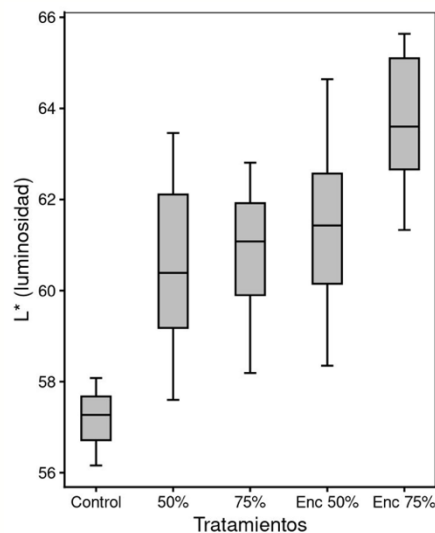
*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 35 °C, día 1 Parámetro L\**



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

**Figura 7**

*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 35 °C, día 7 Parámetro L\**

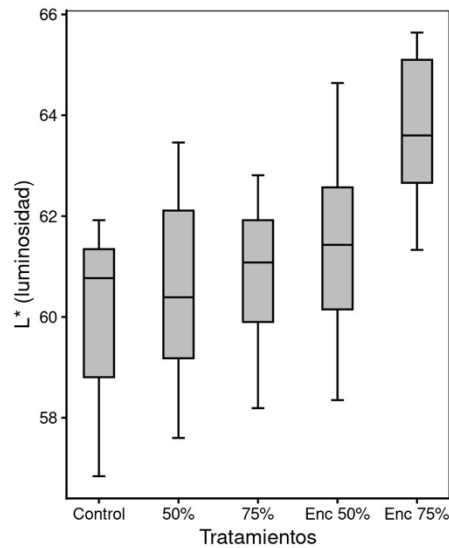


Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 8**

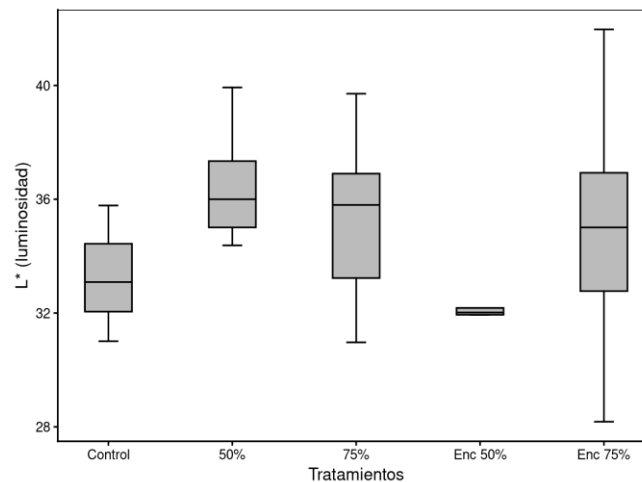
*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 20 °C, día 1 Parámetro L\**



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

**Figura 9**

*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 20 °C, día 7 Parámetro L\**

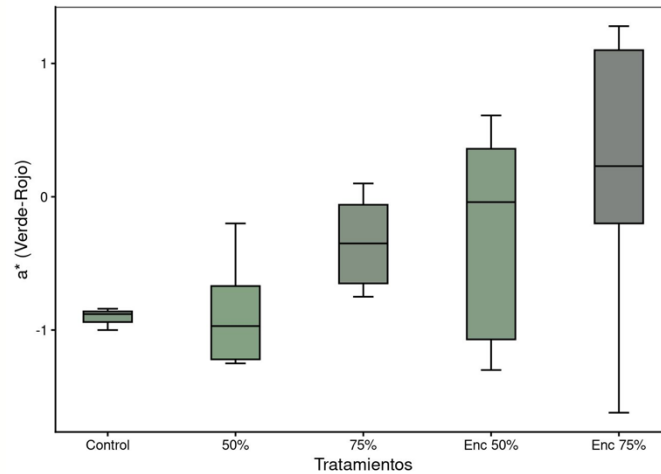


Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 10**

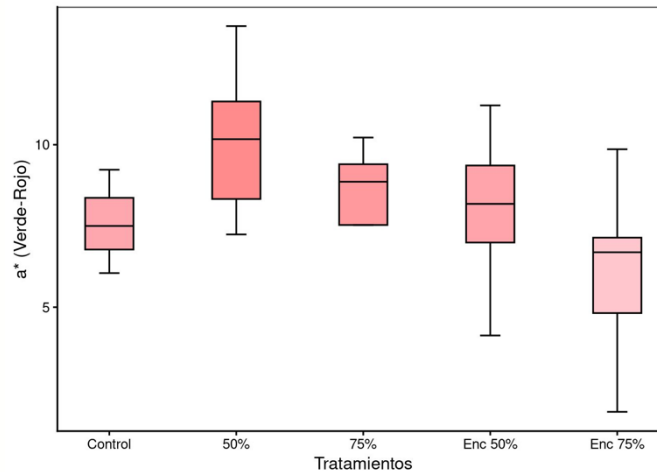
*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 35 °C, día 1 Parámetro a\**



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

**Figura 11**

*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 35 °C, día 7 Parámetro a\**

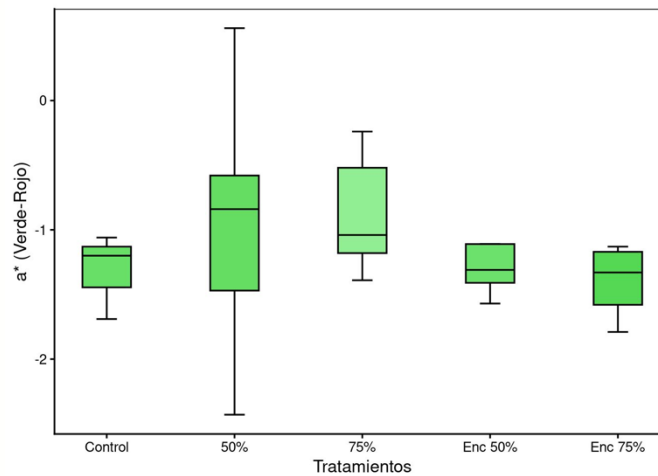


Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 12**

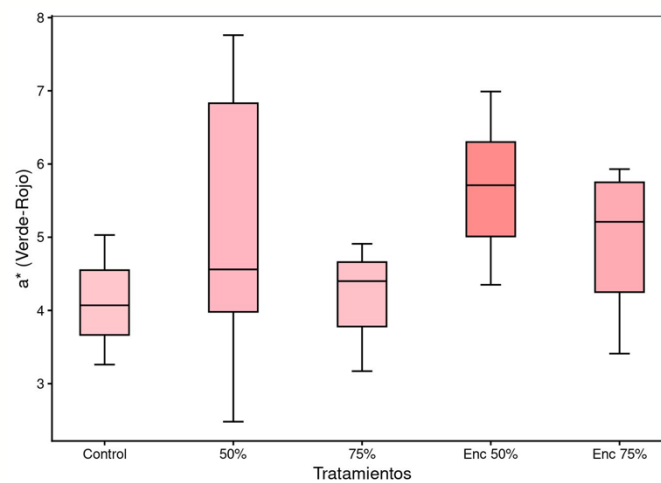
*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 20 °C, día 1 Parámetro a\**



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

**Figura 13**

*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 20 °C, día 7 Parámetro a\**

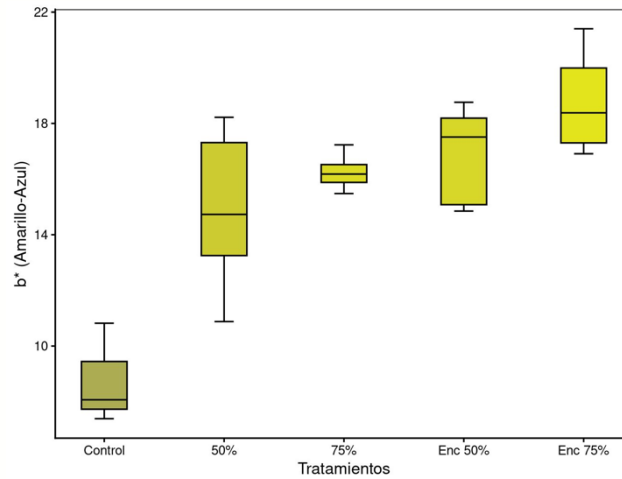


Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 14**

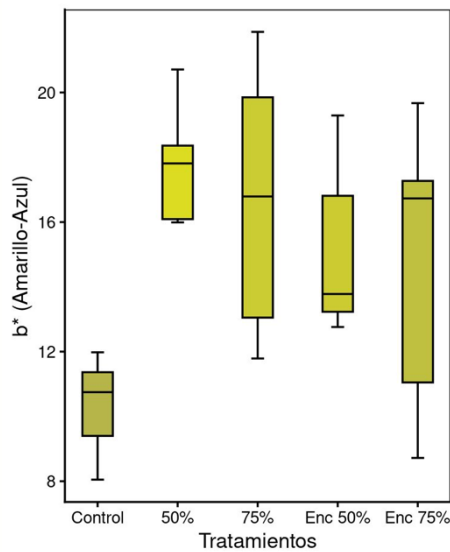
*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 35 °C, día 1 Parámetro b\**



