

**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTA DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD ARTÍCULO CIENTÍFICO PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

TEMA:

CONSERVACIÓN DE HUEVOS DE GALLINA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA (*MANIHOT
ESCULENTA*) Y EXTRACTO DE AJO (*ALLIUM SATIVUM*)

AUTORES:

MOREIRA ZAMORA PIERINA MAYERLI
PAREDES MERO JEREMY JOHAN

TUTOR:

ING. CHRISTIAN SIMÓN RIVADENEIRA BARCIA PHD.

MANTA- MANABI- ECUADOR

2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Moreira Zamora Pierina Mayerli con C.I. 131676509 6 y Paredes Mero Jeremy Johan con C.I. 131555149 7, declaramos por la presente que somos los autores intelectuales del trabajo de investigación titulado "CONSERVACIÓN DE HUEVOS DE GALLINA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN DE YUCA (*MANIHOT ESCULENTA*) Y EXTRACTO DE AJO (*ALLIUM SATIVUM*)". Confirmamos que hemos contribuido de manera significativa a la concepción, el diseño, la ejecución y la interpretación del estudio presentado. A este respecto, hemos participado activamente en la redacción del manuscrito y en su revisión crítica. En cada fase del desarrollo de este trabajo, nos hemos esforzado por asegurar la precisión y la integridad de cada parte del estudio.

Queremos enfatizar que el contenido de este estudio es original, no ha sido plagiado de ninguna otra fuente y todas las referencias utilizadas para la investigación están debidamente citadas en el documento, por tanto, nos comprometemos a mantener los principios de ética e integridad en la investigación y asumimos total responsabilidad por el contenido de este estudio.

Pierina Mz.

Moreira Zamora Pierina Mayerli
AUTOR (A)



Paredes Mero Jeremy JOHAN
AUTOR (A)

Manta, 16 de septiembre, 2025.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A)	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ciencias de la vida y Tecnológicas de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

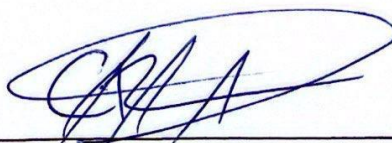
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Paredes Mero Jeremy Johan**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agroindustrial, período académico 2024 (2) – 2025(1), cumpliendo el total de 16 hora, cuyo tema del proyecto es "**Conservación de huevo de gallina mediante la aplicación de recubrimiento comestible a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y extracto de ajo (*Allium sativum*)**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 25 de julio de 2025.

Lo certifico,



Ing. Christian Simón Rivadeneira Barcia PhD

Docente tutor

Área: Agroindustria

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento en primer lugar, a Dios, por regalarme la vida, la salud, la capacidad de aprender y de crecer cada día.

A mis padres, por su apoyo incondicional y por ser ejemplo de esfuerzo, disciplina y amor. Gracias por alentarme en los momentos de cansancio, por sus palabras de motivación y por brindarme todo lo necesario para seguir adelante.

A mi tutor de tesis, quien pese a las circunstancias de último momento aceptó guiar mi trabajo de investigación. Su paciencia, dedicación y conocimiento fueron fundamentales, y su orientación académica enriqueció enormemente este proyecto.

A mis compañeros y amigos de la universidad, por compartir risas y momentos inolvidables. Su compañía convirtió este camino en una experiencia única y memorable.

A todos aquellos que de manera directa o indirecta aportaron a la realización de este trabajo, mi más sincera gratitud. Cada palabra de ánimo, cada gesto de apoyo y cada ayuda, por pequeña que pareciera, fueron indispensables en la construcción de este logro.

Y, por último, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí misma. Por ser valiente y arriesgarme, por trabajar con dedicación y perseverancia, por nunca rendirme incluso cuando parecía imposible. Porque no solo fui linda, sino que también capaz, fuerte e inteligente.

Moreira Zamora Pierina Mayerli

DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo, ante todo, a Dios, quien me ha permitido llegar hasta aquí con vida. Él ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino académico, otorgándome la sabiduría, paciencia y perseverancia necesarias para culminar este proyecto.

A mis padres, **Omar Moreira Z. y Flor Zamora V.**, quienes con sacrificio, amor y confianza en mis capacidades me enseñaron a luchar por mis sueños y a nunca rendirme ante las dificultades. Gracias por siempre estar pendientes de mí y de mi formación.

A mis hermanos, **Ing. Geovanny B.** e **Ing. Erick M.**, por cada palabra de ánimo, cada risa compartida, cada explicación paciente y su presencia constante que me recordó que nunca estuve sola en este viaje.

A mi mejor amigo, mi compañero fiel, mi querido **Duki**, quien me acompañó durante estos cinco años de estudio, compartiendo largas noches de desvelo, recibíendome cada día con sus saltitos de alegría y regalándome su amor silencioso que me sostuvo en los momentos más difíciles.

