



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación de la capacidad inhibidora del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en la conservación de la carne de pollo (*Gallus gallus domesticus*)

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Steven Daniel Jácome Vizuite

Tutor: Dr. Orestes Darío López Hernández

Ambato – Ecuador

Enero – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Orestes Darío López Hernández

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, opción Proyecto de Investigación el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 12 de Diciembre de 2025.

Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Steven Daniel Jácome Vizuite, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Steven Daniel Jácome Vizuite

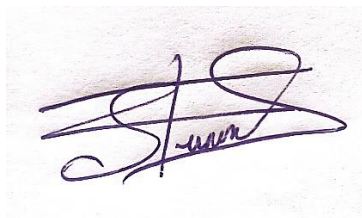
0503148363

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Steven Daniel Jácome Vizuete

0503148363

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Mg. Daniel Alberto Armas Real
1803542214

Mg. Edwin Álvaro Solórzano Saltos
0201710696

Ambato, 05 de Enero de 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios que ha estado en los momentos difíciles y ha sido mi refugio y gran compañía cada día.

A mis padres que con su paciencia han sabido aconsejarme de la mejor manera.

A mis hermanos que me han acompañado en todo este trayecto universitario, demostrando esa alegría que nos caracteriza.

Steven Daniel Jácome Vizúete

AGRADECIMIENTO

Me siento profundamente agradecido con Dios por permitirme vivir esta experiencia universitaria y aprender además de valiosos conocimientos, valores y principios que permiten hacer de una vida amena, solidaria y saludable.

A mis padres, palabras sobran para agradecer todo lo que han hecho por mí.

A mis queridos hermanos que son parte importante en mi vida, por siempre tener una sonrisa incluso en los momentos difíciles.

Al Doctor Orestes López e Ingeniera Mónica Silva por la paciencia y la guía en el desarrollo de la investigación con excelencia y ética.

Finalmente, a mis amigos que hicieron de la etapa universitaria la travesía más divertida e inolvidable que yo haya podido tener.

Steven Daniel Jácome Vizúete

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1. Conservación de alimentos	3
1.1.2. Carne de pollo	4
1.1.3. Patógenos en la carne de pollo	5
1.1.4. Staphylococcus aureus	5
1.1.5. Aerobios Mesófilos	6
1.1.6. Aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i> L)	6

1.1.7.	Mecanismo de acción antimicrobiana.....	7
1.1.8.	Microencapsulación de compuestos bioactivos	8
1.1.9.	Microencapsulación basada en emulsiones.....	8
1.1.10.	Material polimérico microencapsulante	10
1.1.11.	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	11
1.1.12.	Aplicación del aceite de tomillo microencapsulado en carne de pollo	11
1.1.13.	Evaluación de vida útil y capacidad inhibidora	11
1.2.	Objetivos	12
1.2.1.	Objetivo general	12
1.2.2.	Objetivos específicos	12
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA		13
2.1.	Materiales.....	13
2.2.	Métodos.....	14
2.3.	Verificar la eficiencia de microencapsulación del aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) mediante espectroscopia por transformada de Fourier.	14
2.3.1.	Obtención del microencapsulado de aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) mediante Spray Drying.....	14
2.4.	Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) microencapsulado en la reducción de la carga microbiana (Aerobios mesófilos y <i>Staphylococcus aureus</i>) de la carne de pollo.	15
2.4.1.	Preparación de materia prima.....	15
2.4.2.	Análisis Microbiológico (Aerobios mesófilos y <i>Staphylococcus aureus</i>)	16
2.5.	Determinar el tiempo de vida útil del mejor tratamiento aplicado a la carne de pollo a la temperatura de 4 °C (<i>Gallus gallus domesticu</i>)	17
2.5.1.	Diseño Completamente Aleatorizado (DCA)	17

2.5.2.	Cálculo de la eficiencia germicida (Capacidad de inhibición).....	17
2.5.3.	Determinación de la vida útil	18
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		19
3.1.	Verificar la eficiencia de microencapsulación del aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) mediante espectroscopia por transformada de Fourier.....	19
3.1.1.	Microencapsulación del aceite esencial de tomillo mediante secado por aspersión. 19	
3.1.2.	Análisis de los espectros infrarrojos (FTIR)	20
3.2.	Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) microencapsulado en la reducción de la carga microbiana (Aerobios mesófilos y <i>Staphylococcus aureus</i>) de la carne de pollo.	23
3.3.	Determinar el tiempo de vida útil del mejor tratamiento aplicado a la carne de pollo a la temperatura de 4 °C (<i>Gallus gallus domesticus</i>)	28
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES		34
MATERIALES DE REFERENCIA.....		35
ANEXOS		43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición y características de la carne de pollo	5
Tabla 2. Compuestos bioactivos del aceite esencial de tomillo <i>Thymus vulgaris</i> y sus propiedades funcionales	7
Tabla 3. Materiales y equipos utilizados.....	13
Tabla 4. Preparación de soluciones de los tratamientos del aceite esencial de tomillo microencapsulado.....	16
Tabla 5. Variables experimentales	17
Tabla 6. Efecto inhibidor del aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo.....	23
Tabla 7. Eficiencia germicida (EG) (Aerobios mesófilos) del aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo.....	25
Tabla 8. Efecto inhibidor del aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo.....	26
Tabla 9. Eficiencia germicida (EG) (<i>Staphylococcus aureus</i>) del aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo.....	27
Tabla 10. Evaluación del recuento microbiológico en carne de pollo aplicado el mejor tratamiento.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pechuga de pollo.....	4
Figura 2. Tipos de emulsiones simples. A) Aceite en agua. B) Agua en aceite.	9
Figura 3. Microencapsulado de aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>).	19
Figura 4. Espectros de absorción infrarroja de las muestras utilizadas para la microencapsulación. A) Aceite esencial de tomillo; B) Mezcla de polímeros encapsulantes (maltodextrina + goma arábica); C) Microencapsulado del aceite esencial de tomillo; D) Espectros de las muestras analizadas superpuestas (A; B; C).....	22
Figura 5. Efecto inhibidor en aerobios mesófilos del Microencapsulado AET.	24
Figura 6. Efecto inhibidor en <i>S. Aureus</i> del Microencapsulado AET.....	26
Figura 7. Eficiencia germicida para aerobios mesófilos en tratamientos B.T1–B.T9 (cajas: IQR; línea: mediana; cruz: media). Letras sobre las cajas indican grupos homogéneos según ANOVA de un factor seguido de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$). Tratamientos que comparten letra no difieren significativamente.....	29
Figura 8. Distribución del recuento microbiano (Aerobios mesófilos) en carne de pollo, del tratamiento 9 (T9) y control.	31
Figura 9. Distribución del recuento microbiano (<i>Staphylococcus aureus</i>) en carne de pollo, del tratamiento 9 (T9) y control.	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza (ANOVA) para el recuento de aerobios mesófilos en muestras de carne de pollo sometidas a nueve tratamientos con AET micro - encapsulado.	43
Anexo 2. Pruebas de Múltiple Rangos.....	43
Anexo 3. Análisis de varianza (ANOVA) para el recuento de <i>Staphylococcus Aureus</i> en muestras de carne de pollo sometidas a nueve tratamientos con AET microencapsulado.	44
Anexo 4. Pruebas de Múltiple Rangos.....	44
Anexo 5. Comparación estadística de los tratamientos aplicados mediante ANOVA sobre el crecimiento de aerobios mesófilos.	45
Anexo 6. Pruebas de Múltiple Rangos (Aerobios mesófilos: Comparación T9 - Tratamiento control).....	45
Anexo 7. Comparación estadística de los tratamientos aplicados mediante ANOVA sobre el crecimiento de <i>Staphylococcus aureus</i>	48
Anexo 8. Pruebas de Múltiple Rangos (<i>Staphylococcus aureus</i> : Comparación T9 - Tratamiento control).....	48
Anexo 9. Microencapsulación del aceite esencial de tomillo y almacenaje.....	50
Anexo 10. Análisis microbiológicos de aerobios mesófilos y <i>Staphylococcus aureus</i> ...51	
Anexo 11. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier.....	51
Anexo 12. Análisis de la vida útil.....	51

RESUMEN EJECUTIVO

La conservación de la carne de pollo (*Gallus gallus domesticus*) en la industria alimentaria ecuatoriana representa un reto permanente por su alta susceptibilidad al deterioro microbiano y, dado su alto consumo, es importante encontrar formas de extender la vida útil. Por lo tanto, al aplicar la técnica de microencapsulación se busca potenciar el efecto inhibidor del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*). La metodología empleada inicia con la microencapsulación usando proporciones de goma arábica y maltodextrina. Para verificar la correcta microencapsulación se realizaron espectroscopias infrarrojas por transformada de Fourier (FTIR) en todas las muestras. Se utilizó el microencapsulado como agente inhibidor, disolviéndolo en soluciones a diferentes concentraciones, en las cuales se sumergió la carne de pollo durante tres tiempos distintos, alcanzando un total de 10 tratamientos, incluido el control. Se usaron herramientas estadísticas para la comparación de los datos (Statgraphics 19) y se concluyó que el tratamiento 9 presenta el mayor porcentaje de eficiencia germicida; este se puso a prueba frente a un tratamiento control para determinar la vida útil a cero grados centígrados, dando como resultado 3 días para el tratamiento control y 10–11 días para las muestras de carne de pollo con el mejor tratamiento aplicado.

Palabras clave: antimicrobiano; microbiología; inocuidad; aceites esenciales; disolución.

ABSTRACT

The preservation of chicken meat (*Gallus gallus domesticus*) in the Ecuadorian food industry presents a constant challenge due to its high susceptibility to microbial spoilage, and given its high consumption, it is important to find ways to extend its shelf life. Therefore, by applying the microencapsulation technique, the aim is to enhance the inhibitory effect of thyme essential oil (*Thymus vulgaris*). The methodology employed begins with microencapsulation using proportions of gum arabic and maltodextrin. To verify proper microencapsulation, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was performed on all samples. The microencapsulated agent was used as an inhibitor, dissolved in solutions at different concentrations, in which the chicken meat was immersed for three different durations, resulting in a total of 10 treatments, including the control. Statistical tools were used to compare the data (Statgraphics 19), and it was concluded that treatment 9 exhibited the highest percentage of germicidal efficiency. This was tested against a control treatment to determine the shelf life at zero degrees Celsius, resulting in 3 days for the control treatment and 10–11 days for the chicken meat samples with the best treatment applied.

Keywords: Antimicrobial, microbiology, safety, essential oils, dissolution.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Chugchilán (2025), realizó una evaluación de la capacidad antimicrobiana del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en carne de pollo la cual consistió en sumergir la carne de pollo en tiempos de 2 , 3 y 5 minutos dentro de soluciones con diferentes concentraciones 0,02%, 0,04% y 0,06%, resultando en el análisis de 10 tratamientos incluido el control, sobre aerobios mesófilos, se concluyó estadísticamente que el tratamiento a la concentración de 0,06% durante 5 minutos por la técnica de inmersión es segura para lograr extender la vida útil de la carne de pollo en refrigeración (4°C).

Escobar (2024), desarrolló un estudio en el cual evalúa a los aceites esenciales tanto de perejil como de tomillo a manera de conservantes en hamburguesas de carne de pollo. Se utilizó concentraciones del aceite de tomillo en conjunto con el aceite esencial de perejil en las siguientes proporciones T1 (1 % AET y 0,40 % AEP), T2 (0,30 % AET y 0,85 % AEP), T3 (0,60 % AET y 0,20 % AEP) y T4 (0 % y 0%). Para lo cual se realizó análisis microbiológico durante 49 horas de aplicación, al tratamiento o con menor carga microbiana se lo sometió a análisis fisicoquímicos y microbiológicos en comparación con una muestra testigo en periodos de 5, 15 y 30 días. Los resultados arrojaron un mayor efecto antimicrobiano en el tratamiento 1 (1 % AET y 0,40 % AEP), por otra parte, la aceptabilidad dada por 75 panelistas concluyó que el tratamiento 3 (0,60 % AET y 0,20 % AEP) posee mayor nivel de aceptabilidad.