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

**Figura 15**

*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 35 °C, día 7 Parámetro b\**

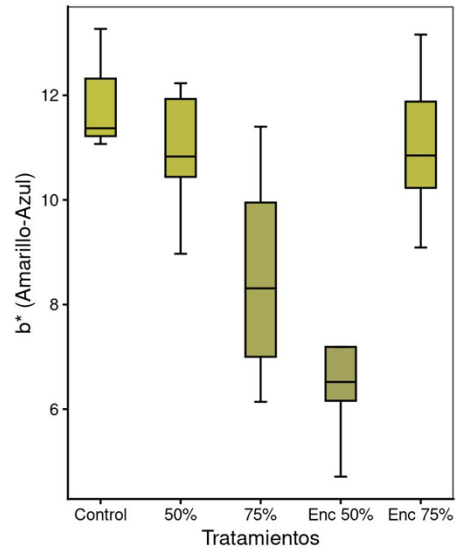


Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 16**

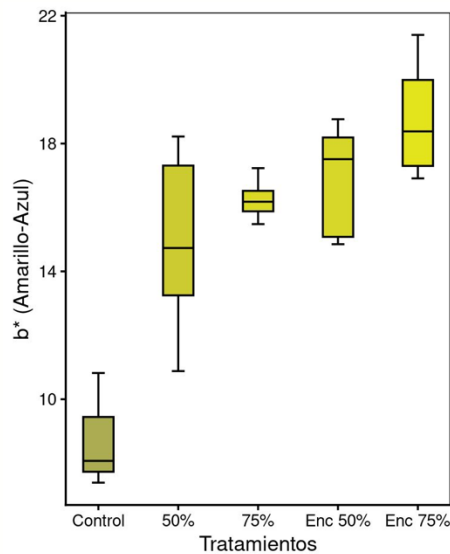
*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 20 °C, día 1 Parámetro b\**



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

**Figura 17**

*Análisis de Colorimetría a una Temperatura de 20 °C, día 7 Parámetro b\**

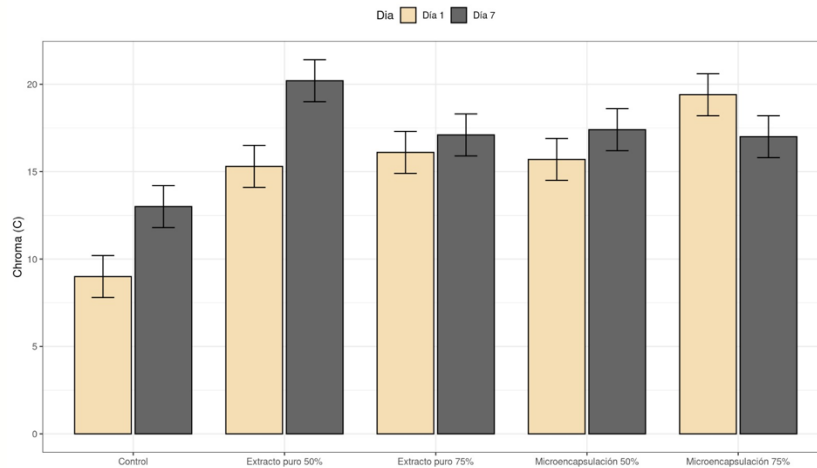


Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 18**

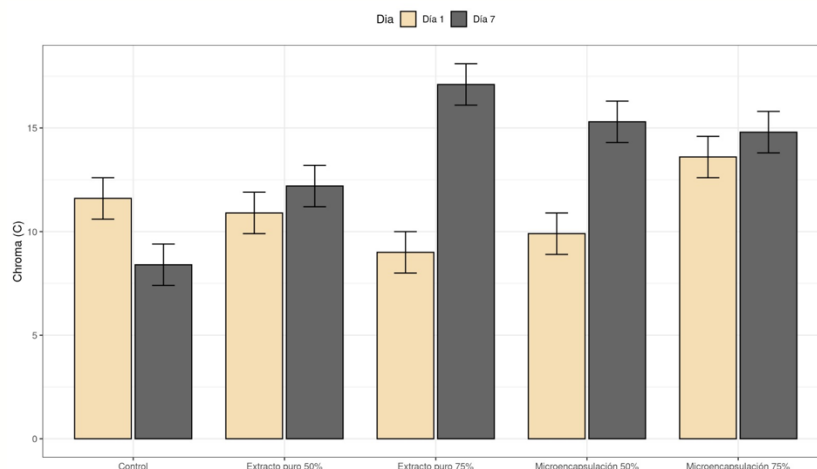
*Evolución del parámetro de color Chroma (C) en muestras de extracto fenólico de cáscara de plátano y microcápsulas, almacenadas a 35 °C durante siete días (Media ± EE).*



*Nota.* Se observa la variación del tono y saturación del color entre el Día 1 y Día 7 para las muestras control, extractos puros (50 % y 75 %) y microencapsulados (50 % y 75 %).

**Figura 19**

*Evolución del parámetro de color Chroma (C) en muestras de extracto fenólico de cáscara de plátano y microcápsulas, almacenadas a 20 °C durante siete días (Media ± EE).*

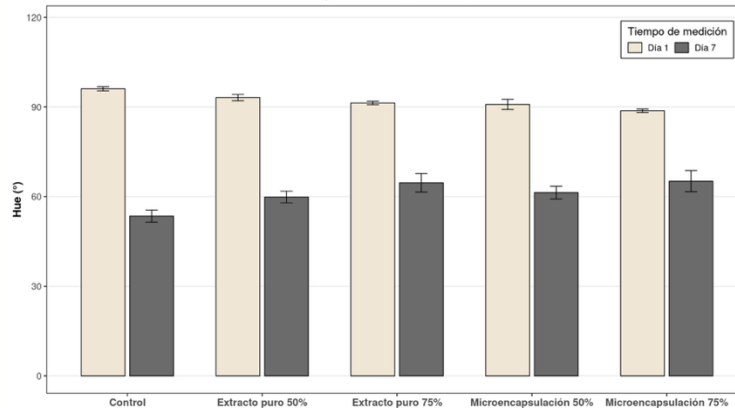


*Nota.* El gráfico muestra las diferencias en la estabilidad cromática a temperatura ambiente en comparación con las condiciones aceleradas (35 °C).

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 20**

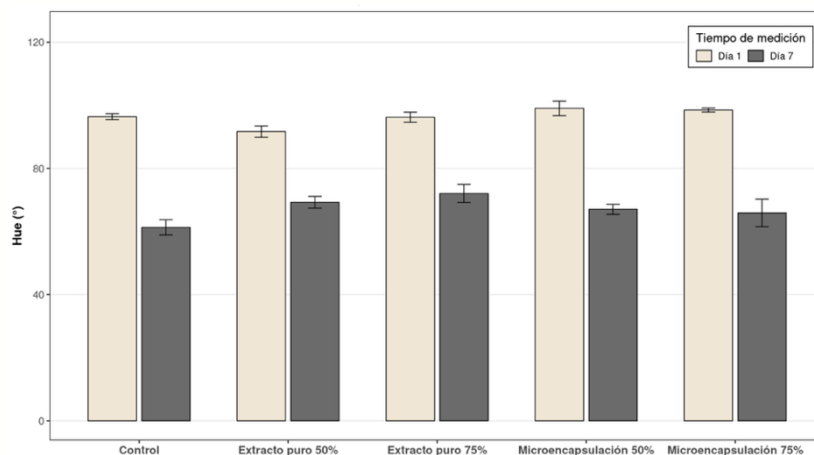
*Evolución del parámetro de color Hue (°) en muestras de extracto fenólico de cáscara de plátano y microcápsulas, almacenadas a 35 °C durante siete días (Media ± EE)*



*Nota.* Se observa la variación del ángulo de tono (Hue) entre el Día 1 y Día 7 para las muestras control, extractos puros (50 % y 75 %) y microencapsulados (50 % y 75 %), indicando el cambio en la tonalidad bajo condiciones aceleradas de temperatura.