A todos ustedes, con todo mi corazón, les dedico este logro, fruto del esfuerzo, la perseverancia y el amor que me rodea.

Moreira Zamora Pierina Mayerli

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al tutor de esta investigación, cuya orientación metodológica, compromiso académico y constante disposición fueron fundamentales para el desarrollo riguroso y estructurado de este trabajo. Su experiencia y acompañamiento durante cada etapa del proceso investigativo representaron un valioso aporte tanto en lo técnico como en lo formativo.

Extiendo también mi gratitud al personal del laboratorio de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, quienes demostraron una actitud profesional, colaborativa y siempre atenta ante cada consulta, dificultad o requerimiento técnico que surgió durante la ejecución de los ensayos. Su apoyo fue esencial para garantizar la calidad y trazabilidad de los procedimientos realizados.

Asimismo, agradezco profundamente a la Universidad Central del Ecuador, sede Quito, por la generosa provisión de la cepa *Salmonella* Sp, insumo indispensable para la realización de los análisis microbiológicos contemplados en esta investigación. Su contribución científica y logística fue determinante para alcanzar los objetivos propuestos.

Finalmente, pero no por ello menos importante, quiero manifestar mi reconocimiento y afecto a mi familia, en especial a mis padres, quienes han sido un pilar inquebrantable en este camino. Su respaldo emocional, su esfuerzo constante y su apoyo económico me han permitido avanzar con firmeza y convicción en la culminación de esta etapa académica.

Paredes Mero Jeremy Johan

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo amor y respeto a mis padres, **Johnny Geovany Paredes Rivera** y **Sandra Maribel Mero Cedeño**, cuya entrega incansable, sacrificio silencioso y amor incondicional han sido el motor que ha impulsado cada uno de mis pasos. A ellos, por enseñarme el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia, les ofrezco con gratitud el fruto de esta etapa académica, como reflejo de todo lo que me han inculcado.

Extiendo esta dedicatoria a quienes, desde el silencio y la discreción, han creído en mí incluso en los momentos en que yo mismo dudaba. En especial a **Miguel Chávez**, cuya confianza fue una luz constante en medio de la incertidumbre.

Agradezco de manera especial a **Angie León**, por brindarme un apoyo inmensurable. Su corazón generoso, lleno de amor y comprensión, me ofreció guía, propósito y fortaleza a lo largo de este proyecto. Su presencia fue un faro en los días más exigentes.

Finalmente, dedico este trabajo a **Jack**, mi fiel compañero de cuatro patas, quien me acompañó en largas noches de trabajo. Su compañía silenciosa y su apoyo emocional fueron abrigo frente a las amanecidas frías, recordándome que incluso en la soledad, nunca estaba solo. Gracias a él, aprendí que la constancia también se alimenta de afecto.

Paredes Mero Jeremy Johan

Conservación de huevos de gallina mediante la aplicación de recubrimiento comestible a base de almidón de yuca (*manihot esculenta*) y extracto de ajo (*allium sativum*)

Preservation of chicken eggs using an edible coating based on cassava starch (*manihot esculenta*) and garlic extract (*allium sativum*)

Moreira Zamora Pierina Mayerli¹, Paredes Mero Jeremy Johan¹

RESUMEN

Este estudio desarrolló un recubrimiento comestible a base de almidón de yuca (2,5 % y 5 % p/v) y extracto de ajo (1 %, 1,5 % y 2 % p/v) para preservar huevos frescos durante 30 días a 20–25 °C. Se aplicó seis tratamientos (T1-T6) y un control (T0). Los resultados demostraron que los recubrimientos ralentizan la disminución de unidades de Haugh, manteniéndola en categoría “A” (≥ 55), en contraste con el control. La pérdida de peso se limitó a $< 3\%$ en T1, T4, T5 y T6, mientras que en T0 llegó a 7,4 % al día 30. El pH de albúmina y yema se mantuvo más estable en los recubrimientos, sugiriendo menor pérdida de CO₂ y agua. Las capacidades funcionales (espuma y emulsión) se conservaron en rangos adecuados, sin diferencias críticas entre tratamientos. La resistencia de la cáscara no se mostró variaciones significativas, aunque T5 evidenciaron incrementos puntuales. El espesor de la cáscara se conservó estable. El color de la yema se mantuvo estable (entre 13,7 y 15 en YolkFan™); el color de la cáscara, evaluado en el espacio CIELAB, presentó un ligero aumento en la luminosidad (L*), asociado al efecto óptico de la película, mientras que los parámetros a* y b* se mantuvieron estables. Finalmente, solo tratamientos con mayores concentraciones entre almidón de ajo y extracto de ajo (T4-T6) presentaron actividad antimicrobiana significativa (halo ≥ 5 mm). En conjunto, los recubrimientos desarrollados optimizan la conservación interna, mantiene la integridad sensorial y proporciona protección antimicrobiana.

Palabras claves: biopolímeros, preservación, extracto de ajo, sostenibilidad, efecto antibacteriano, alimento funcional.