Montero-Recalde et al., (2018) en su trabajo investigativo referente al análisis de la eficacia del aceite esencial de tomillo sobre una cepa de *Staphylococcus aureus*, las concentraciones que se utilizaron variaron entre 1, 5, 10, 30, 50, 70 y 90%. La concentración mínima inhibitoria que se logra determinar por microdilución en un caldo estandarizado al 0.5 en la escala de McFarland en espectrofotómetro, arrojando como resultado que el tubo al 1% de aceite esencial de tomillo no presenta crecimiento de

colonias comparando con los demás tratamientos no presenta diferencias significativas al tratamiento de 1% con halos de inhibición de 12,2 mm mientras que a concentraciones de 5 y 10% corresponde a halos de 15,35 y 15,9 mm.

En el Ecuador además se han llevado a cabo estudios que evidencian la presencia de varios patógenos presentes en la carne de pollo, que superan el nivel de aceptación normado en la NTE INEN 1338:2012 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012). En el estudio realizado por Mendez & Pesántez (2023), en la ciudad de Cuenca en el mercado 12 de abril han evidenciado el 100% de presencia de *Staphylococcus aureus* en las 32 muestras analizadas por encima de los niveles máximos, demostrando la falta de mecanismos que permitan mejorar la inocuidad y el tiempo de vida útil de forma natural y confiable como el uso de microencapsulados de aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris* L).

La microencapsulación se ha consolidado como una técnica versátil con múltiples aplicaciones en el ámbito alimentario y farmacéutico, hoy en día existen diversos estudios que destacan su capacidad para mejorar la funcionalidad de compuestos bioactivos, al cubrirlos en una matriz protectora que limita su exposición a las condiciones del entorno. Esta barrera reduce procesos como la volatilización y la oxidación, especialmente en sustancias sensibles como vitaminas liposolubles y aceites esenciales. Además, contribuye a preservar características clave como el perfil aromático y la actividad antimicrobiana. Un beneficio adicional es la posibilidad de que exista la liberación del compuesto encapsulado, ya sea en función del tiempo o bajo condiciones específicas de temperatura, pH o humedad (Rios-Aguirre et al., 2021).

Por lo tanto, la presente investigación busca justamente aplicar la técnica de microencapsulación en patógenos que reducen o afectan al tiempo de vida útil específicamente *Staphylococcus aureus*, ya que investigaciones relacionadas aplican y evalúan las capacidades inhibitorias en soluciones acuosas, en diferentes matrices alimentarias o en otros tipos de microorganismos como aerobios mesófilos, entre otros. Por ello con la aplicación del microencapsulado se busca mejorar significativamente la vida útil dado que es una técnica innovadora con relevancia científica.

1.1.1. Conservación de alimentos

La conservación como termino único hace referencia a la forma de mantener algo a lo largo del tiempo sin que sufra algún tipo de cambio. En el ámbito alimentario se refiere a la aplicación de técnicas ya sean nuevas o tradicionales, que permitan la conservación de alimentos, con la finalidad de proporcionar alimento suficiente e inocuo tanto para animales como seres humanos.

Las tecnologías que permiten la preservación de alimentos deben cumplir con el objetivo de mantener las propiedades de los alimentos lo mejor posible, como los nutrientes, textura, sabor, aroma, etc. Dado el caso en que no cumpla con ello no es posible que se considere como método de conservación de alimentos. Industrialmente las técnicas deben alinearse con la optimización y mejoramiento, aportando a la mejora de calidad de los productos, reducción de costos de producción o el incremento de la producción (Amit et al., 2017)

Para aplicar una estrategia de conservación adecuada, es indispensable conocer a fondo las características del alimento en cuestión. Esto permite seleccionar el método más eficaz según el tipo de deterioro que se desea prevenir. En este sentido Aguilar, (2012) explica que las acciones de conservación pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- La inhibición o eliminación de bacterias, con el fin de evitar la proliferación microbiana.
- La desaceleración de procesos químicos naturales como la hidrólisis o la oxidación, mediante la inactivación de enzimas.
- La protección frente a agentes externos como insectos, roedores y otros contaminantes físicos o biológicos.

Por ello, el desarrollo de técnicas que permitan preservar la carne de pollo (*Gallus gallus domesticus*) sin comprometer su calidad organoléptica negativamente y nutricional es de suma importancia, además de aportar con la mejora de la calidad del producto. Por consiguiente, el uso de compuestos antioxidantes y antimicrobianos naturales como el

aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en forma de microencapsulado es una alternativa que promete la mejora de la estabilidad e inocuidad del producto (Campolina et al., 2023).

1.1.2. Carne de pollo

La carne de pollo es de los alimentos que a nivel mundial es de los más aceptados, tiene una alta conversión alimenticia en peso y musculo haciendo que los precios sean relativamente bajos. Es un alimento rico en proteínas y bajo en grasas, debido a que la mayor parte de las grasas se encuentran en el tejido adiposo justo debajo de la piel que se pueden eliminar fácilmente, la grasa del pollo contiene alrededor del 30% de ácidos grasos saturados. Contiene vitaminas y minerales, tales como, vitaminas del complejo B y minerales como hierro, fosforo, potasio, calcio, magnesio y cobre.

La carne presenta ligeras diferencias según su color. Las carnes claras, como la pechuga, contienen menos grasa y menor concentración de mioglobina, mientras que las carnes más oscuras (muslos, piernas) poseen mayores niveles de mioglobina, riboflavina, hierro y zinc. Por otra parte, la alimentación de piensos ricos en carotenoides como el maíz, alfalfa o betacarotenos le proporcionan un color amarillo característico, a diferencia de los que tienen un color blanco notorio (Maurer, 2003).



Figura 1. Pechuga de pollo.

Tabla 1. Composición y características de la carne de pollo

Categoría	Parámetro	Contenido / Observación
Composición nutricional	Proteínas	25–30 g/100 g
		Menor en pechuga, mayor en muslo con piel
	Calorías	150–200 kcal/100 g
	Vitaminas	A
		B ₃ (niacina), B ₆ , B ₁₂
	Minerales	Fósforo, selenio, zinc, hierro
	Sodio (Na)	60–80 mg
	Potasio (K)	250–300 mg
Características Físicoquímicas	Hierro (Fe)	0.7–1.2 mg
	Actividad de agua (aw)	0.98–0.99 (favorece crecimiento microbiano)
	pH	5.8–6.2 (varía según músculo y tratamiento pre y postmortem)
	Humedad	73–76%
	Capacidad de retención de agua (CRA)	6–7% en carne cocida a 77 °C

Fuente: (Attia et al., 2016)

1.1.3. Patógenos en la carne de pollo

La carne de pollo (*Gallus gallus domesticus*) presenta condiciones ideales para el desarrollo microbiano debido a su alta actividad de agua, pH cercano a la neutralidad y abundante contenido de nutrientes. Estos factores favorecen la proliferación de microorganismos patógenos que comprometen la seguridad alimentaria y reducen la vida útil del producto. Entre los más relevantes se encuentran los aerobios mesófilos, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Campylobacter spp.* y *Staphylococcus aureus*, siendo este último el foco principal de esta investigación en conjunto con Aerobios mesófilos (Vásquez-Ampuero & Tasayco-Alcántara, 2020).

1.1.4. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus es una bacteria Gram positiva que puede contaminar la carne de pollo durante el faenado, la manipulación o el almacenamiento. Su capacidad para

producir enterotoxinas termoestables representa un riesgo significativo para la salud pública. Además, tolera condiciones adversas como pH variable y presencia de sal, lo que le permite persistir en productos cárnicos refrigerados. Evaluar su comportamiento frente a compuestos antimicrobianos naturales es clave para mejorar la inocuidad alimentaria (López et al., 2015)

De acuerdo con (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012), los productos cárnicos crudos los mismos que no han sido sometidos a ningún proceso tecnológico, el nivel de aceptación y nivel de rechazo de *Staphylococcus aureus* en ufc/g es $1,0 \times 10^3$ y $1,0 \times 10^4$ correspondientemente.

1.1.5. Aerobios Mesófilos

Los aerobios mesófilos se caracterizan por proliferar de forma eficiente a temperaturas de 20 y 37°C en presencia de oxígeno, de los que se diferencian entre ellos, bacilos, cocos, formas intermedias gran negativas, gran positivas. Existe otro grupo que pueden ser identificados por su patogenicidad o función, como fermentativos, proteolíticos, termo duros, etc. El análisis se lo lleva a cabo por razones que ayudan a determinar la inocuidad de los alimentos, la higiene y por consiguiente el valor de estos (Silva et al., 2004).

Denominado también como recuento total, muestra el cuidado higiénico de los procesos tecnológicos y presencia de una gran variedad de microorganismos incluso algunos resistentes o funcionales, siendo un indicativo de la calidad del producto y su nivel de deterioro.

1.1.6. Aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris* L)

El aceite esencial de tomillo se obtiene de las hojas, tallos y flores de *Thymus vulgaris* y contiene compuestos bioactivos como fenoles y terpenos como *timol*, *carvacrol* y *p-cimeno*. Estos componentes poseen propiedades antimicrobianas y antioxidantes que lo convierten en una alternativa natural para la conservación de alimentos. Su acción antimicrobiana se basa en la alteración de la membrana celular de los microorganismos, provocando su desestabilización y muerte. (Montero-Recalde et al., 2018)

Tabla 2. Compuestos bioactivos del aceite esencial de tomillo *Thymus vulgaris* y sus propiedades funcionales

Nº	Compuesto	Propiedades funcionales destacadas
1	Timol	Antimicrobiano, antioxidante
2	Carvacrol	Antimicrobiano, antifúngico
3	p-Cimeno	Antioxidante, modulador de permeabilidad
4	γ -Terpineno	Antioxidante, antiinflamatorio
5	α -Terpineol	Antimicrobiano, relajante
6	Limoneno	Antioxidante, repelente natural
7	Canfeno	Hipolipidémico, protector articular
8	β -Mirceno	Antioxidante, potencial anticancerígeno
9	α -Pineno	Antiséptico, broncodilatador
10	Humuleno	Antiinflamatorio, modulador inmunológico

Nota: Los compuestos presentados en el **Tabla 2** es referencial ya que corresponden a estudios específicos.

Fuente: (Al-Asmari et al., 2017)

1.1.7. Mecanismo de acción antimicrobiana

El aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) contiene en mayor porcentaje de timol (35,8%), p-cimeno (19,5%), γ -terpineno (9,7%) y acetato de bornilo – carvacrol (4,3%) (Acevedo et al., 2007), como se observa también en la Tabla 2 la presencia de estos compuestos son los principales responsables de la actividad antimicrobiana. Su acción es similar entre ellos al ser compuestos altamente hidrófobos, el carvacrol se insertan entre los fosfolípidos de la membrana celular bacteriana alterando la permeabilidad formando poros que permiten la fuga de iones, el timol por otra parte forma enlaces de hidrogeno con las proteínas de la membrana celular lo que permeabiliza la membrana y afecta

directamente a la función de las enzimas que se encuentran en la misma como las ATPasas y ATPsintasas resultando en una disminución en la energía necesaria para que las células bacterianas realicen procesos vitales resultando en muerte bacteriana (García-García & Palou-García, 2008).

1.1.8. Microencapsulación de compuestos bioactivos

La microencapsulación es una técnica que permite proteger sustancias sensibles mediante su inclusión en matrices poliméricas, formando partículas de tamaño micro o nanométrico aproximadamente entre 0,2 y 5000 μm (Ríos-Aguirre & Gil-Garzón, 2021). Esta tecnología mejora la estabilidad frente a factores como luz, oxígeno y temperatura, y permite una liberación controlada. En el caso del aceite de tomillo, la microencapsulación facilita su incorporación en productos cárnicos, reduce su volatilidad y prolonga su efecto antimicrobiano (Tocto-Yajahuanca et al., 2024). El secado por aspersión (Spray drying) es el mecanismo más conveniente para realizar microencapsulaciones a nivel de laboratorio, planta piloto e industrial, el proceso se puede resumir en 4 etapas, atomización de la emulsión inyectada al tambor en donde se produce el secado a altas temperaturas, lo que forma partículas que almacenan en su interior los compuestos de interés (Reyes, 2021).