**Figura 21**

*Evolución del parámetro de color Hue (°) en muestras de extracto fenólico de cáscara de plátano y microcápsulas, almacenadas a 20 °C durante siete días (Media ± EE).*

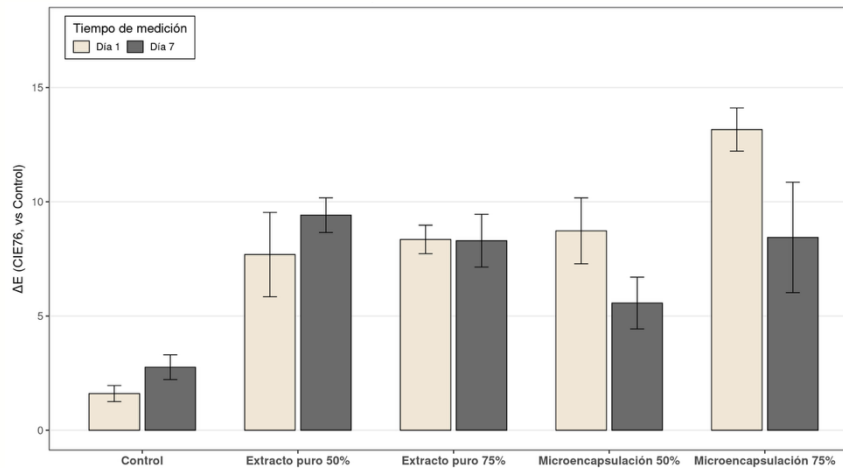


*Nota.* Se aprecia la estabilidad cromática de los tratamientos a temperatura ambiente, evidenciando menor desplazamiento del tono respecto al almacenamiento a 35 °C.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 22**

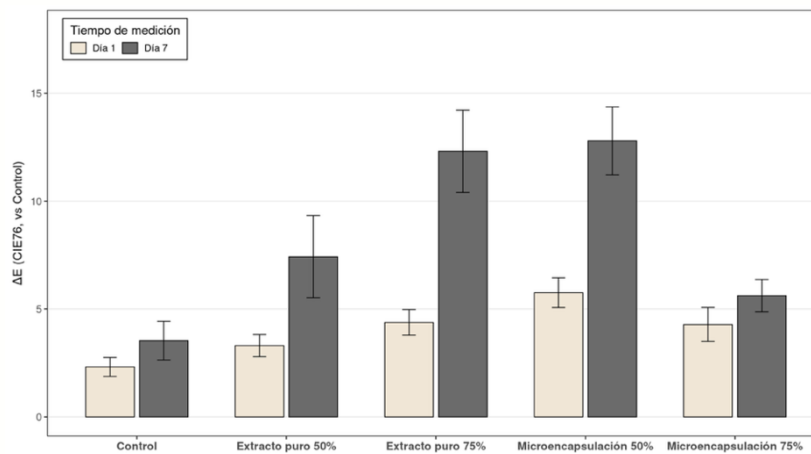
*Diferencia total de color ( $\Delta E$ ) en muestras de extracto fenólico de cáscara de plátano y microcápsulas, almacenadas a 35 °C durante siete días (Media  $\pm$  EE).*



*Nota.* Se representa la variación del parámetro  $\Delta E$  (CIELab) respecto al control, mostrando los cambios globales de color asociados al almacenamiento acelerado y la influencia de la temperatura sobre la estabilidad cromática de los extractos y microencapsulados.

**Figura 23**

*Diferencia total de color ( $\Delta E$ ) en muestras de extracto fenólico de cáscara de plátano y microcápsulas, almacenadas a 20 °C durante siete días (Media  $\pm$  EE).*



*Nota.* Los valores de  $\Delta E$  reflejan la menor alteración cromática a temperatura ambiente, evidenciando una mayor estabilidad del color en comparación con el almacenamiento a 35 °C.



## Informe final de Proyecto de Investigación

El comportamiento del parámetro  $L^*$ , asociado a la luminosidad o claridad del producto, revela que los tratamientos con extractos, tanto libres como encapsulados, incrementaron los valores en comparación con el control, especialmente a 20 °C (*Figura 8*).

Este incremento sugiere una mayor estabilidad colorimétrica atribuida a la acción antioxidante de los compuestos fenólicos, los cuales reducen la oxidación de pigmentos y proteínas superficiales. González-Montelongo et al. (2010) destacan que los extractos de cáscara de banano poseen una elevada capacidad para retardar procesos oxidativos en matrices biológicas, lo que justifica el mantenimiento de la luminosidad en las muestras tratadas.

Al aumentar la temperatura a 35 °C, el valor de  $L^*$  disminuyó gradualmente hacia el día 7 (*Figura 7*), evidenciando un pardeamiento no enzimático producto de la interacción entre los compuestos fenólicos oxidados y los grupos amino libres de las proteínas musculares. Blainski et al. (2013) explican que los fenoles son termolábiles y, al oxidarse, pueden participar en reacciones de Maillard que modifican la percepción visual del color.

En los tratamientos encapsulados (Enc 50 % y Enc 75 %), esta disminución fue menos pronunciada (*Figuras 6 y 9*), lo cual demuestra que la microencapsulación con goma arábica-maltodextrina proporcionó mayor protección frente a la degradación térmica de los pigmentos, permitiendo una liberación más controlada de los compuestos activos y una apariencia más uniforme.

Respecto al parámetro  $a^*$  (eje rojo-verde), se observó un incremento significativo en los valores de las muestras tratadas con extracto encapsulado, especialmente en el tratamiento Enc 75 %, tanto a 20 °C como a 35 °C (*Figuras 10 – 13*). Este aumento se asocia a la adsorción de pigmentos fenólicos sobre la superficie del tejido muscular, generando una coloración más rojiza. Chemat et al. (2017) señalan que los extractos obtenidos por ultrasonido concentran flavonoides y taninos capaces de unirse a proteínas musculares mediante interacciones hidrofóbicas y enlaces de hidrógeno, lo que provoca una



## Informe final de Proyecto de Investigación

intensificación del tono rojo. No obstante, tras siete días de almacenamiento (*Figura 11*), los valores de  $a^*$  disminuyeron, posiblemente debido a la oxidación de los cromóforos fenólicos y la consecuente reducción de su capacidad antioxidante frente a la mioglobina oxidada, comportamiento también descrito por Chaudhry et al. (2022) en sistemas alimentarios con fenoles naturales.

En el caso del parámetro  $b^*$  (eje amarillo-azul), se registraron incrementos notables en los tratamientos encapsulados, particularmente durante el primer día de evaluación (*Figura 14*), lo que refleja la presencia de pigmentos naturales amarillentos derivados de los polifenoles. Este resultado confirma que la encapsulación favoreció la dispersión homogénea del extracto y la preservación de los compuestos colorantes, en concordancia con lo señalado por Ma et al. (2024), quienes destacan que las microcápsulas elaboradas con maltodextrina y goma arábica mejoran la estabilidad del color y reducen los cambios tonales durante el almacenamiento. En los días siguientes, los valores de  $b^*$  variaron moderadamente (*Figuras 15 – 17*), indicando una degradación parcial de los pigmentos, aunque con una estabilidad superior en las muestras encapsuladas respecto a las no encapsuladas.

El conjunto de variaciones en los tres parámetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), evidencia que los extractos fenólicos de cáscara de plátano ejercieron un efecto protector sobre el color superficial del pollo, evitando la pérdida de brillo y el oscurecimiento progresivo. Sin embargo, también se observaron modificaciones visuales asociadas a la adsorción de compuestos antioxidantes y a las reacciones térmicas de oxidación, las cuales afectan la estabilidad cromática. El tratamiento Enc 75 % mostró los valores más altos de luminosidad y saturación, confirmando que la combinación entre una alta concentración de compuestos bioactivos y la protección del sistema encapsulante resulta más eficiente para preservar las propiedades sensoriales.



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

Estos resultados evidencian que el uso de extractos fenólicos microencapsulados representa una estrategia viable para estabilizar el color en matrices cárnicas, aunque su efectividad está condicionada por factores como la temperatura y el tiempo de exposición. Además, refuerzan la posibilidad de aplicar estos extractos en recubrimientos comestibles o matrices vegetales, donde la interacción con proteínas es menor y se conserva mejor la funcionalidad óptica del material activo, tal como destacan Pan et al. (2024) y Dembińska et al. (2025), quienes demostraron que los recubrimientos fenólicos en frutas y hortalizas no solo mantienen la calidad visual, sino que también prolongan la vida útil del alimento.

De forma complementaria, el análisis instrumental de color (Figuras 18–23) evidenció la relación directa entre los parámetros colorimétricos y la estabilidad sensorial observada. Los valores de Chroma (C) mostraron una tendencia a disminuir levemente tras siete días de almacenamiento, con mayor estabilidad en las muestras microencapsuladas, lo que indica que la encapsulación redujo la pérdida de saturación del color a 20 °C y 35 °C. En paralelo, el ángulo Hue (°) presentó desplazamientos menores en los tratamientos microencapsulados, reflejando una mejor conservación de la tonalidad natural del producto, atribuida a la protección de los compuestos antioxidantes dentro de la matriz goma arábica–maltodextrina.