ABSTRACT

This study developed an edible coating based on cassava starch (2.5% and 5% w/v) and garlic extract (1–2% w/v) to preserve fresh eggs for 30 days at 20–25 °C. Six treatments (T1–T6) and a control (T0) were applied. The coatings slowed the decline in Haugh units, maintaining category “A” (≥ 55) compared with the control. Weight loss was limited to $< 3\%$ in T1, T4, T5, and T6, while T0 reached 7.4%. Albumen and yolk pH remained more stable in coated eggs, suggesting reduced CO₂ and water loss. Functional properties (foaming and emulsifying capacity) were preserved within suitable ranges, with no critical differences. Shell strength and thickness showed no significant changes. Yolk color remained stable (13.7–15 in YolkFan™), while eggshell color showed a slight increase in luminosity (L*) with stable a* and b* values. Only T4–T6 exhibited significant antimicrobial activity (halo ≥ 5 mm). Overall, the coatings enhanced internal preservation, maintained sensory quality, and provided antimicrobial protection.

Keywords: biopolymers, preservation, garlic extract, sustainability, antibacterial effect, functional food.

¹Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías. Manta, Ecuador. mzpierina@gmail.com^{ORCID}, jparemero@gmail.com^{ORCID}, christian.rivadeneira@uleam.edu.ec^{ORCID}.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el consumo per cápita de un ecuatoriano es de 200 huevos al año, cifra que manifiesta que es un alimento de valor nutricional y asequible dentro de la canasta familiar. El sector productor de huevos en el año 2023 alcanzó los 3,648 millones de unidades, demostrando un crecimiento promedio anual del 4%. Según el Registro Nacional Avícola declara la existencia por más de 310 granjas dedicadas a la producción de huevo, concentrándose la mayoría de ellas en las provincias de Tungurahua y Cotopaxi (Jaramillo, 2024).

Los huevos se presentan como un elemento básico y esenciales en la dieta humana debido a que son versátiles, saludables y con un equilibrio de nutrientes esenciales (Sharaf Eddin et al., 2019). Además, tienen propiedades funcionales como espumante, coagulante y emulsionante, siendo estas lo que los hace beneficiosos en la industria alimentaria (Hidas et al., 2021).

Sin embargo, el proceso de envejecimiento de los huevos comienza inmediatamente después de su puesta (Rachtanapun et al., 2021), por lo que es clasificado como “consumo directo”, lo que implica que, tras su obtención en la granja, llega al consumidor con un mínimo o nulo tratamiento adicional, lo que plantea un riesgo a contaminaciones microbiológicas, en particular por patógenos como *Salmonella enteritidis* y *Escherichia coli*, los cuales pueden comprometer la seguridad alimentaria (Guier et al., 2022).

La corta vida útil de los huevos se ve arraigado a distintos factores externos como tiempo de almacenamiento, temperatura, humedad, entre otros (Isaza et al., 2021), que se refleja en atributos fisicoquímicos como la pérdida de peso,

la resistencia, el grosor de la cáscara, la resistencia de la membrana vitelina (VMS), la capacidad de formación de espuma, la estabilidad de la formación de espuma y el pH de la albumina o la yema (Suwannarach et al., 2017).

Si bien es recomendable almacenar los huevos en condiciones por debajo de 7°C desde su producción hasta su consumo (Pham et al., 2023), esta práctica no siempre es viable en ciertos contextos, especialmente cuando no existe sistema de comercialización con disposición de refrigeración. En estos casos, los huevos se mantienen a temperatura ambiente, alrededor de 25°C lo cual influyen de forma considerable su calidad y deterioro (Araújo Soares et al., 2021).

En la actualidad ha surgido la necesidad de buscar alternativas de conservación, por esto se buscan factores que controlen a la población microbiana, permitiendo proveer bienestar al ser humano por medio de alimentos seguros, nutricionalmente adecuados y cubrir las expectativas de sabor, aroma y apariencia (Nereyda and Saucedo, 2011).

En general, los recubrimientos comestibles son una capa protectora que brindan una amplia gama de beneficios en la preservación de alimentos al actuar como barreras físicas que controlan la migración de oxígeno, dióxido de carbono, solutos y humedad desde el entorno hacia el alimento, retardando así la maduración y el crecimiento microbiano (Azeredo et al., 2022).

Por otra parte, el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) ha sido objeto de popularidad debido a sus destacadas características debido a sus propiedades como la formación de pastas con alta claridad y viscosidad (Palavecino et al., 2019), resistencia al intercambio de gases, buena transparencia, opacidad y biodegradable, además del bajo costo (Silva et al., 2024).

Mientras que, el extracto de ajo (*Allium sativum*), abundante en alicina, ha llamado la atención por sus potentes actividades antibacterianas y antioxidantes, capaces de inhibir diversos patógeno (Segovia et al., 2019; He and Wu, 2025). Entre otros componentes antioxidantes de mayor importancia se encuentra el selenio, la cisteína, glutamina, isoleucina y metionina (Jiménez, 2023).