Tao et al., (2014) probaron la microencapsulación con goma arábica y maltodextrina como material encapsulante del aceite esencial de *Allium sativum* (20%), resultando en una disminución en el recuento final de *E. coli*, anaerobios reductores y anaerobios reductores de sulfito (*Clostridium spp*), en matriz cárnica almacenada a 8 °C en el transcurso de 6 días.

1.1.9. Microencapsulación basada en emulsiones

Una emulsión se refiere a la mezcla entre dos líquidos que naturalmente no se unen sin la ayuda de un agente emulsionante y ha estado presente en la industria alimentaria en la generación de nuevos y atractivos productos. Hoy en día ha tomado fuerza debido a la generación de sistemas de microencapsulación de aceites esenciales, compuestos bioactivos, vitaminas, entre otros (Matos et al., 2020).

Existen varios tipos de emulsiones:

- **Emulsiones convencionales**

En una emulsión se diferencian dos fases una llamada dispersa y otra continua, la fase dispersa es aquella que forma pequeñas gotas y la continua es el medio en donde se estas están distribuidas, su clasificación depende de la fase a la cual pertenecen. Entonces es posible tener una emulsión de agua en aceite (w/o) y aceite en agua (o/w).

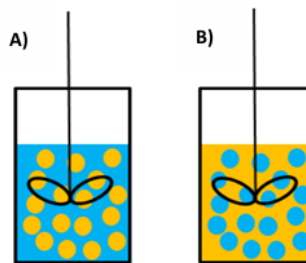


Figura 2. Tipos de emulsiones simples. A) Aceite en agua. B) Agua en aceite.

Fuente: (Pérez-Esteve & Gómez-Llorente, 2020)

- **Emulsiones dobles o múltiples**

Este tipo de emulsiones tienen como característica principal atrapar un compuesto ya sea afín al agua o no, formando pequeñas capsulas dentro de la fase continua que es igual a la sustancia dentro de la cápsula. De igual forma que las emulsiones convencionales se diferencian dos, agua/aceite/agua o aceite/agua/aceite. En particular suele necesitarse dos tipos de emulsionantes uno del tipo hidrofílico y otro hidrofóbico (Pérez-Esteve & Gómez-Llorente, 2020).

- **Emulsiones multicapa**

Este tipo de emulsiones normalmente tienen como fase dispersa gotas de aceite cargadas, las cuales al agregar polielectrolitos con carga opuesta se adsorban y formen capas nano laminadas alrededor de las gotas de aceite. A diferencia de las demás emulsiones esta disminuye la oxidación de los lípidos y brinda mejor estabilidad, en la industria alimentaria y farmacéutica es de gran interés por sus posibles aplicaciones (Pérez-Esteve & Gómez-Llorente, 2020).

1.1.10. Material polimérico microencapsulante

El material de encapsulación aplicado en el ámbito alimentario es la maltodextrina, goma arábica, gelatina, almidón modificado, alginato de sodio, cloruro de calcio, quitosano, lecitina y aceite de palma hidrogenado. De acuerdo con la matriz alimentaria a la cual se aplica, se utilizan dichos materiales en concentraciones y relaciones específicas que permitan obtener una emulsión del tipo aceite en agua (Calderón-Oliver & Ponce-Alquicira, 2022).

➤ Maltodextrina

Es un polisacárido obtenido mediante hidrólisis del almidón usando enzimas como alfa-amilasa termoestable o ácidos que rompen las cadenas de glucosa en unas más cortas. Posee características que benefician a los procesos de encapsulado tales como su sabor y aroma neutros, viscosidad baja en soluciones con alta concentración de sólidos y costos accesibles. Por otra parte, es de fácil disolución en agua (hidrofílica) y carece de partes lipofílicas haciendo que la maltodextrina por si sola no sea un buen emulsionante, por ello generalmente se utiliza en conjunto con otros emulsionantes (Akhavan Mahdavi et al., 2016).

➤ Goma arábica

La goma arábica se forma por el exudado de la corteza de los árboles llamados *Acacia Senegal* cuando sufren daños físicos, es un polímero ramificado compuesto por monosacáridos como la galactosa, arabinosa, ácido urónico y compuestos nitrogenados aproximadamente alrededor del 2% (Fernandes et al., 2014). Entre sus características más importantes se encuentra su fácil solubilidad en agua, emulsionante, espesante, aglutinante y estudios mencionan su capacidad para formar películas y microcápsulas ya que posee una parte hidrofílica y otra lipofílica unidas covalentemente (Mudgil & Mudgil, 2024).

1.1.11. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) permite analizar la presencia de sustancias químicas de interés, sus características y estructura. Como resultado del FTIR se obtiene un espectro de absorción infrarrojo cuyos picos y forma muestran la concentración molecular y la estructura de los compuestos, cada molécula como proteínas, lípidos, carbohidratos, y demás macromoléculas, poseen su propio espectro infrarrojo, entonces, la absorción de radiación de un enlace específico se produce justamente cuando la frecuencia vibracional de la onda electromagnética es similar a la del propio enlace proporcionando picos de absorción de grupos de compuestos específicos (Valderrama et al., 2017).

1.1.12. Aplicación del aceite de tomillo microencapsulado en carne de pollo

El aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) posee una notable actividad antimicrobiana gracias a compuestos como *timol*, *carvacrol*, *p-cimeno* y *γ -terpineno*. Estas moléculas interfieren en la estructura de la membrana celular bacteriana, provocando desequilibrios que afectan la viabilidad de microorganismos como *Staphylococcus aureus*. En conjunto, generan una acción sinérgica que debilita la integridad celular y favorece la inhibición microbiana. Esta propiedad lo convierte en un agente natural prometedor para la conservación de alimentos, especialmente cuando se aplica mediante técnicas como la microencapsulación, que prolongan su estabilidad y eficacia en matrices cárnicas (Montero-Recalde et al., 2018c).

Además, al aplicarse en distintas concentraciones, se busca determinar su eficacia frente a *Staphylococcus aureus* durante el almacenamiento. Este enfoque permite comparar los tratamientos y establecer cuál ofrece mejores resultados en términos de reducción microbiana, sin comprometer la calidad sensorial del producto.

1.1.13. Evaluación de vida útil y capacidad inhibidora

La vida útil de la carne de pollo se define como el tiempo durante el cual el producto conserva sus características microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales dentro de

parámetros aceptables. En esta investigación, se evaluará la capacidad inhibidora del aceite de tomillo micro encapsulado mediante análisis microbiológicos específicos, determinando la reducción de aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus* en función del tiempo y la concentración aplicada, sobre el recuento de las unidades formadoras de colonias. Los resultados permitirán identificar el tratamiento más eficaz y estimar el período óptimo de conservación bajo condiciones de refrigeración, contribuyendo al desarrollo de soluciones naturales y funcionales para la industria alimentaria

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la capacidad inhibidora del aceite de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en la conservación de la carne de pollo (*Gallus gallus domesticus*).

1.2.2. Objetivos específicos

- Verificar la eficiencia de microencapsulación del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier.
- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en la reducción de la carga microbiana (Aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus*) de la carne de pollo.
- Determinar el tiempo de vida útil del mejor tratamiento aplicado a la carne de pollo a la temperatura de 4 °C (*Gallus gallus domesticus*).

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

Este proyecto de investigación contó con el financiamiento de la Universidad Técnica de Ambato, a través del programa Canje de Deuda entre Ecuador y España, bajo el título: “Fortalecimiento de la Unidad Operativa de Investigación en Tecnología de Alimentos (UOITA) para impulsar la investigación, la tecnología y la innovación en el sector alimentario, con el objetivo de fomentar la creación y el desarrollo de empresas agroindustriales en la zona 3 del país, y de monitorear la presencia de metales pesados en cultivos afectados por las cenizas de las erupciones del volcán Tungurahua”.

2.1. Materiales

Tabla 3. Materiales y equipos utilizados

Materiales
➤ Pechuga de pollo con piel
➤ Maltodextrina
➤ Aceite esencial de tomillo
➤ Goma arábica
➤ Espátula estéril
➤ Cuchillo estéril
➤ Probeta 100 mL
➤ Micropipeta 100-1000 µl
➤ Puntas para micropipetas 1000 µl
➤ Vasos de precipitación
➤ Gradillas para tubos de ensayo
➤ Tubos de ensayo con tapas
➤ Cajas de petri estériles de vidrio
➤ Frascos de laboratorio Autoclavable 500 mL
➤ Bolsas Stomacher, broches de cierre

- Pinzas

Reactivos

- Agua esterilizada
- Agar Manitol Salado
- Agar PCA

Equipos

- Incubadora
 - Balanzas de precisión
 - Autoclave
 - Mini Spray dryer
 - Refrigeradora
 - Contador de colonias
 - Microondas
 - Stomacher
-

2.2. Métodos

2.3. Verificar la eficiencia de microencapsulación del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) mediante espectroscopia por transformada de Fourier.

2.3.1. Obtención del microencapsulado de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) mediante Spray Drying

El aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) (AET) se obtuvo de ISABRUBOTANIK S.A. empresa ubicada en la vía Indoamérica km 6, Ambato y el material encapsulante que se utilizó tales como la goma arábica y maltodextrina se adquirieron en tiendas locales de química como La Casa del Químico situada en la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua.

Luego, se pesaron cada uno de los materiales encapsulantes como la maltodextrina, goma arábica y aceite esencial de tomillo en relación 3:2:1 (30 g: 20 g: 10 g (AET)) tomando

en cuenta el 30% de sólidos en la emulsión. Posteriormente mediante un homogeneizador de alta velocidad (*Ultra-Turrax®*, IKA T10) se procedió asegurando una correcta emulsión del tipo aceite en agua (o/w) cuyas fases estén bien distribuidas y presente buena estabilidad. Luego, usando el secador por aspersión (*Mini Spray Dryer BUCHI-B290*) se inyectó la emulsión mediante la boquilla de aspersión con dimensiones de entre 0.5 – 1.0 mm atomizando la solución dentro del sistema de secado a una temperatura seteada a 160 °C logrando el secado inmediato de las partículas las mismas que son arrastradas por flujo de aire inmediatamente al recipiente de recolección.

Para verificar la eficiencia de la microencapsulación del aceite esencial de *Thymus vulgaris*, se desarrolló un análisis espectroscópico infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) que permitió verificar si el principio activo (AE de tomillo) se encuentre en el núcleo del microencapsulado.

2.4.Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en la reducción de la carga microbiana (Aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus*) de la carne de pollo.

2.4.1. Preparación de materia prima

La carne de pollo se adquirió en el Mercado Sur de la ciudad de Ambato, posteriormente se colocó en refrigeración hasta el momento de su uso. Se pesó 30 gramos para cada uno de los tratamientos y se almacenó en congelación, ya que es importante velar por la homogeneidad de las unidades experimentales.

Se prepararon todos los materiales para su esterilización usando una autoclave de laboratorio semiautomática seteada a una temperatura de 121 °C por 20 min además se desinfectó el área y utensilios de trabajo.

Tabla 4. Preparación de soluciones de los tratamientos del aceite esencial de tomillo microencapsulado

Tratamientos	Concentración del aceite esencial de tomillo [%]	Tiempo [min]
T1	0.06	2
T2	0.06	3
T3	0.06	5
T4	0.08	2
T5	0.08	3
T6	0.08	5
T7	0.10	2
T8	0.10	3
T9	0.10	5
Control	Sin tratamiento	

2.4.2. Análisis Microbiológico (Aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus*)

- Se sumergió las muestras de pollo en las soluciones correspondientes a cada tratamiento tras la disolución del microencapsulado por completo.
- Luego, se colocó 30 gramos de muestra dentro del Stomacher a 250 rpm por 30 seg para homogenizar.
- Se procedió a preparar las diluciones seriadas transfiriendo 1 mL en 9 mL de agua peptonada hasta alcanzar una dilución 10^{-2} , procurando agitar los tubos de ensayo por alrededor de entre 8 y 10 segundos a velocidad media.
- Posterior a ello, se colocó un volumen de 1 mL en cajas Petri vacías estériles seguido del agar correspondiente para Aerobios mesófilos (PCA) y *Staphylococcus aureus* (Manitol salado) a 45 – 50 °C.