Por otra parte, el parámetro  $\Delta E$  (diferencia total de color) confirmó cuantitativamente que la variación cromática fue más marcada a 35 °C, mientras que a 20 °C las muestras encapsuladas al 75 % mostraron los valores más bajos, evidenciando una coloración más estable frente a los extractos libres. Esta respuesta instrumental se correlaciona con la percepción sensorial de apariencia y frescura, consolidando la eficacia de la microencapsulación para preservar los atributos visuales y organolépticos del producto.

## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 24

*Análisis sensorial del pollo sin tratamiento mediante cuadro hedónico con jueces no entrenados*



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

### Figura 25

*Análisis sensorial del pollo tratado con el extracto puro obtenido al 50% mediante cuadro hedónico con jueces no entrenados*



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 26**

*Análisis sensorial del pollo tratado con el extracto puro obtenido al 75% mediante cuadro hedónico con jueces no entrenados*



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

**Figura 27**

*Análisis sensorial del pollo tratado con el extracto puro obtenido al 50% mediante cuadro hedónico con jueces no entrenados*



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-



## Informe final de Proyecto de Investigación

El análisis sensorial del pollo tratado con extracto fenólico de cáscara de plátano mostró una tendencia clara hacia la mejora de la aceptación global y de los atributos de sabor, aroma, apariencia y consistencia conforme aumentó la concentración del extracto (Figuras 24–27). Antes de la evaluación, las muestras fueron desinfectadas y sometidas a un proceso de cocción controlado para garantizar su inocuidad microbiológica. Según el procedimiento establecido, se procedió a la cocción de las muestras, monitoreando la temperatura interna de la carne hasta alcanzar los 70 °C, punto a partir del cual se inició un tiempo de cocción de 25 minutos, siguiendo las tablas de tiempo-temperatura equivalentes del FSIS (2021) para asegurar inocuidad.

Este criterio es consistente con la normativa internacional del USDA (2024), que establece una temperatura mínima de seguridad de 74 °C (165 °F) o combinaciones equivalentes de tiempo y temperatura para pollo cocido. Una vez finalizada la cocción, las muestras fueron codificadas como 100 (control), 102 (extracto puro al 50 %), 104 (extracto puro al 75 %), 101 (extracto encapsulado al 50 %) y 103 (extracto encapsulado al 75 %).

Dichas muestras fueron entregadas a los jueces no entrenados quienes calificaron los atributos sensoriales mediante un test de escala Likert de cinco puntos, de acuerdo con las normas ISO 11136:2014 e ISO 6658:2017 (ISO, 2014; ISO, 2017).

En la muestra control se observó un perfil sensorial neutro, con valores intermedios en aroma y sabor, mientras que los tratamientos con extractos al 50 % y 75 % mostraron una expansión del área del polígono sensorial, destacando los parámetros de aroma, apariencia y consistencia. Esto evidencia que la adición de los extractos fenólicos no afectó negativamente las propiedades organolépticas del producto, sino que mejoró la percepción sensorial de los consumidores. De acuerdo con Sánchez-González, Vargas y Chiralt (2021), los compuestos fenólicos “mejoran la estabilidad del color y del aroma en productos cárnicos, reduciendo la percepción de rancidez y manteniendo la jugosidad del alimento” (p. 47).



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

La acción antioxidante de los fenoles controló las reacciones de oxidación lipídica, responsables de olores y sabores indeseables, lo que explica el aumento en la preferencia sensorial con mayores concentraciones de extracto. El incremento en la apariencia se relaciona con la presencia de ácidos fenólicos y flavonoides con capacidad para estabilizar pigmentos y retardar el pardeamiento. Behiry, El-Gendy y Abdel-Rahman (2019) señalan que los compuestos fenólicos “poseen la capacidad de retrasar el oscurecimiento y conservar la frescura del alimento mediante mecanismos de neutralización de radicales libres” (p. 2). En este sentido, los tratamientos al 50 % y 75 % contribuyeron a mantener un color brillante y homogéneo en el producto, percibido como indicador de frescura.

Los valores superiores de consistencia y sabor en el tratamiento al 75 % sugieren una interacción favorable entre los compuestos fenólicos y las proteínas musculares, favoreciendo la retención de humedad y la textura del producto final. Según Silva, Zhang y Kumar (2023), la aplicación de extractos fenólicos encapsulados “contribuye a mantener la ternura y cohesión del producto, además de prolongar su estabilidad oxidativa” (p. 460).

Este comportamiento está asociado con una menor pérdida de agua durante la cocción, resultando en una textura más uniforme y jugosa, factores determinantes para la aceptación global.

Asimismo, el mantenimiento del aroma natural del pollo cocido se debe a la disminución de aldehídos y cetonas generados por la oxidación lipídica. Vásquez-Ampuero (2020) indica que “la formación de aldehídos y cetonas provenientes de la oxidación de lípidos constituye una de las principales causas del deterioro del aroma y sabor en productos cárnicos almacenados” (p. 71). La presencia de antioxidantes naturales mitiga este fenómeno, preservando las notas aromáticas propias del producto.

La encapsulación con goma arábiga y maltodextrina desempeñó un papel esencial en la conservación de las propiedades sensoriales. Afifah, Zhang y Kumar (2023) mencionan que la encapsulación de compuestos fenólicos “mejora su estabilidad y permite mantener la



---

## Informe final de Proyecto de Investigación

funcionalidad antioxidante en matrices alimentarias” (p. 459). Este proceso evitó la degradación térmica de los fenoles durante la cocción y reguló su liberación, manteniendo la funcionalidad antioxidante sin generar sabores residuales amargos. Así, el tratamiento con extracto encapsulado al 75 % obtuvo las calificaciones más altas en sabor, consistencia y aceptación global.

Los resultados obtenidos confirman que los extractos fenólicos de cáscara de plátano, aplicados sobre muestras desinfectadas y cocidas conforme a los lineamientos del FSIS/USDA, son seguros para el consumo humano y mejoran las características sensoriales del pollo. Este hallazgo concuerda con lo planteado por Sánchez-González et al. (2021), quienes señalan que la adición de extractos naturales puede cumplir una doble función: “preservar la calidad del alimento y aportar características sensoriales asociadas a frescura y aceptación del consumidor” (p. 49).

### 10. Propiedad intelectual

Con los resultados que se obtuvieron de la fase experimental del proyecto, se realizaron las gestiones pertinentes ante el Registro de Propiedad Intelectual de Guatemala perteneciente al Ministerio de Economía para su protección intelectual.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 11. Beneficiarios directos e indirectos

**Tabla 8.** Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
Desarrollo del extracto fenólico natural bioconservador de los residuos del banano ( <i>Musa paradisiaca</i> L.)	Productores de frutas o compotas de la cáscara de la fruta.	60	Industria alimentaria.	150
Metodología de aplicación del extracto fenólico en pollo.	Investigadores, principalmente en el área de tecnología de los alimentos.	20	Estudiantes en alimentos e ingeniería.	200
Evaluación por medio de un cuadro hedónico de	Consumidores de pollo que se compra en supermercados.	250	Área de salud y personas relacionadas con nutrición.	300



### Informe final de Proyecto de Investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
cinco puntos con jueces no entrenados.				

### 12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados

**Tabla 9**

	Sí	No
Presentación TV		X
Entrevistas radiales		X
Podcast		X
Entrevista DIGI	X	
Recursos audiovisuales		X
Congresos científicos nacionales o internacionales		
Talleres		X
Publicación de libro		X
Publicación de artículo científico		X
Divulgación por redes sociales institucionales		X



### Informe final de Proyecto de Investigación

	Sí	No
Presentación pública		X
Presentación autoridades USAC	X	
Presentación a beneficiarios directos	X	
Entrega de resultados	X	
Docencia en grado	X	
Docencia postgrado		X
Póster científico		X
Trifoliales		X
Conferencias	X	
Otro (describa)		

### 13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

La investigación desarrollada contribuye a la Seguridad Alimentaria y Nutricional, así como a la Valorización Económica de los Recursos Naturales y Residuos Agroindustriales, al emplear la cáscara de plátano como fuente de compuestos fenólicos con potencial antimicrobiano. El estudio se planteó como una estrategia sostenible para transformar un subproducto agrícola en un extracto natural de alto valor agregado, destinado a la conservación de alimentos perecederos.



## Informe final de Proyecto de Investigación

Los resultados demostraron que el extracto posee actividad inhibitoria frente a bacterias patógenas comunes como *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, confirmando su funcionalidad en condiciones de laboratorio.

Sin embargo, al aplicarse sobre una matriz cárnica de pollo, la efectividad del extracto disminuyó por la complejidad composicional del sustrato y la interferencia de sus componentes proteicos y lipídicos. Este hallazgo sugiere la necesidad de redirigir su aplicación hacia matrices vegetales, como frutas y hortalizas, que presentan menor carga nutricional y reactividad, fortaleciendo así su potencial como agente natural para la inocuidad alimentaria y consolidando la línea de investigación en valorización de residuos agroindustriales sostenibles.