En virtud de lo expuesto previamente, es necesario desarrollar un proceso para prolongar la vida útil de los huevos con cáscara, por lo tanto, la finalidad de esta investigación consistió en la formulación de un recubrimiento comestible a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) más extracto de ajo (*Allium sativum*) y la evaluación de su efecto para la conservación de la calidad de los huevos de gallina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los análisis pertinentes se realizaron dentro de las instalaciones de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, con su sede en la ciudad de Manta, específicamente en los laboratorios de la facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías.

Adquisición de insumos

Los insumos que se utilizaron consistieron en azúcar, sal, vinagre blanco, aceite de girasol y almidón de yuca (AY), todos de marcas comerciales, adquiridos en supermercados de la ciudad de Manta. Los reactivos como Agar Mac Conkey; caldo de cultivo SS Salmonella y agua destilada también fueron suministrado de manera comercial en el laboratorio Labsupply.

La *Salmonella ssp.* se adquirió en forma de alícuota donada por el Instituto de Biología en la Universidad Central de Quito.

Por otro lado, el extracto de ajo (EA) se obtuvo mediante el método de extracción hidroalcohólicas para material vegetal, utilizando una proporción 1:1 de ajo triturado y solución etanol-agua (70:30 v/v) preparada con etanol al 90%. La mezcla se mantuvo en maceración durante 2 horas con agitación ocasional a temperatura ambiente y posteriormente fue sometida a filtración para separar el extracto (Garmus et al., 2019; Artawinata et al., 2025).

Finalmente, los huevos de gallinas fueron adquiridos un día después de la puesta en la granja y distribuidora “Genetsa” ubicada vía la Pila- Montecristi, se seleccionaron solo aquellos huevos visiblemente limpios, que no tengan fisuras ni poros, sin presencia de heces o alguna otra suciedad.

Diseño experimental

La investigación se realizó mediante un diseño completamente al azar de 2x3, donde se evaluaron los efectos de dos niveles de concentración de AY, combinados con tres concentraciones de EA, tomando en cuenta dos factores, el primer factor correspondió al recubrimiento comestible y el segundo factor fue el tiempo de almacenamiento, que se estableció en cuatro niveles: 0, 10, 20 y 30 días.

Las concentraciones y codificación de los tratamientos se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Concentración para las formulaciones del recubrimiento.

Tratamientos	Concentración
T0	0% (control)
T1	2.5 % p/v AY – 1% p/v EA
T2	2.5 % p/v AY – 1.5 % p/v EA
T3	2.5 % p/v AY – 2 % p/v EA
T4	5 % p/v AY – 1% p/v EA
T5	5 % p/v AY – 1.5 % p/v EA
T6	5 % p/v AY – 2 % p/v EA

Nota: Concentraciones de almidón de yuca (AY) y extracto de ajo (EA)

Preparación del recubrimiento

El recubrimiento se preparó siguiendo el método descrito por (Sharaf Eddin and Tahergorabi, 2019), se disolvió una cantidad adecuada de AY al 2,5% y 5% en 1000 ml de agua destilada a una temperatura inicial de 25 °C. Una vez que la mezcla comenzó a gelatinizar, se mantuvo a una temperatura de ≤ 80 °C durante 30 minutos en un agitador magnético. Posteriormente, se incorporó glicerol al 2% y se agitó durante 5 minutos. El recubrimiento se enriqueció según los tratamientos establecidos, añadiendo EA al 1,0%, 1,5% y 2,0%, a una temperatura de 35 °C y homogeneizando la mezcla durante 5 minutos.

A continuación, los huevos fueron sumergidos manualmente en las soluciones de recubrimiento comestible a una temperatura de 24 °C durante 1 minuto, y luego se dejaron secar por 3 horas. Finalmente, los huevos se almacenaron en cajas de cartón para huevos a temperatura ambiente, manteniéndose entre 20 y 25 °C.

Huevos recubiertos con diferentes formulaciones aplicadas durante el estudio (Figura 1).



Figura 1: Huevos recubiertos con diferentes formulaciones de AY y EA. La imagen es representativa y no incluye todos los tratamientos.

Parámetros fisicoquímicos

Unidades de Haugh. Para calcular HU se utilizó el método de Haugh, 1937) y se obtiene mediante la ecuación 1:

$$HU = 100 \log(h - 1.7w)_{0.37} + 7.57$$

Donde h es la altura de la albúmina (mm) y w es el peso del huevo (g).

Pérdida de peso. Este método se expresa como un porcentaje y se calcula mediante la ecuación 2:

$$\text{Pérdida de peso}(\%) = \frac{(P_i - P_f) \times 100}{P_i}$$

Donde P_i es el peso inicial (día 0) mientras que P_f es el peso final luego de los días de almacenamiento.

pH. El huevo se separó manualmente, permitiendo observar la albúmina y la yema de manera individual, con ayuda del medidor de pH AC Infinity (AC-PHM3) se evaluó respectivamente cada uno.