- Por último, se incubaron a 37 °C durante 24 horas y se procedió a realizar el recuento de las colonias.

2.5.Determinar el tiempo de vida útil del mejor tratamiento aplicado a la carne de pollo a la temperatura de 4 °C (*Gallus gallus domesticus*)

2.5.1. Diseño Completamente Aleatorizado (DCA)

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 9 tratamientos y 3 réplicas, lo que significa 27 unidades experimentales. Mas el grupo control, carne sin tratamiento. Una vez realizado el recuento y cálculo de la eficiencia germicida. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias significativas entre tratamientos se determinarán mediante la prueba de Duncan, tanto para Aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus*.

Tabla 5. Variables experimentales

Variables independientes	Variables dependientes
Concentraciones (0,06%; 0,08%; 0,1%)	Eficiencia germicida (EG) (%)
Tiempos (2 min; 3 min; 5 min)	

2.5.2. Cálculo de la eficiencia germicida (Capacidad de inhibición)

El cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación, que permitió observar en porcentaje los tratamientos que poseen mejor actividad de inhibición que otras.

$$EG(\%) = \frac{N_0 - N_t}{N_0} * 100$$

(Ecuación 1).

Donde:

- N_0 = recuento inicial sin tratamiento

- N_t = recuento final con tratamiento

2.5.3. Determinación de la vida útil

La estimación de la vida útil se llevó a cabo mediante la comparación entre muestras de carne de pollo sometidas al tratamiento y muestras control sin tratamiento. Para ello, se preparó la solución correspondiente al tratamiento más estadísticamente más efectivo (Tratamiento 9), utilizando seis porciones de carne de pollo de 30 gramos cada una, las cuales fueron sumergidas en dicha solución. Posteriormente, se realizó la homogenización con el equipo Stomacher y se efectuaron diluciones seriadas hasta alcanzar la dilución 10^{-2} . La siembra por inmersión se efectuó en tres réplicas para el recuento de aerobios mesófilos y tres réplicas para *Staphylococcus aureus*, tanto en las muestras control como en las muestras tratadas con el microencapsulado (Escobar, 2024).

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Verificar la eficiencia de microencapsulación del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) mediante espectroscopia por transformada de Fourier.

3.1.1. Microencapsulación del aceite esencial de tomillo mediante secado por aspersión.

Se obtuvo un polvo fino de color blanco uniforme con el 20 % de aceite esencial como principio activo ubicado en los núcleos de las microcápsulas. La apariencia granulada se atribuye a la tendencia de los biopolímeros a formar aglomerados, consecuencia de su naturaleza higroscópica y afinidad por la humedad. La microencapsulación realizada mediante *Mini Spray Dryer BUCHI-B290* proporciono como resultado un rendimiento del 79,46%, usando el 50% de maltodextrina (MD) junto con el 30% goma arábica (GA) y 20% de aceite esencial de tomillo (AET). De acuerdo con Pilicheva et al. (2021) menciona que el rendimiento puede variar entre 74% a 81% dependiente de las proporciones específicamente de GA y MD. Menciona además que la maltodextrina evita en gran medida la adherencia de las partículas en la pared de la cámara de secado. Por lo que el valor de rendimiento obtenido refleja un correcto manejo y control del proceso de secado por aspersión y de acuerdo con la literatura satisfactorio.



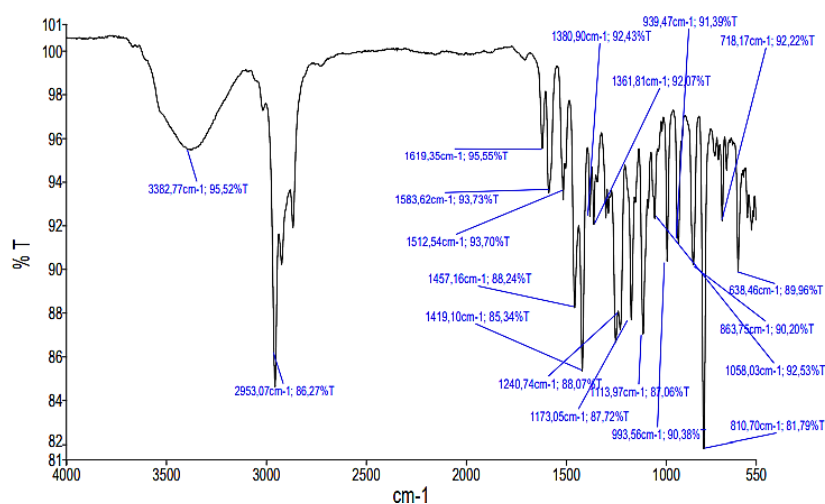
Figura 3. Microencapsulado de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*).

Fuente: Elaboración propia.

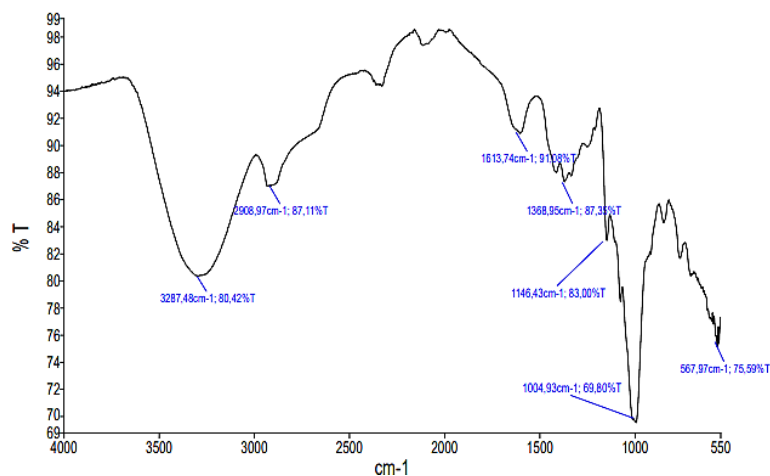
3.1.2. Análisis de los espectros infrarrojos (FTIR)

A continuación, se muestran y se comparan los espectros de absorción infrarrojo realizado mediante el equipo de espectroscopia infrarroja por la transformada de Fourier (FTIR PerkinElmer Spectrum Two™) de todas las muestras utilizadas con el propósito de evidenciar la eficiencia del microencapsulado.

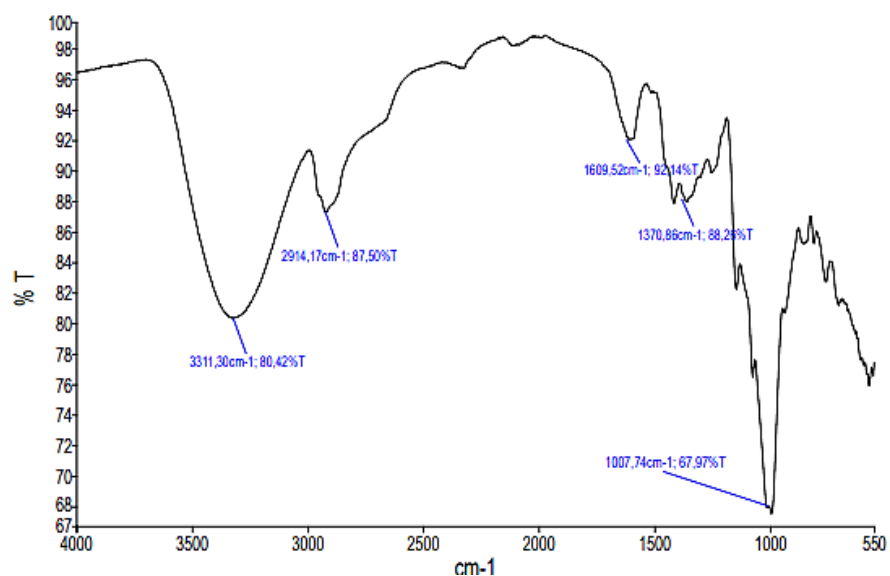
A. Aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*)



B. Mezcla de polímeros Maltodextrina y goma arábica



C. Micro – encapsulado de aceite esencial de tomillo



D. Comparación de espectros de absorción infrarroja.

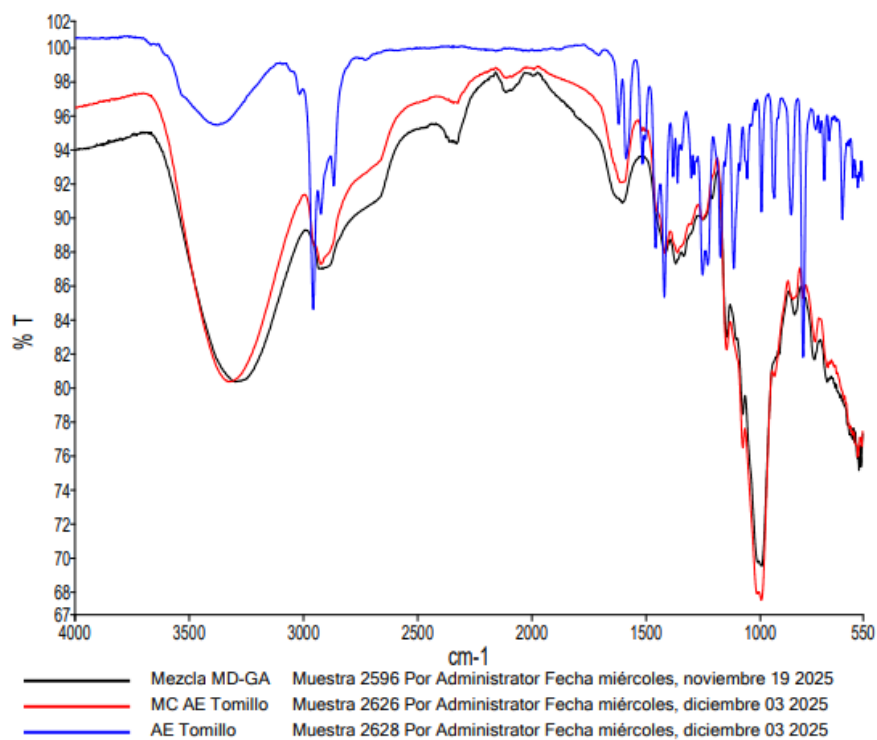


Figura 4. Espectros de absorción infrarroja de las muestras utilizadas para la microencapsulación. A) Aceite esencial de tomillo; B) Mezcla de polímeros encapsulantes (maltodextrina + goma arábiga); C) Microencapsulado del aceite esencial de tomillo; D) Espectros de las muestras analizadas superpuestas (A; B; C).

Las figuras presentadas detallan los picos que evidencian las formas vibracionales de los distintos grupos funcionales correspondientes a cada grupo funcional presente en el aceite esencial de tomillo (**Figura 4a**), lo que permite discernir cualitativamente entre los principales componentes de interés antimicrobiano, carvacrol, timol y p-cimeno, estos poseen rangos de vibración de sus grupos funcionales entre 1500 a 1400 cm^{-1} para p-cimeno, y 1600 a 1585 para la vibración del doble enlace $\text{C}=\text{C}$ del anillo bencénico para el caso del carvacrol y timol, ambos poseen la misma fórmula química ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$), sin embargo la posición del grupo hidroxilo $-\text{OH}$ difiere respecto a la posición en el anillo bencénico (Isómeros) (Valderrama et al., 2017). Tal como se observa en la **Figura 4a** rangos de frecuencias de entre 1619,35 cm^{-1} a 1113,97 cm^{-1} en FTIR pertenecen al grupo funcional éter y puede incluir grupos fenólicos y aromáticos (Cárdenas Melgarejo et al., 2007), es fundamental recalcar la presencia de dichos principios activos en el aceite esencial de tomillo ya que confiere fiabilidad a la investigación sobre su efecto antimicrobiano.

En relación con los demás espectros FTIR, corresponden a la combinación de biopolímeros (goma arábiga (GA) + maltodextrina (MD)) (**Figura 4b**), siguiendo con el micro – encapsulado con porcentaje del 20% de aceite esencial de tomillo (**Figura 4c**) y finalmente la superposición de las líneas espectrales de cada una (**Figura 4d**).