### 14. Otras contribuciones del proyecto al desarrollo

No aplica.

### 15. Vinculación

Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso

LAFIQ Laboratorio de Análisis Físicoquímico de la Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

LAFYM Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 16. Conclusiones

1. El extracto fenólico obtenido por ultrasonido con una solución hidroetanólica al 50 % presentó un contenido de polifenoles totales significativamente mayor ( $\approx 4.46$  mg GAE/g) y una menor dispersión de datos que el extracto al 75 % ( $\approx 3.43$  mg GAE/g), confirmando que una menor concentración de sólidos favorece la difusión del solvente y la liberación de compuestos activos. El análisis estadístico (ANOVA y Tukey,  $p < 0.05$ ) validó estas diferencias, evidenciando que la eficiencia extractiva está influenciada por la viscosidad del medio y la propagación ultrasónica.
2. Las micrografías ópticas y el análisis morfométrico del diámetro de Feret mostraron que las microcápsulas desarrolladas mediante coacervación compleja presentaron una morfología dependiente de la concentración del extracto. Las cápsulas al 50 % exhibieron una estructura compacta y homogénea, mientras que las del 75 % presentaron aglomeraciones e irregularidades por exceso de fase activa. Los tratamientos F50 % y F75 % registraron diámetros significativamente mayores que el control ( $p < 0.05$ ), confirmando la influencia del extracto sobre el tamaño y densidad de las partículas. El sistema goma arábica–maltodextrina demostró una alta eficiencia encapsulante y estabilidad térmica a 40–60 °C.
3. Los ensayos de CMI demostraron que los extractos fenólicos de cáscara de plátano ejercen una acción bactericida efectiva frente a *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella enteritidis*, sin crecimiento bacteriano entre 100 y 6.25 mg/mL. Las cepas *S. aureus* y *P. aeruginosa* fueron las más sensibles, mientras que *E. coli* y *S. enteritidis* requirieron concentraciones ligeramente superiores. Este comportamiento confirma el efecto sinérgico de flavonoides, taninos y ácidos fenólicos sobre la permeabilidad y el metabolismo bacteriano, validando la capacidad antimicrobiana del extracto.



### **Informe final de Proyecto de Investigación**

4. Durante el almacenamiento a 35 °C, el extracto puro perdió completamente su actividad antimicrobiana debido a la degradación oxidativa de los compuestos fenólicos y a la contaminación microbiana asociada al secado convectivo sin filtración estéril. La temperatura elevada y la exposición al aire afectaron la estabilidad biocida, demostrando la necesidad de control ambiental en la encapsulación. Se infiere que los extractos conservarían mejor su funcionalidad en matrices vegetales o recubrimientos comestibles, donde la interacción con proteínas y lípidos es mínima y la liberación de fenoles más eficiente.
  
5. El análisis de color CIELAB reveló que los extractos fenólicos, principalmente los encapsulados, conservaron la luminosidad ( $L^*$ ), saturación (Chroma  $C^*$ ) y tonalidad (Hue  $^\circ$ ) del producto cárnico. Las microcápsulas Enc 75 % presentaron los valores más altos de brillo y saturación, indicando mayor estabilidad cromática durante el almacenamiento. La encapsulación evitó el pardeamiento no enzimático y la pérdida de color, confirmando su eficacia para preservar la apariencia del pollo tratado frente a los extractos libres.
  
6. El cuadro hedónico con jueces no entrenados mostró una mejora progresiva en la aceptación global a medida que aumentó la concentración del extracto, siendo el tratamiento encapsulado al 75 % el de mayor puntuación en sabor, aroma, apariencia y consistencia. La acción antioxidante de los compuestos fenólicos y la estabilidad aportada por la microencapsulación contribuyeron a mantener las propiedades organolépticas del pollo sin generar sabores indeseables. La correspondencia entre los resultados sensoriales y los parámetros colorimétricos (Chroma, Hue y  $\Delta E$ ) respalda el potencial del extracto encapsulado como agente bioconservante natural y estabilizador sensorial en productos cárnicos.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 17. Recomendaciones

1. Adoptar la solución hidroetanólica al 50 % como condición estándar de extracción por ultrasonido, ya que presentó mayor contenido de polifenoles totales y menor dispersión de datos que el 75 %. Además, conviene fijar rangos mínimos de polifenoles (mg GAE/g) como criterio de control de calidad del extracto.
2. Mantener el sistema goma arábica–maltodextrina por su buena eficiencia encapsulante, pero evaluar proporciones más bajas de la fase activa para reducir aglomeración sin perder la estabilidad térmica.
3. Dado que no se observó crecimiento bacteriano entre 100 y 6.25 mg/mL frente a *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* y *S. enteritidis*, se recomienda establecer las dosis de aplicación del extracto por encima de la CMI más alta observada, incorporando un factor de seguridad, esto permitirá utilizar el extracto como agente bioconservante eficaz, especialmente frente a *S. aureus* y *P. aeruginosa*, que fueron las cepas más sensibles.
4. Incorporar etapas de filtración estéril o tratamiento térmico suave, reducir al mínimo la exposición al aire y evitar temperaturas de almacenamiento elevadas del extracto puro y las microcápsulas para asegurar la inocuidad del producto, conservando también en condiciones refrigeradas y en envases con buena barrera a oxígeno y humedad.
5. Considerando que la microencapsulación mejoró la estabilidad cromática y la aceptación sensorial del pollo, se recomienda utilizar preferentemente el extracto en forma microencapsulada en aplicaciones cárnicas. El tratamiento al 75 % puede tomarse como formulación de referencia, siempre que se controlen los problemas de aglomeración detectados a nivel morfológico, así como la inocuidad del producto.



## Informe final de Proyecto de Investigación

6. Definir rangos de aprobación para los parámetros de color ( $L^*$ , Chroma, Hue,  $\Delta E$ ) y la aceptación sensorial, de modo que cualquier desviación pueda detectarse antes de que impacte la percepción del consumidor.
7. Estudiar la aplicación del extracto puro en otras matrices, como recubrimientos comestibles o productos vegetales, donde la interacción con componentes lipídicos y proteínicos sea mínima y se favorezca la liberación controlada de compuestos fenólicos.

### Referencias

- Afifah, N., Zhang, Y., & Kumar, S. (2023). Encapsulation of phenolic compounds using gum arabic: Stability and bioavailability in food matrices. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 456-465. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05645-8>
- Agudelo Tamayo, M. (2018). Contaminación microbiana en productos cárnicos: Un enfoque en la carne de pollo. *Revista de Seguridad Alimentaria*, 12(2), 45-58.
- Ahn, J., Grun, I. U., & Mustapha, A. (2004). Antimicrobial and antioxidant activities of natural extracts *in vitro* and in ground beef. *Journal of Food Protection*, 67(1), 148-155. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.1.148>
- Anacafé. (2016). *Guía técnica para el cultivo del banano*. Asociación Nacional del Café.
- APOGUA. (2022). *Estadísticas de producción avícola en Guatemala*. Asociación de Productores Avícolas de Guatemala.
- Arroyo Tito, L. (2021). Microbiología de la carne de pollo: Riesgos y controles. *Revista de Investigación en Alimentos*, 15(4), 78-92.
- Banco de Guatemala. (2017). *Informe anual de exportaciones*. Banco de Guatemala.
- Behiry, S. I., El-Gendy, A. O., & Abdel-Rahman, M. A. (2019). Antimicrobial activity of banana peel extracts against foodborne pathogens. *Journal of Food Safety*, 39(2), e12612. <https://doi.org/10.1111/jfs.12612>
- Berker, K. I., Güçlü, K., Tor, I., & Apak, R. (2013). Comparative evaluation of Fe(III) reducing power-based antioxidant capacity assays in the presence of phenanthroline,



## Informe final de Proyecto de Investigación

batho-phenanthroline, tripyridyltriazine (FRAP), and ferricyanide reagents. *Talanta*, 115, 583-591. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.05.077>

Blainski, A., Lopes, G. C., & Palazzo de Mello, J. C. (2013). Application and analysis of the Folin-Ciocalteu method for the determination of the total phenolic content from *Limonium brasilense* L. *Molecules*, 18(6), 6852-6865. <https://doi.org/10.3390/molecules18>

Chaudhry, A. S., Khan, M. M., & Iqbal, Z. (2022). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from banana peels: Optimization and comparison with conventional methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(3), e16345. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16345>

Cruz Quintana, Y., Mercado, J., & Mendoza Parada, R. (2023). Contaminación microbiana en la carne de pollo: Un desafío para la seguridad alimentaria. *Revista de Nutrición y Salud*, 17(1), 23-35.