Capacidad de formación de espuma y estabilidad de emulsión. Ambos parámetros se utilizó una batidora casera Electric life 208W. En el primer método, se batieron 28 g de albúmina durante 5 minutos y volumen de espuma creada se midió en valor de mililitros. Para la estabilidad de emulsión, se mezclaron 10 g de yema con 1,3 g de azúcar y 0,67 g de sal durante 4 minutos; luego se añadió gota a gota 40 ml de aceite, seguido de 4 ml de vinagre y se continuó durante 20 minutos más. La emulsión se dejó reposar 30 minutos y se midió el volumen de aceite separado (Ezazi et al., 2021).

Resistencia de la cáscara del huevo. Se evaluó utilizando el un analizador de textura Shimadzu EZ-LX (Japón) con una sonda de 2,96 de diámetro, 9 cm de largo y con una velocidad de 1mm/s, donde su fuerza máxima aplicada se registró en Newtons (N) y el valor obtenido se utilizó para determinar cuantitativamente la resistencia de la cáscara.

Espesor de la cáscara de huevo. Se evaluó utilizando un micrómetro de laboratorio, el espesor de la cáscara se midió en tres puntos diferentes (superior, medio e inferior). El espesor promedio, se calculó como la media de las

mediciones obtenidas en los tres puntos mencionados (Ezazi et al., 2021).

Color de la cáscara y yema. Los parámetros de color de la cáscara se determinaron según la escala de color CIELAB: L^* , a^* y b^* , utilizando un el colorímetro CR-400 head. Mientras que el color de la yema se realizó con el abanico de DMS-firmenich YolkFan™.

Prueba Antimicrobiana

La actividad antimicrobiana se evaluó mediante la técnica difusión en discos de agar siguiendo la metodología propuesta por (Wang et al., 2019), con algunas modificaciones. Se aplicó una suspensión bacteriana de *Salmonella ssp.* de 100 μL de (10^8 UFC/ mL^{-1}) sobre placas de Agar Mac Conkey, distribuyéndola uniformemente. Posteriormente, se le colocaron discos papel filtro de 6 mm de diámetro impregnados con las soluciones correspondiente a cada tratamiento. Las placas fueron incubadas a 30 °C durante 24 horas. La efectividad se determinó midiendo el diámetro de la zona inhibitoria (halo) en mm, utilizando una regla con apoyo del contador de colonias.

Análisis Estadístico

Todos los análisis se realizan por triplicado, se utilizó el análisis de varianza ANOVA para evaluar las diferencias significativas entre cada tratamiento, con un nivel de significancia de $P < 0,05$ (***). Posteriormente, se empleó la prueba de Turkey utilizando el software InfoStat (versión 2020) para la tabulación y análisis de los datos.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Unidad Haugh

La Tabla 2 muestra los valores medios de Unidad Haugh (HU) registrados en los diferentes tratamientos durante los 30 días de almacenamiento. El tratamiento control (T0) inició con un

valor de $69,17 \pm 13,01$, descendiendo significativamente hasta $48,21 \pm 6,17$ en el día 20, mostrando una leve recuperación al día 30 ($51,69 \pm 5,21$), lo que refleja el deterioro progresivo de la calidad interna del huevo no recubierto.

El tratamiento T1 mostró un descenso gradual, manteniéndose dentro de la categoría “A”. Por su parte, el tratamiento T2 mostró el mejor comportamiento, aumentando de $67,51 \pm 8,54$ a $73,80 \pm 5,02$ en el día 10 y manteniéndose alto hasta el final. El tratamiento T3 alcanzó su valor más alto en el día 10 ($74,57 \pm 11,32$), pero cayó a $56,96 \pm 9,91$ al día 30.

T4 y T5 iniciaron con buenos valores ($70,94 \pm 4,41$ y $74,45 \pm 8,56$, respectivamente), pero mostraron una tendencia a la disminución al día 20, especialmente T5, que cayó a $50,94 \pm 8,51$, aunque ambos tratamientos lograron mantener valores superiores a 60 al final del estudio. El tratamiento T6 mostró una mejora moderada, pasando de $66,32 \pm 13,40$ a $60,90 \pm 5,66$, con un comportamiento más constante durante todo el período de almacenamiento.

A pesar de las diferencias numéricas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la mayoría de los tiempos evaluados (***), con excepción

del día 20, donde algunos tratamientos (como T0 y T5) presentaron una caída significativa en comparación con los demás.