El análisis permite identificar la semejanza que poseen el grupo de espectros FTIR, en concreto, el espectro referente a la combinación de los biopolímeros en ausencia de aceite esencial de tomillo (**Figura 4b**) y el espectro correspondiente al micro – encapsulado con aceite esencial de tomillo, verificando la eficiencia en el proceso de microencapsulación ya que denota ausencia de picos espectrales con rangos entre 1400 a 1600 cm^{-1} los cuales corresponden a los compuestos propios del aceite esencial como carvacrol, timol y p-cimeno, éteres, grupos fenólicos y aromáticos (Barba-Ostria et al., 2024).

3.2. Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en la reducción de la carga microbiana (Aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus*) de la carne de pollo.

Los resultados obtenidos evidencian que el aceite esencial de tomillo microencapsulado ejerció un efecto inhibitor sobre la carga microbiana de aerobios mesófilos presentes en la carne de pollo, aunque la magnitud de esa reducción depende de la concentración y tiempo de exposición, los valores registrados en la Tabla 5 muestran que las concentraciones evaluadas de 0,08% y 0,010% generaron una disminución de la carga bacteriana, particularmente en EAT 0,10%/5 min ($3,62 \pm 0,11$ Log UFC/g) se evidenció un efecto más consistente y pronunciado, indicando que hay una reducción más marcada y estable, este resultado se alinea con los estudios de Di Rosario et al., (2025) y Gaba et al., (2022) quienes explican que las concentraciones superiores de aceites esenciales permiten una saturación más efectiva en la interfaz carne – solución, favoreciendo la interacción entre los compuestos fenólicos y la membrana bacteriana. Asimismo, en el estudio de (Karam et al., 2020) se ha demostrado que el aumento de la concentración de timol potencia la disrupción de la bicapa lipídica, induce fugas celulares y dificulta la reparación de daños estructurales, incrementando la sensibilidad de bacterias mesófilas.

Tabla 6. Efecto inhibitor del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo

Aerobios Mesófilos				
Tiempo [minutos]	Dilución	Concentraciones AET Microencapsulado		
		0,06%	0,08%	0,10%
2	10^{-2}	$4,10 \pm 0,06$	$3,23 \pm 1,86$	$3,88 \pm 2,24$
3	10^{-2}	$4,06 \pm 0,02$	$4,05 \pm 0,01$	$4,05 \pm 0,04$
5	10^{-2}	$4,04 \pm 2,33$	$4,12 \pm 0,03$	$3,62 \pm 0,11$

Nota: Resultados= [Log (UFC/g)] $\pm$ Desviación estándar ($n = 3$).

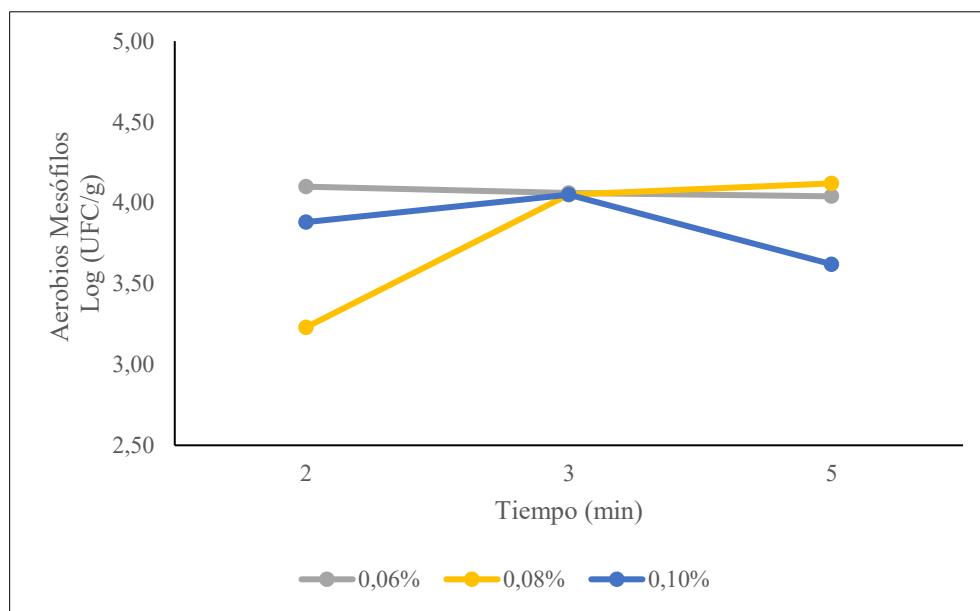


Figura 5. Efecto inhibitor en aerobios mesófilos del Microencapsulado AET.

Los valores de eficacia germicida obtenidos muestran que el aceite esencial de tomillo (AET) microencapsulado presenta una actividad antimicrobiana variable frente a aerobios mesófilos, donde el valor alto observado a los 2 minutos con AET 0,08% (90%) sugiere que hay una interacción rápida inicial del aceite desde una fracción de microcápsulas, lo cual ha sido reportado en sistemas con recubrimientos delgados donde una parte del compuesto activo se encuentra próximo a la superficie del microencapsulado y se difunde con mayor velocidad hacia el medio, cabe destacar que la liberación posterior a mayores tiempos indica que la liberación posterior es menos eficiente posiblemente por una estructura más densa o con mayores interacciones hidrofóbicas que retardan la difusión (Smaoui et al., 2021). Por otra parte, la concentración de 0,06% mostró un incremento progresivo alineado a sistemas donde la interacción del compuesto activo es más controlada lo que favorece una respuesta antimicrobiana más sostenida, especialmente donde la matriz cárnica es más húmeda (Milagres de Almeida et al., 2023).

En relación a AET 0,10% el comportamiento revela que la mayor actividad (5 min 75,39%) es consistente a la actividad del timol y carvacrol los cuales permeabilizan las

membranas de bacterias y generan una desestabilización constante en tiempos prolongados de exposición (Moharreri et al., 2021).

Tabla 7. Eficiencia germicida (EG) (Aerobios mesófilos) del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo.

Aerobios Mesófilos				
Tiempo [minutos]	Dilución	Concentraciones AET Microencapsulado		
		0,06%	0,08%	0,10%
2	10 ⁻²	25,69 ± 9,67 ^{AB}	90 ± 1,66 ^E	55,59 ± 0,42 ^C
3	10 ⁻²	31,96 ± 3,55 ^{AB}	33,53 ± 1,56 ^B	34,31 ± 6,12 ^B
5	10 ⁻²	35,29 ± 0 ^B	21,96 ± 5,71 ^A	75,29 ± 6,68 ^D

Nota: Resultados expresados como media aritmética EG ± desviación estándar ($n = 3$). Las letras indican diferencias significativas entre niveles que no comparta una misma letra, con un 95,0% de confianza ($p < 0.05$).

A partir de los valores obtenidos para *Staphylococcus aureus*, se observa que el incremento de la concentración del aceite esencial de tomillo microencapsulado genera una disminución progresiva en los recuentos microbianos, especialmente a AET 0,10% donde la reducción alcanza su mayor intensidad desde los primeros minutos de contacto. Esta tendencia coincide con lo reportado por Martínez et al. (2021) que describen la alta sensibilidad de *S. aureus* frente a compuestos fenólicos como el timol y carvacrol, cuyas propiedades lipofílicas facilitan su inserción en la membrana citoplasmática, provocando pérdida de la integridad estructural y escape de componentes celulares. Además, la respuesta observada coincide con lo reportado por Kong et al. (2025) quienes explican que el mecanismo antimicrobiano de aceites esenciales ricos en monoterpenos se manifiestan de forma independiente de la concentración y tiempo de exposición. El comportamiento diferencial entre las concentraciones para *S. aureus* también puede atribuirse a la naturaleza del tejido cárnico, donde proteínas, lípidos y la humedad pueden reducir parcialmente la disponibilidad del compuesto activo, sin embargo, aún bajo estas

condiciones, el tratamiento AET 0,10 % (5 min) sugiere que una mayor permanencia del aceite favorece la difusión hacia sitios donde se aloja *S. aureus*, potenciando el daño celular (Radünz et al., 2020).

Tabla 8. Efecto inhibitor del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo.

Staphylococcus Aereus				
Tiempo [minutos]	Dilución	Concentraciones AET Microencapsulado		
		0,06%	0,08%	0,10%
2	10 ⁻²	3,88 ± 0,05	3,90 ± 0,07	3,07 ± 0,06
3	10 ⁻²	3,74 ± 2,16	3,85 ± 2,22	3,51 ± 0,11
5	10 ⁻²	3,73 ± 0,09	3,19 ± 0,10	2,92 ± 1,77

Nota: Resultados = [Log (UFC/g)] ± Desviación estándar ($n = 3$).

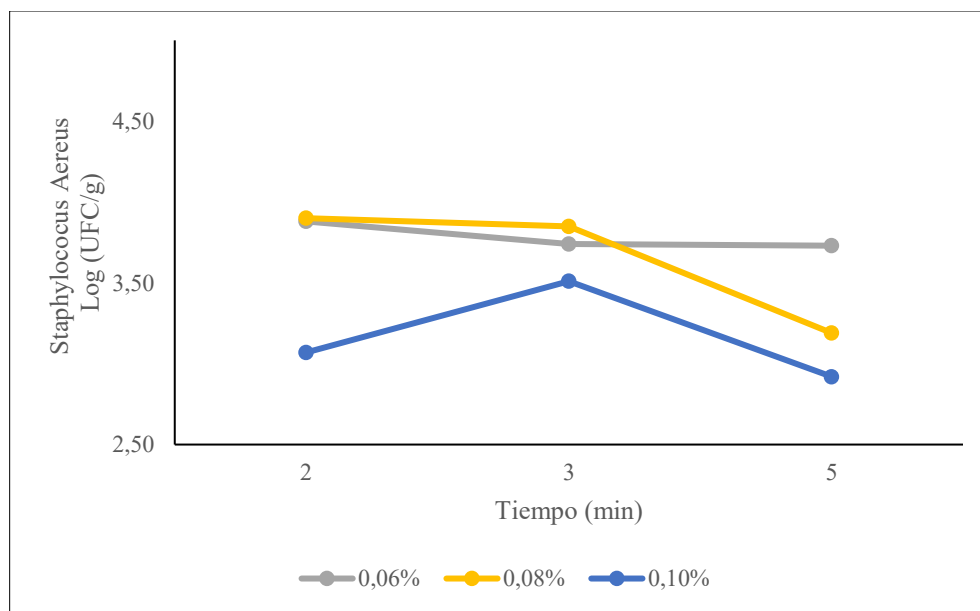


Figura 6. Efecto inhibitor en *S. Aureus* del Microencapsulado AET.

Los valores de la eficiencia germicida para *Staphylococcus aureus* se reportan en la Tabla 9 y se evidencia que muestran una relación directamente proporcional entre el aumento de la concentración del aceite esencial de tomillo micro – encapsulado y el tiempo de exposición, especialmente en AET 0,10 %, donde la actividad antimicrobiana alcanza niveles superiores al 85% desde los 2 minutos y supera el 90% a los 5 minutos.

Dicho comportamiento coincide con Zhang et al. (2022) quienes evidenciaron que *Staphylococcus aureus* es altamente susceptible a monoterpenos fenólicos como timol y carvacrol, los cuales alteran la permeabilidad de la membrana, generan pérdida de protones y provocan despolarización celular, lo que ocasiona el colapso funcional. La marcada diferencia de AET 0,10% respalda la acción dependiente de dosis, donde una mayor concentración incrementa la presión antimicrobiana y acelera la desestabilización estructural de la célula bacteriana, además, la micro – encapsulación contribuye a proteger los compuestos activos frente a procesos oxidativos, asimismo, mejora la liberación gradual lo que potencia su interacción con *S. aureus* (Fakhariha et al., 2025).

Tabla 9. Eficiencia germicida (EG) (*Staphylococcus aureus*) del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) microencapsulado en carne de pollo a diferentes concentraciones y tiempo.