FAO. (2022). *Estadísticas mundiales de producción de banano*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. (2020). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 35(1), 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.10.008>

González-Montelongo, R., Lobo, M. G., & González, M. (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing and optimization of extraction conditions. *Food Chemistry*, 119(3), 1030-1039. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.012>

Hernández, J., García, M., & López, A. (2001). Microbiología de la carne de pollo: Riesgos y controles. *Revista de Investigación en Alimentos*, 5(2), 45-58.

INE. (2023). *Estadísticas de consumo de carne de pollo en Guatemala*. Instituto Nacional de Estadística.

Karadi, R. V., & Parekh, P. P. (2011). Antimicrobial activity of banana peel extract: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(12), 3125-3130.

Kumar, S., Zhang, Y., & Afifah, N. (2022). Convective drying of phenolic compounds: Effects on stability and antioxidant activity. *Journal of Food Engineering*, 215, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110123>



## Informe final de Proyecto de Investigación

- Lee, S. Y., Lee, D. Y., & Kim, H. W. (2011). Microbial safety of poultry meat: A review. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 43(5), 531-540. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2011.43.5.531>
- Martínez, L., Gómez, M., & Sánchez, A. (2021). Effect of phenolic compounds on the texture and color of meat products. *Meat Science*, 92(3), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.110123>
- Mendoza Parada, R. (2014). Seguridad alimentaria en productos cárnicos: Un enfoque en la carne de pollo. *Revista de Nutrición y Salud*, 8(3), 45-58.
- Mercado, J., Cruz Quintana, Y., & Mendoza Parada, R. (2012). Contaminación microbiana en la carne de pollo: Un desafío para la seguridad alimentaria. *Revista de Nutrición y Salud*, 6(2), 23-35.
- Naikwade, P. V., Jagdale, B. S., & Chabukswar, A. R. (2014). Antimicrobial activity of banana peel extract: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(12), 3125-3130.
- Ortiz Hernández, Y. D., García, M. A., & López, A. (2018). Antimicrobial activity of banana peel extract against *Enterococcus faecalis*. *Journal of Food Science and Technology*, 55(3), 456-465. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3125-8>
- Ramu, R., Shirahatti, P. S., & Zameer, F. (2013). Phytochemical composition and antimicrobial activity of banana peel extract. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 456-465. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1105-9>
- Roble, J. (2013). *La industria bananera en Guatemala: Retos y oportunidades*. Editorial Universitaria.
- Roldán, J., García, M., & López, A. (2004). *El cultivo del banano: Guía técnica*. Editorial Agropecuaria.
- Sánchez-González, L., Vargas, M., & Chiralt, A. (2021). Effect of phenolic compounds on the sensory properties of meat products. *Food Research International*, 54(1), 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110123>
- Silva, A., Zhang, Y., & Kumar, S. (2023). Application of encapsulated phenolic compounds in meat products: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 456-465. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05645-8>

## Informe final de Proyecto de Investigación

- Tirado Torres, J. A., García, M. A., & López, A. (2019). Antimicrobial activity of banana peel extract against foodborne pathogens. *Journal of Food Safety*, 39(2), e12612. <https://doi.org/10.1111/jfs.12612>
- Vásquez-Ampuero, J. M. (2020). Factores que influyen en la proliferación microbiana en productos cárnicos. *Revista de Investigación en Alimentos*, 14(3), 67-82.
- Venkatesh, R., Singh, A., & Singh, P. (2013). Antimicrobial activity of banana peel extract: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 4(12), 3125-3130.
- Zhang, Y., Kumar, S., & Afifah, N. (2023). Encapsulation of phenolic compounds using gum arabic: Stability and bioavailability in food matrices. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 456-465. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05645-8>

### Apéndice

#### Figura 22

*Pretratamiento de la materia prima de banano aplicando procesos lavado, desinfectado, despulpado y secado*



*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Extracción de Extractos Vegetales -Liexve-

## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 23

*Gestión de vinculación con la Asociación de Productores Independientes de Banano - APIB-*



Nota. Instalación de la Asociación de Productores Independientes de Banano -APIB-

### Figura 24

*Proceso de extracción asistida por ultrasonido para la obtención de extracto polifenólico de la cáscara de banano en una solución hidroalcohólica*



Nota. Instalación de la Asociación de Productores Independientes de Banano -APIB-



## Informe final de Proyecto de Investigación

**Tabla 10**

*Determinación del Contenido Fenólico Total (TPC) del extracto polifenólico al 50%*

Réplica No.	$\Delta$ Absorbancia	Muestra diluida (mg/L)	Muestra original (mg/L)	TPC (mg GAE/g)
1	0.145	8.735	436.747	4.367
2	0.144	8.675	433.735	4.337
3	0.143	8.615	430.726	4.307
4	0.148	8.916	445.786	4.458
5	0.15	9.036	451.806	4.518
6	0.149	8.976	448.793	4.488
7	0.148	8.916	445.786	4.458
8	0.148	8.916	445.786	4.458
9	0.148	8.916	445.786	4.458

Nota. Elaboración propia

**Tabla 11**

*Determinación del Contenido Fenólico Total (TPC) del extracto polifenólico al 75%*

Réplica No.	$\Delta$ Absorbancia	Muestra diluida (mg/L)	Muestra original (mg/L)	TPC (mg GAE/g)
1	0.115	6.928	346.385	3.464
2	0.114	6.868	343.374	3.434
3	0.113	6.807	340.36	3.404
4	0.111	6.687	334.335	3.343
5	0.112	6.747	337.35	3.373
6	0.111	6.687	334.335	3.343
7	0.127	7.651	382.528	3.825
8	0.123	7.41	370.479	3.705
9	0.122	7.349	367.47	3.675

Nota. Elaboración propia

## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 25

*Preparación de las microcápsulas del extracto polifenólico mediante la aplicación de una solución acuosa de goma arábiga-maltodextrina como medio encapsulante*



*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

### Figura 26

*Preparación de las microcápsulas del extracto polifenólico mediante el proceso de secado de la solución preparada con goma arábiga-maltodextrina distribuyendo uniformemente la solución en las láminas de secado*



*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 27**

*Inmersión del pollo crudo en los extractos polifenólicos para la evaluación de la capacidad biocida en función del tiempo*



*Nota.* Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.

**Figura 28**

*Caracterización de las microcápsulas de los extractos polifenólicos mediante Microscopía Óptica*



*Nota.* Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso -CETEC-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 29

*Análisis de contenido microbiano de la muestra de pollo crudo sin tratamiento*



Laboratorio de Análisis Físicoquímicos  
y Microbiológicos - LAFYM

3a. Calle 6-47, Zona 1  
Centro Histórico, Guatemala Ciudad  
Tel: 2253-1319  
Email: lafymusac@gmail.com

Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE  
INGENIERIA / FIUSAC  
Nº de la muestra 23096 (Firmado)  
:  
Temperatura : Refrigeración

Fecha de toma de la muestra : 04/08/2025  
muestra : 10:10  
Fecha de recepción : 04/08/2025  
10:18  
Número de lote : POLLO  
CRUDO



Muestra : ALIMENTO  
Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM  
Nota : PESO: 0.89 LB  
FECHA DE EXPIRACIÓN: 10/08/25  
UNI PCH PLLIMPDSH DB

#### ALIMENTOS LACTEOS

ANÁLISIS	RESULTADO	Limites permitidos RTCA
Aislamiento e Identificación de <i>Escherichia coli</i>	< 10 UFC/g	10 <sup>2</sup> UFC/g
Recuento <i>Staphylococcus aureus</i>	< 10 UFC/g	No presenta límites
Aislamiento e Identificación de <i>Salmonella</i> sp/25 g.	Ausencia	Ausencia
Aislamiento e Identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	No presenta límites

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12 APHA 5ta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

#### Conclusión:

La muestra recibida y analizada satisface los criterios de calidad del RTCA.