Según Pham et al. (2023) valores entre 55 a 78 se consideran “A” (buenos), los valores entre 31 y 54 se clasifican como “B” (malos) y los valores menores a 30 se clasifican como “C” (muy malos). La reducción de HU se asocia con la migración de humedad, lo cual provoca cambios de viscosidad del albumen; además puede ocurrir una difusión de dióxido de carbono a través de la cáscara lo que atribuye a la reducción del HU (Brasil et al., 2019; Pires et al., 2020). Este fenómeno está relacionado, a su vez, con la desnaturalización de proteínas como la ovomucina, clave en la estructura gelatinosa de la albúmina (Jariyapamornkoon et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado la eficacia de mantener las HU. Al Awwaly et al. (2024) reportaron valores entre 68 a 94 con recubrimientos de quitosano-caseína y aceite ajo; Pham et al. (2023) destacaron mayor eficacia del almidón al 4% y Jariyapamornkoon et al. (2024) resaltaron la utilidad de pectina de cáscara de durian en la preservación de la HU.

Los datos indican que este estudio contribuyó a conservar la calidad interna del huevo, limitando el deterioro estructural de la albúmina reflejado en la Unidad Haugh.

Tabla 2. Unidad Haugh en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	$69,17 \pm 13,01^a$	$53,55 \pm 6,73^a$	$48,21 \pm 6,17^b$	$51,69 \pm 5,21^a$
T1	$77,26 \pm 1,88^a$	$67,43 \pm 10,09^a$	$68,98 \pm 5,80^a$	$61,31 \pm 7,02^a$
T2	$67,51 \pm 8,54^a$	$73,80 \pm 5,02^a$	$70,73 \pm 5,32^a$	$64,95 \pm 5,88^a$
T3	$70,20 \pm 11,12^a$	$74,57 \pm 11,32^a$	$60,45 \pm 6,65^{ab}$	$56,96 \pm 9,91^a$
T4	$70,94 \pm 4,41^a$	$68,95 \pm 5,83^a$	$61,19 \pm 4,47^{ab}$	$61,35 \pm 6,90^a$
T5	$74,45 \pm 8,56^a$	$69,35 \pm 4,45^a$	$50,94 \pm 8,51^b$	$61,98 \pm 5,74^a$
T6	$66,32 \pm 13,40^a$	$63,72 \pm 7,12^a$	$62,87 \pm 7,30^{ab}$	$60,90 \pm 5,66^a$

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Pérdida de peso

En la gráfica 1. se presentan los porcentajes de pérdida de peso registrados durante el periodo de almacenamiento. Todos los tratamientos iniciaron con valores iguales a cero. El grupo control (T0) mostró un aumento progresivo, alcanzando $7,37 \pm 2,06$ % al día 30, valor significativamente mayor al resto (***). En contraste, los tratamientos T1, T4, T5 y T6 mantuvieron pérdidas finales por debajo del 3 %, dentro del rango aceptable según la FAO (2003) que es de 2 a 3%. El T2 y T3 presentaron valores intermedios ($3,38 \pm 0,99$ % y $4,86 \pm 1,52$ %, respectivamente), con una tendencia oscilante.

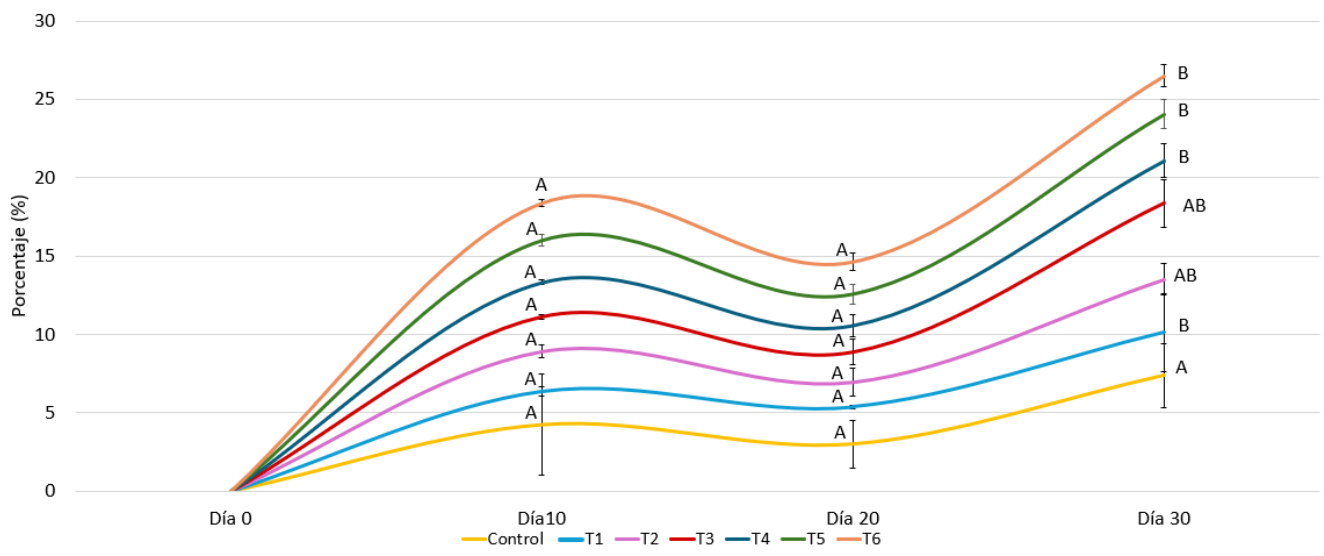
La pérdida de peso promedio que obtuvo Pham et al. 2023 fue de 3,07 % enfatizando que el aumento del contenido de