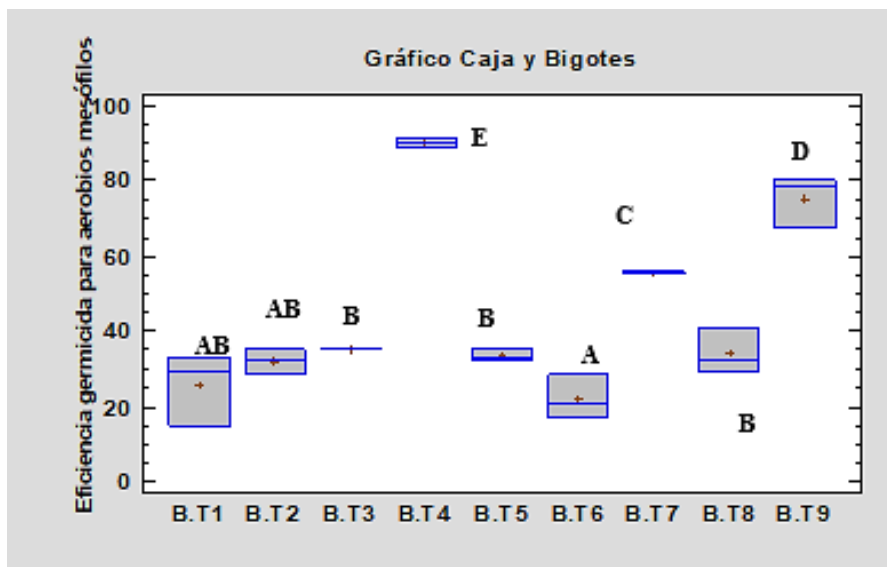
Staphylococcus Aereus				
Tiempo [minutos]	Dilución	Concentraciones AET Microencapsulado		
		0,06%	0,08%	0,10%
2	10 ⁻²	21,05 ± 8,22 ^A	16,14 ± 13,41 ^A	87,72 ± 1,61 ^D
3	10 ⁻²	42,63 ± 2,23 ^B	26,32 ± 14,89 ^{AB}	65,61 ± 8,76 ^C
5	10 ⁻²	43,86 ± 11,97 ^B	83,51 ± 3,70 ^D	91,23 ± 3,44 ^D

Nota: Resultados expresados como media aritmética EG ± desviación estándar ($n = 3$). Las letras indican diferencias significativas entre los valores que no compartan una misma letra, con un 95,0% de confianza ($p < 0.05$).

3.3. Determinar el tiempo de vida útil del mejor tratamiento aplicado a la carne de pollo a la temperatura de 4 °C (*Gallus gallus domesticus*)

El análisis de los resultados obtenidos sobre la eficiencia germicida de cada tratamiento, aplicado en la carne de pollo se llevó a cabo mediante aplicativos estadísticos (STATGRAPHICS 19), obteniendo una tabla ANOVA de un factor cuyo valor $p < 0.05$, lo que demuestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos (T1 – T9), para lo cual, se utilizó la prueba de múltiples rangos de Duncan que permite diferenciar los grupos de tratamientos que difieren uno de otro y representarlos en los graficas de caja y bigotes que se presentan a continuación (Figura 7a – 7b), se concluyó con que el tratamiento 9 (0,1%/5min) es el mejor para ambos grupos de microorganismos analizados Aerobios mesófilos (MA) y *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*).

A) Aerobios mesófilos



B) *Staphylococcus aureus*

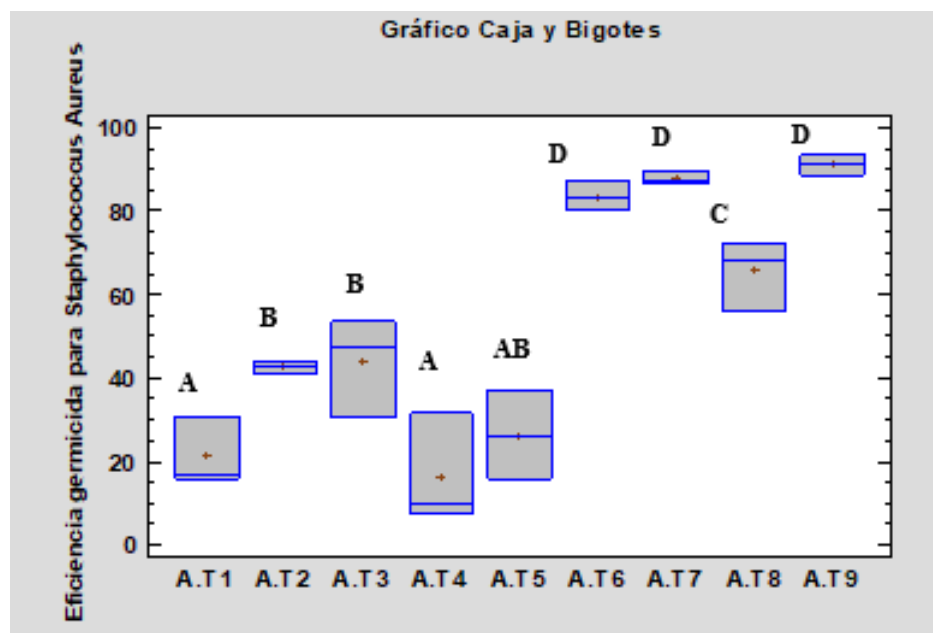


Figura 7. Eficiencia germicida para aerobios mesófilos en tratamientos B.T1–B.T9 (cajas: IQR; línea: mediana; cruz: media). Letras sobre las cajas indican grupos homogéneos según ANOVA de un factor seguido de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$). Tratamientos que comparten letra no difieren significativamente.

Tabla 10. Evaluación del recuento microbiológico en carne de pollo aplicado el mejor tratamiento.

		Almacenamiento (Días)			
	Muestra	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9
Aerobios mesófilos (PCA)	Tratamiento 9	5133 ^A	10233 ^B	8333 ^{AB}	4933 ^A
	Tratamiento control	19300 ^C	47333 ^E	40000 ^D	39666 ^C
<i>Staphylococcus aureus</i> (Manitol salado)	Tratamiento 9	1033 ^A	5433 ^B	3566 ^{AB}	1433 ^A
	Tratamiento control	2800 ^A	11333 ^C	13000 ^C	10666 ^C

Nota: Los valores presentados corresponden al promedio de tres réplicas independientes para cada combinación de tratamiento y día de almacenamiento, (UFC/mL). Los valores medios que no posean una letra común difieren con una significancia del 95%, ($p < 0,05$).

Los valores expuestos en la Tabla 10 presentan el recuento microbiano a cero grados centígrados (UFC/mL) cuyos picos de crecimiento microbiológicos para Aerobios mesófilos fue entre el tercer día para el tratamiento 9 (T9) y para el grupo control (GC) conocido como fase exponencial de crecimiento por su capacidad de adaptación, disminuyendo al día 6 y día 9 para el tratamiento 9 mostrando un efecto bacteriostático, a diferencia del GC que disminuye lentamente. De acuerdo con Buldain et al. (2021) al inicio poseen fácil disponibilidad de agua y nutrientes la cual disminuye al paso de los días pasando a la etapa estacionaria y posteriormente muerte. El tratamiento 9 influye en dicha cinética causando una caída drástica tras el primer pico de crecimiento bacteriano asimismo como reducir notoriamente el crecimiento y velocidad como se muestra en las siguientes figuras 8 y 9, muestra una efectividad a largo plazo.

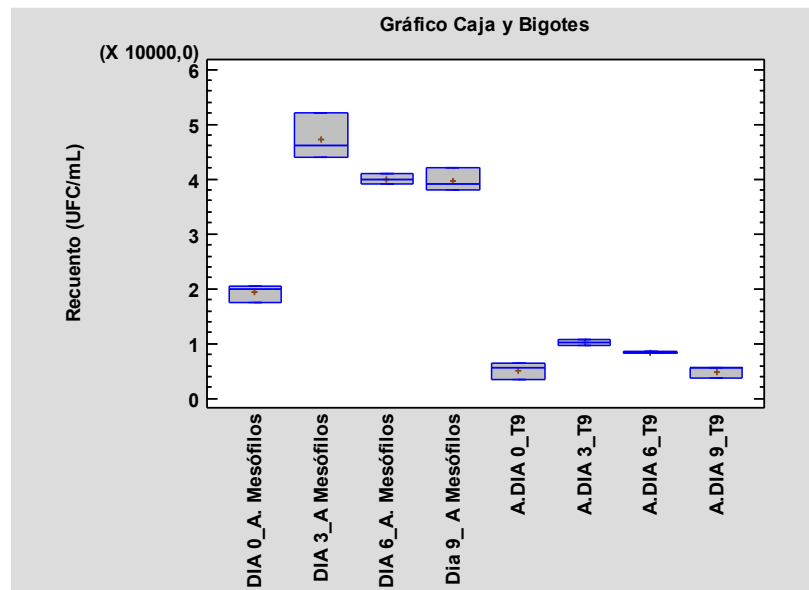


Figura 8. Distribución del recuento microbiano (Aerobios mesófilos) en carne de pollo, del tratamiento 9 (T9) y control.

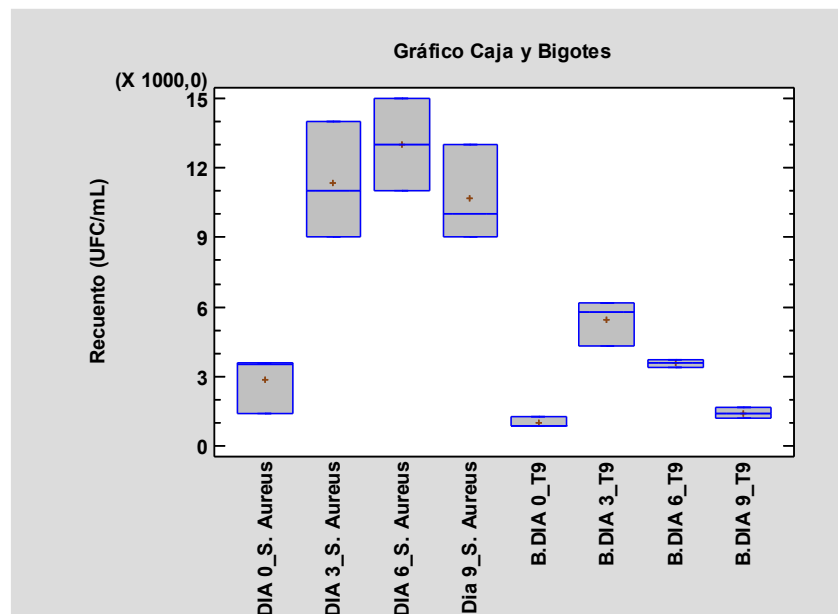


Figura 9. Distribución del recuento microbiano (*Staphylococcus aureus*) en carne de pollo, del tratamiento 9 (T9) y control.

En relación con la normativa técnica ecuatoriana, la *NTE INEN 1338 (2012)* establece los límites de aceptación y rechazo para la carne cruda. Para el recuento de aerobios mesófilos, los valores de referencia corresponden a $m = 1 \times 10^5$ UFC/g y $M = 1 \times 10^6$ UFC/g. Para el caso de *Staphylococcus aureus*, los parámetros son más estrictos, debido a su patogenicidad $m = 1 \times 10^3$ UFC/g y $M = 1 \times 10^4$ UFC/g.

Al comparar estos criterios con un estudio realizado sobre la vida útil a 10 °C, Ortiz (2019) señala que bajo dicha condición los aerobios mesófilos pueden incrementar sus recuentos desde magnitudes de 10^3 hasta 10^5 UFC/g en un período de dos a tres días, lo que evidencia un crecimiento acelerado. En contraste, en el presente trabajo las muestras fueron almacenadas a 0 °C, lo que permitió constatar un crecimiento microbiano más lento. Además, el uso de bolsas herméticas tipo ziploc contribuyó a reducir la exposición ambiental, manteniendo los recuentos de aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus* relativamente estables y, en el caso de los aerobios, dentro de los límites de aceptación establecidos por la normativa (Ortiz, 2019).