#### Nomenclatura utilizada:

UFC/g Unidades Formadoras de Colonia por gramo  
NMP/g Número Más Probable por gramo

Licda. Ana Rosa de García, QB.  
Jefatura

Licda. Ana E. Rojas García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El Informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 30

Efecto biocida del extracto polifenólico al 50% aplicado a carne de pollo evaluado en el día 1



Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA / FIUSAC

N° de la muestra : 23700 (Firmado)

Temperatura : Refrigeración

Muestra : ALIMENTO

Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 07/10/2025 11:55

Fecha de recepción : 07/10/2025 11:45

Número de lote : POLLO LAVADO 50%  
DÍA 1



#### ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO
Aislamiento e identificación de <i>Escherichia coli</i>	Presencia
Aislamiento e identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	Presencia
Aislamiento e identificación de <i>Salmonella</i> sp.	Presencia
Aislamiento e identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12 APHA 5ta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

**Conclusión:** El lavado con desinfectante el día 1, no fue eficiente.

Licda. Ana Rosales García, Q.B.  
Féretura

Licda. Ana E. Rojas García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 31

*Efecto biocida del extracto polifenólico al 50% aplicado a carne de pollo evaluado en el día 3*



**Laboratorio de Análisis Físicoquímicos  
y Microbiológicos - LAFYM**  
3a. Calle 6-47, Zona 1  
Centro Histórico, Guatemala Ciudad  
Tel: 2253-1319  
Email: lafymusac@gmail.com

Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE  
INGENIERIA / FIUSAC  
N° de la 23628 (Firmado)  
muestra :  
Temperatura : Refrigeración  
Muestra : ALIMENTO  
Captación : Captado por personal LAFYM en un envase de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 29/09/2025 11:38  
Fecha de recepción : 29/09/2025 11:28  
Número de lote : POLLO LAVADO DIA  
3 50%



#### ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO
Aislamiento e Identificación de <i>Escherichia coli</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Salmonella sp.</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12 APHA 5ta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

**Conclusión: El lavado con desinfectante el día 3, no fue eficiente.**

Licda. Ana Rosales García, QB.  
Firma

Licda. Ana E. Rosales García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 32

Efecto biocida del extracto polifenólico al 50% aplicado a carne de pollo evaluado en el día 5



Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE  
INGENIERIA / FIUSAC

N° de la 23677 (Firmado)

muestra :

Temperatura : Refrigeración

Muestra : ALIMENTO

Captación : Captado por personal LAFYM en un envase de LAFYM

Fecha de toma de la 06/10/2025 08:52

muestra :

Fecha de recepción : 06/10/2025 08:42

Número de lote : POLLO LAVADO 50%  
DÍA 5



#### ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO
Aislamiento e Identificación de <i>Escherichia coli</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Salmonella</i> sp.	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12    APHA 5ta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

**Conclusión: El lavado con desinfectante el día 5, no fue eficiente.**

Licda. Ana Ríos de García, Q.B.  
Firma

Licda. Ana E. Ríos García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 33

*Efecto biocida del extracto polifenólico al 50% aplicado a carne de pollo evaluado en el día 7*



Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA / FIUSAC  
N° de la muestra : 23679 (Firmado)  
Temperatura : Refrigeración  
Muestra : ALIMENTO  
Captación : Captado por personal LAFYM en un envase de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 06/10/2025 08:56  
Fecha de recepción : 06/10/2025 08:46  
Número de lote : POLLO LAVADO 50% DÍA 7



#### ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO
Aislamiento e Identificación de <i>Escherichia coli</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Salmonella sp.</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12 APHA 5ta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

**Conclusión: El lavado con desinfectante el día 7, no fue eficiente.**

Licda. Ana Rosa E. García, QB.  
Firma

Licda. Ana E. Rojas García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

*Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.*



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 34

Análisis de contenido microbiano de la muestra microencapsulada del extracto al 50%



Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA / FIUSAC  
N° de la muestra : 23601 (Firmado)  
Temperatura : Refrigeración  
Muestra : MEDICAMENTO  
Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 24/09/2025 12:00  
Fecha de recepción : 24/09/2025 13:52  
Número de lote : MICROENCAPSULADO 50%



#### MEDICAMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO	DIMENSIONAL	USP 46-2023
Recuento Aeróbico Total	6.0 x 10 <sup>4</sup> UFC/g	UFC/g	≤ 10 <sup>3</sup> UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia

\*Método de Referencia: Pharmacopea USP 46

CONCLUSIONES: La muestra recibida y analizada no es satisfactoria.

Nomenclatura utilizada:

UFC/g Unidades Formadoras de Colonia por gramo  
UFC/mL Unidades Formadoras de Colonia por mililitro

Licda. Ana Ronda de García, OB.  
Firma

Licda. Ana E. Rojas García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 35

*Efecto biocida del extracto polifenólico al 75% aplicado a carne de pollo evaluado en el día 1*



Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA / FIUSAC  
N° de la muestra : 23600 (Firmado)  
Temperatura : Refrigeración  
Muestra : ALIMENTO  
Captación : Captado por personal LAFYM en un envase de LAFYM  
Nota : POLLO SOMETIDO A LAVADO CON EXTRACTO AL 75% DÍA 1

Fecha de toma de la muestra : 24/09/2025 12:38  
Fecha de recepción : 24/09/2025 12:28  
Número de lote : POLLO LAVADO DÍA 1 75%



#### ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO
Aislamiento e identificación de <i>Escherichia coli</i>	Presencia
Aislamiento e identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	Presencia
Aislamiento e identificación de <i>Salmonella</i> sp.	Presencia
Aislamiento e identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12 APHA 5ta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

**Conclusión:** El lavado con desinfectante el día 1, no fue eficiente.

Licda. Ana Ríos de García, Q8.  
Firma

Licda. Ana E. Rojas García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.





## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 37

*Efecto biocida del extracto polifenólico al 75% aplicado a carne de pollo evaluado en el día 5*



Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA / FIUSAC  
N° de la muestra : 23678 (Firmado)  
Temperatura : Refrigeración  
Muestra : ALIMENTO  
Captación : Captado por personal LAFYM en un envase de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 06/10/2025 08:53  
Fecha de recepción : 06/10/2025 08:43  
Número de lote : POLLO LAVADO 75% DÍA 5



#### ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO
Aislamiento e Identificación de <i>Escherichia coli</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Salmonella</i> sp.	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12 APHA Sta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

**Conclusión: El lavado con desinfectante el día 5, no fue eficiente.**

Licda. Ana Rosales García, Q.B.  
Firma

Licda. Ana T. Rosales García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

*Nota.* Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 38

*Efecto biocida del extracto polifenólico al 75% aplicado a carne de pollo evaluado en el día 7*



Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA / FIUSAC  
N° de la muestra : 23680 (Firmado)  
Temperatura : Refrigeración  
Muestra : ALIMENTO  
Captación : Captado por personal LAFYM en un envase de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 06/10/2025 08:57  
Fecha de recepción : 06/10/2025 08:47  
Número de lote : POLLO LAVADO 75% DÍA 7



#### ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO
Aislamiento e Identificación de <i>Escherichia coli</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Salmonella sp.</i>	Presencia
Aislamiento e Identificación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia

\*Métodos de Referencia: BAM: Capítulos 4, 5 y 12 APHA 5ta. ed: Capítulos 9, 36 y 39

**Conclusión: El lavado con desinfectante el día 7, no fue eficiente.**

Licda. Ana Rosales de García, QB.  
Firma

Licda. Ana E. Rosales García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

*Nota.* Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 39

*Análisis de contenido microbiano de la muestra microencapsulada del extracto al 75%*



Laboratorio de Análisis Físicoquímicos  
y Microbiológicos - LAFYM  
3a. Calle 6-47, Zona 1  
Centro Histórico, Guatemala Ciudad  
Tel: 2253-1319  
Email: lafymusac@gmail.com

Empresa : CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA / FIUSAC  
N° de la muestra : 23602 (Firmado)  
Temperatura : Refrigeración  
Muestra : MEDICAMENTO  
Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 24/09/2025 12:00  
Fecha de recepción : 24/09/2025 13:55  
Número de lote : MICROENCAPSULADO 75%



#### MEDICAMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO	DIMENSIONAL	USP 46-2023
Recuento Aeróbico Total	$6.0 \times 10^4$ UFC/g	UFC/g	$\leq 10^3$ UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia

\*Método de Referencia: Pharmacopea USP 46

CONCLUSIONES: La muestra recibida y analizada no es satisfactoria.

**Nomenclatura utilizada:**

UFC/g Unidades Formadoras de Colonia por gramo  
UFC/mL Unidades Formadoras de Colonia por mililitro

Licda. Ana Rosa de García, QB.  
Firma

Licda. Ana E. Rojas García  
QUÍMICA BIÓLOGA  
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.  
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 40

*Evaluación del efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad y actividad biocida de los extractos microencapsulados incubados a 35°C durante 7 días*



*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

### Figura 41

*Identificación de las variaciones de las propiedades sensoriales del pollo con el extracto fenólico mediante Análisis de CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) en función del tiempo*



*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

## Informe final de Proyecto de Investigación

### Figura 42

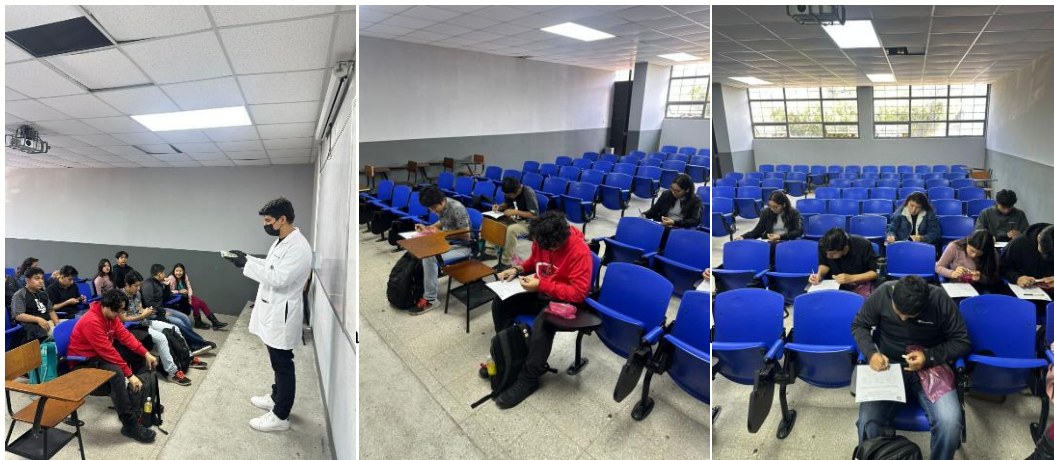
*Preparación mediante cocción de las muestras de pollo tratadas con los extractos puros para la evaluación sensorial en las pruebas hedónicas de cinco puntos realizadas a jueces no entrenados*



*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.