almidón mejora la capacidad barrera del recubrimiento, debido a un mayor espesor y menor permeabilidad. Resultados similares fueron encontrados por Jariyapamornkoon et al. (2024) con pectina de cáscara de durian y Rachtanapun et al. (2021) con metilcelulosas y cera.

La pérdida de peso en huevos durante el almacenamiento se atribuye principalmente a la evaporación de agua y la liberación de CO_2 a través de pequeños poros de los huevos (Pham et al. 2023).

Los tratamientos con recubrimientos demostraron una protección eficaz contra la deshidratación, ayudando a conservar la masa y prolongar la vida útil del huevo.

Gráfica 1. Pérdida de peso (%) en huevos recubiertos en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.



pH de la albúmina

La Tabla 3 muestra los valores de pH de la albúmina. Inicialmente, todos los tratamientos presentaron valores dentro del rango típico de huevos frescos (7,6–8,5) (Jariyapamornkoon et al., 2024), sin diferencias significativas. No obstante, se observó un incremento generalizado durante

el almacenamiento, más pronunciado en el tratamiento control (T0), que alcanzó $9,53 \pm 0,06$ al día 10. En ese mismo

punto, el tratamiento T4 registró el valor más bajo ($8,97 \pm 0,15$), con diferencia significativa (***).

Este aumento del pH se relaciona con la pérdida de CO₂, lo cual altera el equilibrio ácido-base y la estructura proteica de la clara, favoreciendo un medio más alcalino (Jariyapamornkoon et al., 2024; Umam et al., 2024). Los recubrimientos actuaron como barreras al intercambio de gases, mitigando este efecto. Pham et al. (2023) y Jariyapamornkoon et al. (2024) también reportaron que los

recubrimientos basados en almidón y pectina, respectivamente, lograron reducir el incremento del pH.

Los recubrimientos comestibles empleados contribuyeron a estabilizar el pH de la albúmina, ayudando a preservar su estructura y funcionalidad durante el almacenamiento.

Tabla 3. pH de la albúmina en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	8,00 ± 0,76 ^a	9,53 ± 0,06 ^a	8,64 ± 0,28 ^a	9,23 ± 0,06 ^a
T1	8,42 ± 0,33 ^a	9,20 ± 0,00 ^{ab}	8,41 ± 0,44 ^a	8,60 ± 0,78 ^a
T2	8,73 ± 0,93 ^a	9,23 ± 0,15 ^{ab}	8,89 ± 0,65 ^a	8,93 ± 0,38 ^a
T3	8,50 ± 0,61 ^a	9,13 ± 0,38 ^{ab}	9,21 ± 0,44 ^a	9,27 ± 0,06 ^a
T4	8,28 ± 0,43 ^a	8,97 ± 0,15 ^b	9,15 ± 0,10 ^a	8,33 ± 0,32 ^a
T5	8,12 ± 0,56 ^a	9,37 ± 0,15 ^{ab}	9,05 ± 0,26 ^a	9,20 ± 0,10 ^a
T6	8,26 ± 1,03 ^a	9,30 ± 0,00 ^{ab}	8,95 ± 0,37 ^a	8,57 ± 0,60 ^a

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

pH de la yema

La evolución del pH de la yema se presenta en la Tabla 4. Al día 0, los valores oscilaron entre 6,26 ± 0,06 (T5) y 6,60 ± 0,35 (T2), sin diferencias significativas. Para el día 10, se observó un incremento en el control (T0), mientras que los tratamientos recubiertos, como T2 y T6, mantuvieron niveles más estables.

El aumento más marcado ocurrió al día 20 en T3, T6 y T4, alcanzando 8,33 ± 0,51, 7,96 ± 0,30 y 7,93 ± 0,31, respectivamente, con diferencias estadísticamente significativas. Al día 30, los valores se estabilizaron, con el tratamiento T4 presentando el pH más bajo (6,43 ± 0,15).

El incremento del pH de la yema está asociado con la migración de agua desde la albúmina y la pérdida de CO₂, que

alteran la capacidad tampón interna (Al Awwaly et al., 2024).

Este proceso es más evidente en huevos sin recubrimiento.

Los tratamientos recubiertos mostraron una capacidad de protección superior, coincidiendo con resultados previos de Al Awwaly et al. (2024) con promedios de 6,26 en el d-0 y 6,91 en d-28, en caso de Oliveira et al. (2022) sus valores en huevos no recubiertos fueron de significativamente diferentes con valores desde 9,33 y 6,71, mientras que, los huevos recubiertos fueron de 8,99 a 6,33.