No obstante, en cuanto a las características organolépticas, la carne de pollo presentó cambios perceptibles en olor y textura. A pesar del crecimiento microbiano reducido (muestra aplicada el tratamiento 9), se detectó un olor desagradable y una textura ligeramente viscosa entre el día 10 - 11, lo que indica un deterioro sensorial progresivo, siendo un claro indicador que, pese a que la carga microbiana no es suficiente para ser rechazado, no es aceptable. Concordando con lo que menciona Zhang et al. (2016) el cual evaluó la vida útil de carne de pollo a temperaturas de 0°C, 3°C, y 10°C con periodos de vida útil de 9-10 días, 7 días y 3 días correspondientemente, los mismos que se analizaron microbiológica y sensorialmente, ya que si no es aceptable sensorialmente marca el fin de la vida útil incluso si aún no representa un riesgo sanitario.

En definitiva, dado que desde el día 3 *Staphylococcus aureus* en el tratamiento control supera los límites de rechazo, el tiempo de vida útil del tratamiento control a 0°C fue de 3 días, ya que el tiempo de vida útil es definido por el primer microorganismo que supere los límites aceptables (FAO, 1986). Por otra parte, las muestras aplicadas el tratamiento 9

se observó un crecimiento mucho más reducido y lento, tendencia que se muestra en las figuras 8 y 9 para los dos grupos microbianos, las muestras tratadas presentaron cambios en su olor y textura entre los días 10 y 11 culminando con su tiempo de vida útil.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

- La verificación de la eficiencia de microencapsulación llevada a cabo mediante espectroscopia infrarroja de la transformada de Fourier permitió evidenciar cualitativamente el correcto encapsulamiento del compuesto activo dentro de las microcápsulas. Lo que permitió además dar fiabilidad de la actividad antimicrobiana del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) obtenido, ya que se evidenciaron modos vibracionales que corresponden a monoterpenos como el timol, carvacrol, p – cimeno, principales componentes del aceite esencial de tomillo.
- Se evaluó el efecto de los 9 tratamientos en la carne de pollo cuyas variables independientes fueron la concentración (0,06%; 0,08%; 0,1%) y tiempo (2; 3; 5 minutos) dando como resultado un mayor efecto germicida en concentración de 0,1% y 5 min de exposición (Tratamiento 9) tanto para Aaerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus* que mostro mayor vulnerabilidad a los efectos bactericidas del aceite esencial de tomillo y un descenso drástico de crecimiento microbiano tras el primer pico de crecimiento microbiano (fase exponencial). Por otra parte, los grupos homogéneos mostraron diferencias significativas cuya variabilidad fue disminuyendo acorde avanzaban los tratamientos iniciando por el T1 hasta el T9.
- Se determino el tiempo de vida útil de la carne de pollo tratada con el mejor tratamiento (T9 = 0,1%/5min) en conjunto con un tratamiento control, resultando en un tiempo de vida útil de 10 y 11 días para la muestra aplicada el T9 y 3 días de vida útil para el tratamiento control definido por la superación del límite aceptable sobre el criterio de inocuidad *Staphylococcus aureus*. Lo que indica el potencial del aceite esencial de tomillo microencapsulado como alternativa natural con efectividad antimicrobiana capaz de incrementar la vida útil de productos cárnicos.

MATERIALES DE REFERENCIA

- Acevedo, A. M., Castañeda, M. I., Blanco, K. M., Cardenas, C. Y., Reyes, J. A., Kouznetsov, V., & Stashenko, E. E. (2007). Composición y capacidad antioxidante de especies aromáticas y medicinales con alto contenido de timol y carvacrol. *Scientia et Technica*, 1(33). <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6141>
- Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379–385. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.01.011>
- Al-Asmari, A. K., Athar, M. T., Al-Faraidy, A. A., & Almuhaiza, M. S. (2017). Chemical composition of essential oil of *Thymus vulgaris* collected from Saudi Arabian market. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(2), 147–150. <https://doi.org/10.1016/J.APJTb.2016.11.023>
- Amit, S. K., Uddin, M. M., Rahman, R., Islam, S. M. R., & Khan, M. S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture and Food Security*, 6(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/S40066-017-0130-8/TABLES/21>
- Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Korish ab, M. A., & Shiboob, M. M. (2016). Evaluación de la calidad de la carne de pollo en el mercado minorista: efectos del tipo y origen de las canales Evaluation of the broiler meat quality in the retail market: Effects of type and source of carcasses. *Rev Mex Cienc Pecu*, 7(3), 321–339.
- Barba-Ostria, C., Gonzalez-Pastor, R., Castillo-Solís, F., Carrera-Pacheco, S. E., Lopez, O., Zúñiga-Miranda, J., Debut, A., & Guamán, L. P. (2024). Bioactive Properties of Microencapsulated Anthocyanins from *Vaccinium floribundum* and *Rubus glaucus*. *Molecules*, 29(23), 5504. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES29235504/S1>

- Buldain, D., Castillo, L. G., Marchetti, M. L., Lozano, K. J., Bandoni, A., & Mestorino, N. (2021). Modeling the Growth and Death of *Staphylococcus aureus* against *Melaleuca armillaris* Essential Oil at Different pH Conditions. *Antibiotics* 2021, Vol. 10, Page 222, 10(2), 222. <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS10020222>
- Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2022). The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules*, 27(5), 1499. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27051499>
- Campolina, G. A., Cardoso, M. D. G., Caetano, A. R. S., Nelson, D. L., & Ramos, E. M. (2023). Essential Oil and Plant Extracts as Preservatives and Natural Antioxidants Applied to Meat and Meat Products: A Review. *Food Technology and Biotechnology*, 61(2), 212. <https://doi.org/10.17113/FTB.61.02.23.7883>
- Cárdenas Melgarejo, C. Y., Stashenko, E. E., Castañeda, M. I., Blanco Velandia, K. M., Muñoz, A., Kouznetsov, V. V., & Reyes, J. A. (2007). Composición y capacidad antioxidante de especies aromáticas y medicinales con alto contenido de timol y carvacrol. *Scientia et Technica*, ISSN 0122-1701, Vol. 1, Nº. 33, 2007, Págs. 125-128, 1(33), 125–128. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4816960&info=resumen&idioma=ENG>
- Chugchilán, C. L. (2025). *Evaluación de la capacidad inhibidora del aceite de tomillo (Thymus vulgaris) en la conservación de la carne de pollo (Gallus gallus domesticus)*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/45064>
- Di Rosario, M., Continisio, L., Mantova, G., Carraturo, F., Scaglione, E., Sateriale, D., Forgione, G., Pagliuca, C., Pagliarulo, C., Colicchio, R., Vitiello, M., & Salvatore, P. (2025). Thyme Essential Oil as a Potential Tool Against Common and Re-Emerging Foodborne Pathogens: Biocidal Effect on Bacterial Membrane

Permeability. *Microorganisms*, 13(1), 37.
<https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS13010037/S1>

Escobar, M. (2024). *EVALUACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE PEREJIL (Petroselinum crispum) Y TOMILLO (Thymus vulgaris) COMO CONSERVANTES NATURALES EN HAMBURGUESA DE POLLO* [UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR].

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ESCOBAR%20MENDOZA%20MERCEDES%20INES.pdf>

Fakhariha, M., Rafati, A. A., Garmakhany, A. D., & Asl, A. Z. (2025). Nanoencapsulation enhances stability, release behavior, and antimicrobial properties of Sage and Thyme essential oils. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-025-00022-5>

FAO. (1986). *Principios para el establecimiento y la aplicación de criterios microbiológicos para los alimentos*. 293. 293.
<https://www.fao.org/3/y1579s/y1579s04.htm>

Fernandes, R. V. D. B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 524–532.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.09.083>

Gaba, A. B. M., Hassan, M. A., Abd El-Tawab, A. A., Abdelmonem, M. A., & Morsy, M. K. (2022). Protective Impact of Chitosan Film Loaded Oregano and Thyme Essential Oil on the Microbial Profile and Quality Attributes of Beef Meat. *Antibiotics* 2022, Vol. 11, Page 583, 11(5), 583. <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS11050583>

García-García, R. M., & Palou-García, E. (2008). Mecanismos de acción antimicrobiana de timol y carvacrol sobre microorganismos de interés en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2(2), 41–51.

- He, Q., Zhang, L., Yang, Z., Ding, T., Ye, X., Liu, D., & Guo, M. (2022). Antibacterial mechanisms of thyme essential oil nanoemulsions against *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus*: Alterations in membrane compositions and characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102902. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102902>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). *CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. PRODUCTOS CÁRNICOS CRUDOS, PRODUCTOS CÁRNICOS CURADOS - MADURADOS Y PRODUCTOS CÁRNICOS PRECOCIDOS - COCIDOS. REQUISITOS*. <https://es.scribd.com/document/364625624/nte-inen-1338-3r>
- Jessica Aguilar Morales. (2012). *MÉTODOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS. RED TERCER MILENIO S.C.*
- Karam, L., Chehab, R., Osaili, T. M., & Savvaidis, I. N. (2020). Antimicrobial effect of thymol and carvacrol added to a vinegar-based marinade for controlling spoilage of marinated beef (Shawarma) stored in air or vacuum packaging. *International Journal of Food Microbiology*, 332, 108769. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2020.108769>
- Kong, A. S. Y., Lim, S. H. E., Cheng, W. H., Yuswan, M. H., Tan, N. P., & Lai, K. S. (2025). Harnessing Monoterpenes and Monoterpenoids as Weapons against Antimicrobial Resistance. *Polish Journal of Microbiology*, 74(1), 1. <https://doi.org/10.33073/PJM-2025-010>
- Lersy López, Alfonso Bettin M., & Héctor Suárez M. (2015). Caracterización microbiológica y molecular *Staphylococcus aureus* en productos cárnicos comercializados en Cartagena, Colombia. *Scielo*. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v25n2/1409-1429-rcsp-25-02-81.pdf>
- Martínez, A., Manrique-Moreno, M., Klaiss-Luna, M. C., Stashenko, E., Zafra, G., & Ortiz, C. (2021). Effect of Essential Oils on Growth Inhibition, Biofilm Formation

- and Membrane Integrity of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS10121474>
- Matos, M., Luque, S., & Gutiérrez, G. (2020). Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos. *Anales de Química de La RSEQ*, 116(2), 69–69. <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1184>
- Maurer, A. J. (2003). POULTRY | Chicken. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 4680–4686. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00952-4>
- Mendez Cabrera, B. M., & Pesántez Sacta, F. A. (2023). *Staphylococcus aureus* en carne de pollo expandida en el mercado 12 de Abril en la ciudad de Cuenca, mayo 2023. Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/15186>
- Milagres de Almeida, J., Crippa, B. L., Martins Alencar de Souza, V. V., Perez Alonso, V. P., da Motta Santos Júnior, E., Siqueira Franco Picone, C., Prata, A. S., & Cirone Silva, N. C. (2023). Antimicrobial action of Oregano, Thyme, Clove, Cinnamon and Black pepper essential oils free and encapsulated against foodborne pathogens. *Food Control*, 144, 109356. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2022.109356>
- Moharreri, M., Vakili, R., Oskoueian, E., & Rajabzadeh, G. (2021). Phytobiotic role of essential oil-loaded microcapsules in improving the health parameters in *Clostridium perfringens*-infected broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 2075–2085. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1993093>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:TJAS20;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Montero-Recalde, M., Mira, J. C., Avilés-Esquivel, D., Pazmiño-Miranda, P., & Erazo-Gutiérrez, R. (2018a). Eficacia antimicrobiana del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre una cepa de *Staphylococcus aureus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(2), 588–593. <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V29I2.14520>

- Montero-Recalde, M., Mira, J. C., Avilés-Esquivel, D., Pazmiño-Miranda, P., & Erazo-Gutiérrez, R. (2018b). Eficacia antimicrobiana del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre una cepa de *Staphylococcus aureus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(2), 588–593. <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V29I2.14520>
- Montero-Recalde, M., Mira, J. C., Avilés-Esquivel, D., Pazmiño-Miranda, P., & Erazo-Gutiérrez, R. (2018c). Eficacia antimicrobiana del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre una cepa de *Staphylococcus aureus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(2), 588–593. <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V29I2.14520>
- Mudgil, D., & Mudgil, S. (2024). Acacia gum: Chemistry, properties & food applications. *Food and Humanity*, 2, 100264. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2024.100264>
- NTE INEN 1338:2012 - *Requisitos de Productos Cárnicos*. (n.d.). Retrieved December 9, 2025, from <https://studylib.es/doc/9482755/nte-inen-1338-2012-3r-c%C3%A1rnicos?p=7>
- Ortiz, L., & Diego. (2019). *Búsqueda de microorganismos indicadores de vida útil, higiene, alterantes y patógenos en carne de pollo comercializada en Montevideo*. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/19955>
- Pérez-Esteve, É., & Gómez-Llorente, H. (2020). *Sistemas de encapsulación de compuestos bioactivos basados en emulsiones*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/146351>
- Pilicheva, B., Uzunova, Y., & Katsarov, P. (2021). Comparative Study on Microencapsulation of Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) and Peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential Oils via Spray-Drying Technique. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 7467, 26(24), 7467. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26247467>