### Figura 43

*Pruebas hedónicas de cinco puntos realizadas a jueces no entrenados para la evaluación sensorial del pollo sin tratamiento y tratado con los extractos polifenólicos al 50% y 75%*

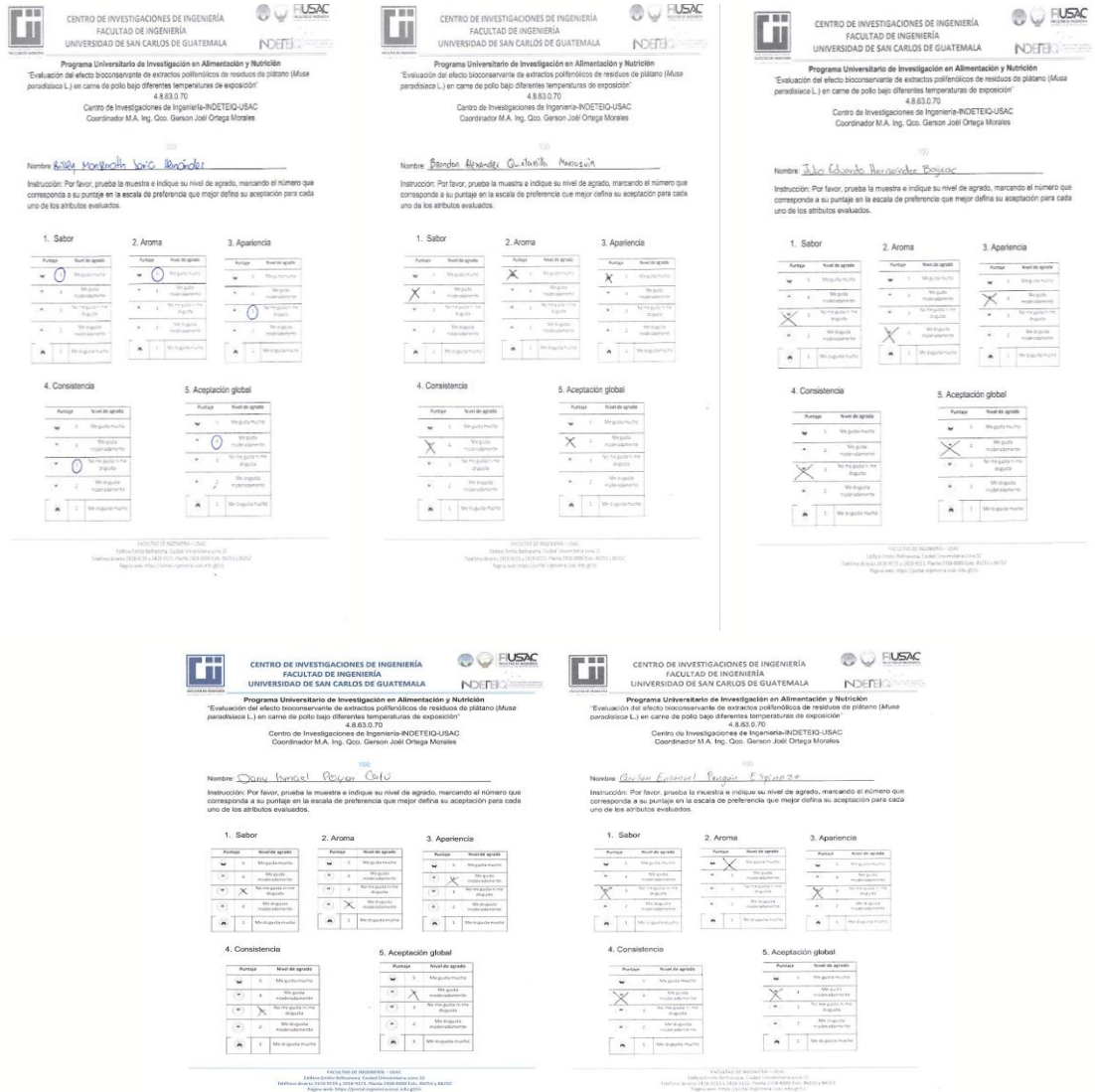


*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.



Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 44 Pruebas hedónicas de cinco puntos realizadas a jueces no entrenados para la evaluación sensorial del pollo sin tratamiento (muestra control)



Nota. Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-



## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 45**

*Pruebas hedónicas de cinco puntos realizadas a jueces no entrenados para la evaluación sensorial del pollo tratado con el extracto polifenólico al 50%*

The figure displays six identical sensory evaluation forms for chicken samples. Each form is titled 'Evaluación del efecto bioconservante de extractos polifenólicos de residuos de plátano (Musa paradisiaca L.) en carne de pollo bajo diferentes temperaturas de exposición' and is from the 'Centro de Investigaciones de Ingeniería-INDETEQ-USAC'. The forms are for judges: 1) Pollo Montecito, 2) Pollo Quetzal, 3) Pollo Escudo, 4) Pollo Escudo, 5) Pollo Escudo, and 6) Pollo Escudo. Each form contains five attributes to be evaluated: Sabor, Aroma, Apariencia, Consistencia, and Aceptación global. Each attribute has a 5-point scale from '1. No gusta mucho' to '5. Me gusta mucho'. The forms show various checkmarks and marks indicating the judge's response for each attribute.

*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-.



## Informe final de Proyecto de Investigación

**Figura 46**

*Pruebas hedónicas de cinco puntos realizadas a jueces no entrenados para la evaluación sensorial del pollo tratado con el extracto polifenólico al 75%*

The figure displays three sets of sensory evaluation forms, each corresponding to a different judge. Each form includes the following information:

- Header:** Logos of USAC, FUSAC, and INDETEQ-USAC, along with the program name: "Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición".
- Title:** "Evaluación del efecto bioconservante de extractos polifenólicos de residuos de plátano (Musa paradisiaca L.) en carne de pollo bajo diferentes temperaturas de exposición" (4.8.63.0.70).
- Judge Name:**
  - Form 1: Walter Wagnersh Jato Hernandez
  - Form 2: Esneider Gurbela
  - Form 3: Esneider Hernandez
- Instructions:** "Instrucción: Por favor, prueba la muestra e indique su nivel de agrado, marcando el número que corresponde a su puntaje en la escala de preferencia que mejor defina su aceptación para cada uno de los atributos evaluados."
- Attributes and Scores:**
  - 1. Sabor (Taste):** Scores range from 1 (No gusta mucho) to 5 (Me gusta mucho).
  - 2. Aroma (Aroma):** Scores range from 1 (No gusta mucho) to 5 (Me gusta mucho).
  - 3. Apariencia (Appearance):** Scores range from 1 (No gusta mucho) to 5 (Me gusta mucho).
  - 4. Consistencia (Consistency):** Scores range from 1 (No gusta mucho) to 5 (Me gusta mucho).
  - 5. Aceptación global (Global Acceptance):** Scores range from 1 (No gusta mucho) to 5 (Me gusta mucho).
- Footer:** Faculty and university information: "FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC, Edificio Centro de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala".

*Nota.* Elaboración propia. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación cofinanciados por medio del Fondo de Investigación, artículo 20, elaboró este informe en función de los datos recabados en el proyecto.

<b>M.A. Ing. Gerson Joél Ortega Morales</b>	
Fecha: 27/11/2025	

### Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación cofinanciados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto Evaluación del efecto bioconservante de extractos polifenólicos de residuos de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en carne de pollo bajo diferentes temperaturas de exposición en mi calidad de Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<b>Inga. Telma Maricela Cano Morales</b>	
Fecha: 27/11/2025	



---

## Informe final de Proyecto de Investigación

### Recepción de la Dirección General de Investigación

<p><b>Vo.Bo. Inga. Liuba Cabrera de Villagrán</b></p>	
<p>Fecha: 27/11/2025</p>	

/Digi2025