- Radünz, M., dos Santos Hackbart, H. C., Camargo, T. M., Nunes, C. F. P., de Barros, F. A. P., Dal Magro, J., Filho, P. J. S., Gandra, E. A., Radünz, A. L., & da Rosa Zavareze, E. (2020). Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 330, 108696. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2020.108696>
- Reyes, M. (2021). *Microencapsulación de aceites mediante secado por aspersión: avances, beneficios y aplicaciones en América Latina*.
- Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rios-Aguirre, S., Gil-Garzón, M. A., Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), 206–229. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Silva, J., Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., & Sánchez, M. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de La Sociedad Venezolana de Microbiología*, 24(1–2), 46–49. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562004000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Smaoui, S., Ben Hlima, H., Ben Braïek, O., Ennouri, K., Mellouli, L., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. *Meat Science*, 181, 108585. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2021.108585>

- Tao, F., Hill, L. E., Peng, Y., & Gomes, C. L. (2014). Synthesis and characterization of β -cyclodextrin inclusion complexes of thymol and thyme oil for antimicrobial delivery applications. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 247–255. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.05.037>
- Tocto-Yajahuanca, L., Yata-Franco, L. E., Malpartida-Yapias, R. J., Tocto-Yajahuanca, L., Yata-Franco, L. E., & Malpartida-Yapias, R. J. (2024). Micro y nanoencapsulación de aceites esenciales con actividad antimicrobiana y su aplicación en la conservación de alimentos: Una revisión sistemática. *Manglar*, 21(4), 535–543. <https://doi.org/10.57188/MANGLAR.2024.058>
- Valderrama, A. C. S., De, G. C. R., Valderrama, A. C. S., & De, G. C. R. (2017). Traceability of Active Compounds of Essential Oils in Antimicrobial Food Packaging Using a Chemometric Method by ATR-FTIR. *American Journal of Analytical Chemistry*, 8(11), 726–741. <https://doi.org/10.4236/AJAC.2017.811053>
- Vásquez-Ampuero, J. M., & Tasayco-Alcántara, W. R. (2020). Presencia de patógenos en carne cruda de pollo en centros de expendio, Huánuco-Perú. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 11(2), 130–141. <https://doi.org/10.36610/J.JSARS.2020.110200130>
- Zhang, X., Wang, H., Li, M., Wu, N., & Xu, X. (2016). Near-Freezing Temperature Storage (-2C) for Extension of Shelf Life of Chilled Yellow-Feather Broiler Meat: A Special Breed in Asia. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 340–347. <https://doi.org/10.1111/JFPP.12611>;WGROU:STRING:PUBLICATION

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza (ANOVA) para el recuento de aerobios mesófilos en muestras de carne de pollo sometidas a nueve tratamientos con AET micro - encapsulado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11070,8	8	1383,85	46,18	0,0000
Intra grupos	449,467	15	29,9645		
Total (Corr.)	11520,3	23			

Anexo 2. Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje Duncan

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
B.T6	3	21,9633	A
B.T1	3	25,6867	AB
B.T2	3	31,96	AB
B.T5	3	33,5267	B
B.T8	3	34,3133	B
B.T3	2	35,29	B

B.T7	2	55,585	C
B.T9	3	75,2967	D
B.T4	2	90,0	E

Anexo 3. Análisis de varianza (ANOVA) para el recuento de *Staphylococcus Aureus* en muestras de carne de pollo sometidas a nueve tratamientos con AET microencapsulado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18839,9	8	2354,98	29,29	0,0000
Intra grupos	1205,95	15	80,3966		
Total (Corr.)	20045,8	23			

Anexo 4. Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje Duncan

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4	3	16,14	A
T1	3	21,0533	A
T5	2	26,315	AB
T2	2	42,63	B

T3	3	43,86	B
T8	3	65,6133	C
T6	3	83,51	D
T7	3	87,72	D
T9	2	91,25	D

Anexo 5. Comparación estadística de los tratamientos aplicados mediante ANOVA sobre el crecimiento de aerobios mesófilos.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6,55807E9	7	9,36868E8	255,80	0,0000
Intra grupos	5,86E7	16	3,6625E6		
Total (Corr.)	6,61667E9	23			

Anexo 6. Pruebas de Múltiple Rangos (Aerobios mesófilos: Comparación T9 - Tratamiento control)

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
A.DIA 9_T9	3	4933,33	A
A.DIA 0_T9	3	5133,33	AB
A.DIA 6_T9	3	8333,33	BC
A.DIA 3_T9	3	10233,3	C

DIA 0_A. Mesófilos	3	19300,0	D
Dia 9_A Mesófilos	3	39666,7	E
DIA 6_A. Mesófilos	3	40000,0	E
DIA 3_A Mesófilos	3	47333,3	F

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
DIA 0_A. Mesófilos - DIA 3_A Mesófilos	*	-28033,3	3312,54
DIA 0_A. Mesófilos - DIA 6_A. Mesófilos	*	-20700,0	3312,54
DIA 0_A. Mesófilos - Dia 9_A Mesófilos	*	-20366,7	3312,54
DIA 0_A. Mesófilos - A.DIA 0_T9	*	14166,7	3312,54
DIA 0_A. Mesófilos - A.DIA 3_T9	*	9066,67	3312,54
DIA 0_A. Mesófilos - A.DIA 6_T9	*	10966,7	3312,54
DIA 0_A. Mesófilos - A.DIA 9_T9	*	14366,7	3312,54
DIA 3_A Mesófilos - DIA 6_A. Mesófilos	*	7333,33	3312,54
DIA 3_A Mesófilos - Dia 9_A Mesófilos	*	7666,67	3312,54
DIA 3_A Mesófilos - A.DIA 0_T9	*	42200,0	3312,54
DIA 3_A Mesófilos - A.DIA 3_T9	*	37100,0	3312,54
DIA 3_A Mesófilos - A.DIA 6_T9	*	39000,0	3312,54
DIA 3_A Mesófilos - A.DIA 9_T9	*	42400,0	3312,54
DIA 6_A. Mesófilos - Dia 9_A Mesófilos		333,333	3312,54

DIA 6_A. Mesófilos - A.DIA 0_T9	*	34866,7	3312,54
DIA 6_A. Mesófilos - A.DIA 3_T9	*	29766,7	3312,54
DIA 6_A. Mesófilos - A.DIA 6_T9	*	31666,7	3312,54
DIA 6_A. Mesófilos - A.DIA 9_T9	*	35066,7	3312,54
Dia 9_A Mesófilos - A.DIA 0_T9	*	34533,3	3312,54
Dia 9_A Mesófilos - A.DIA 3_T9	*	29433,3	3312,54
Dia 9_A Mesófilos - A.DIA 6_T9	*	31333,3	3312,54
Dia 9_A Mesófilos - A.DIA 9_T9	*	34733,3	3312,54
A.DIA 0_T9 - A.DIA 3_T9	*	-5100,0	3312,54
A.DIA 0_T9 - A.DIA 6_T9		-3200,0	3312,54
A.DIA 0_T9 - A.DIA 9_T9		200,0	3312,54
A.DIA 3_T9 - A.DIA 6_T9		1900,0	3312,54
A.DIA 3_T9 - A.DIA 9_T9	*	5300,0	3312,54
A.DIA 6_T9 - A.DIA 9_T9	*	3400,0	3312,54

* indica una diferencia significativa.

Anexo 7. Comparación estadística de los tratamientos aplicados mediante ANOVA sobre el crecimiento de *Staphylococcus aureus*.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4,8241E8	7	6,89157E7	31,77	0,0000
Intra grupos	3,47067E7	16	2,16917E6		
Total (Corr.)	5,17116E8	23			

Anexo 8. Pruebas de Múltiple Rangos (*Staphylococcus aureus*: Comparación T9 - Tratamiento control)

Método: 95,0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
B.DIA 0_T9	3	1033,33	A
B.DIA 9_T9	3	1433,33	A
DIA 0_S. Aureus	3	2833,33	A
B.DIA 6_T9	3	3566,67	AB
B.DIA 3_T9	3	5433,33	B
Dia 9_S. Aureus	3	10666,7	C
DIA 3_S. Aureus	3	11333,3	C
DIA 6_S. Aureus	3	13000,0	C

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
DIA 0_S. Aureus - DIA 3_S. Aureus	*	-8500,0	2549,28
DIA 0_S. Aureus - DIA 6_S. Aureus	*	-10166,7	2549,28
DIA 0_S. Aureus - Dia 9_S. Aureus	*	-7833,33	2549,28
DIA 0_S. Aureus - B.DIA 0_T9		1800,0	2549,28
DIA 0_S. Aureus - B.DIA 3_T9	*	-2600,0	2549,28
DIA 0_S. Aureus - B.DIA 6_T9		-733,333	2549,28
DIA 0_S. Aureus - B.DIA 9_T9		1400,0	2549,28
DIA 3_S. Aureus - DIA 6_S. Aureus		-1666,67	2549,28
DIA 3_S. Aureus - Dia 9_S. Aureus		666,667	2549,28
DIA 3_S. Aureus - B.DIA 0_T9	*	10300,0	2549,28
DIA 3_S. Aureus - B.DIA 3_T9	*	5900,0	2549,28
DIA 3_S. Aureus - B.DIA 6_T9	*	7766,67	2549,28
DIA 3_S. Aureus - B.DIA 9_T9	*	9900,0	2549,28
DIA 6_S. Aureus - Dia 9_S. Aureus		2333,33	2549,28
DIA 6_S. Aureus - B.DIA 0_T9	*	11966,7	2549,28
DIA 6_S. Aureus - B.DIA 3_T9	*	7566,67	2549,28
DIA 6_S. Aureus - B.DIA 6_T9	*	9433,33	2549,28
DIA 6_S. Aureus - B.DIA 9_T9	*	11566,7	2549,28
	*	9633,33	2549,28

Dia 9_S. Aureus - B.DIA 0_T9

Dia 9_S. Aureus - B.DIA 3_T9	*	5233,33	2549,28
Dia 9_S. Aureus - B.DIA 6_T9	*	7100,0	2549,28
Dia 9_S. Aureus - B.DIA 9_T9	*	9233,33	2549,28
B.DIA 0_T9 - B.DIA 3_T9	*	-4400,0	2549,28
B.DIA 0_T9 - B.DIA 6_T9		-2533,33	2549,28
B.DIA 0_T9 - B.DIA 9_T9		-400,0	2549,28
B.DIA 3_T9 - B.DIA 6_T9		1866,67	2549,28
B.DIA 3_T9 - B.DIA 9_T9	*	4000,0	2549,28
B.DIA 6_T9 - B.DIA 9_T9		2133,33	2549,28

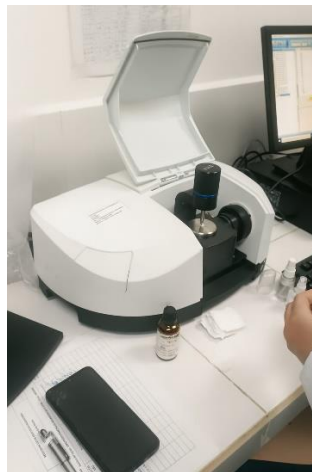
* indica una diferencia significativa.



Anexo 9. Microencapsulación del aceite esencial de tomillo y almacenaje.



Anexo 10. Análisis microbiológicos de aerobios mesófilos y *Staphylococcus aureus*.



Anexo 11. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier.



Anexo 12. Análisis de la vida útil.