Por tanto, los recubrimientos no solo favorecieron la estabilidad de la albúmina, sino que también ejercieron un efecto positivo sobre la yema, al controlar su alcalinización y preservar su calidad.

Tabla 4. pH de la yema en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	6,53 ± 0,74 ^a	7,10 ± 1,48 ^a	7,39 ± 0,53 ^{ab}	6,73 ± 0,06 ^{ab}
T1	6,35 ± 0,32 ^a	6,97 ± 0,47 ^a	7,79 ± 0,67 ^a	6,50 ± 0,10 ^{ab}
T2	6,60 ± 0,35 ^a	6,30 ± 0,10 ^a	6,59 ± 0,17 ^b	6,60 ± 0,30 ^{ab}
T3	6,29 ± 0,21 ^a	6,53 ± 0,12 ^a	8,33 ± 0,51 ^a	7,07 ± 0,15 ^a
T4	6,53 ± 0,08 ^a	6,80 ± 0,87 ^a	7,93 ± 0,31 ^a	6,43 ± 0,15 ^b
T5	6,26 ± 0,06 ^a	6,77 ± 0,91 ^a	7,43 ± 0,17 ^{ab}	6,68 ± 0,33 ^{ab}
T6	6,47 ± 0,10 ^a	6,30 ± 0,17 ^a	7,96 ± 0,30 ^a	6,63 ± 0,21 ^{ab}

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Capacidad de formación de espuma

La Tabla 5 presenta los valores de capacidad de formación de espuma (mL) obtenidos en los diferentes tratamientos durante los 30 días de almacenamiento. Al inicio del ensayo (día 0), los valores oscilaron entre 148,33 ± 16,07 (T3) y 170,67 ± 1,16 (T6), sin registrarse diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (***). Para el día 10, se observó un aumento en la mayoría de los tratamientos, destacando T5 con el valor más alto (176,67 ± 23,50) y T3 con el más bajo (126,67 ± 15,28), con diferencias significativas. En el día 20, la mayoría de los tratamientos evidenciaron un descenso, siendo T2 el que presentó el valor más bajo (132,33 ± 20,40), aunque sin diferencias estadísticas entre grupos. Al día 30, los valores se mantuvieron en un rango entre 153,67

± 29,00 (T2) y 171,66 ± 17,56 (T1), sin diferencias significativas.

Estos resultados se mantuvieron dentro del rango reportado por Ezazi et al. (2021), quienes atribuyeron la capacidad espumante de la albúmina a la integridad proteica y al pH. Durante el almacenamiento, el aumento del pH transforma la fracción espesa en más fluida, reduciendo la retención de aire al batir. En su estudio, recubrimientos comestibles con quitosano y propóleo mejoraron esta capacidad hasta en un 90 %, según la concentración, sin diferencias significativas entre factores.

En este estudio, todos los tratamientos mantuvieron valores superiores a 120 mL, con fluctuaciones que podrían atribuirse a variaciones en la eficacia de las formulaciones aplicadas.

Tabla 5: Capacidad de formación de espuma en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	164,00 ± 10,39 ^a	171,67 ± 20,21 ^{ab}	170,00 ± 10,00 ^a	171,66 ± 17,56 ^a
T1	150,00 ± 21,79 ^a	136,67 ± 11,55 ^b	158,33 ± 10,41 ^a	163,00 ± 29,00 ^a
T2	160,00 ± 20,00 ^a	166,67 ± 15,28 ^{ab}	132,33 ± 20,40 ^a	153,67 ± 26,01 ^a
T3	148,33 ± 16,07 ^a	126,67 ± 15,28 ^b	143,33 ± 20,82 ^a	161,00 ± 26,89 ^a
T4	166,67 ± 15,28 ^a	141,67 ± 9,61 ^{ab}	160,00 ± 5,00 ^a	163,00 ± 12,12 ^a
T5	152,33 ± 21,13 ^a	176,67 ± 23,50 ^a	140,00 ± 10,00 ^a	168,33 ± 4,73 ^a
T6	170,67 ± 1,16 ^a	148,33 ± 10,41 ^{ab}	160,00 ± 20,00 ^a	165,00 ± 25,06 ^a

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Estabilidad de emulsión

En la Tabla 6 se muestran los valores correspondientes a la estabilidad de emulsión (mL) durante el periodo de almacenamiento. En el día 0, los valores fluctuaron entre $31,67 \pm 1,53$ (T6) y $37,00 \pm 1,00$ (T2), sin observarse diferencias significativas. Para el día 10, los resultados se mantuvieron similares, destacando nuevamente el tratamiento T2 con $38,33 \pm 1,53$, sin diferencias estadísticas. En el día 20, T2 alcanzó el valor más alto ($40,00 \pm 1,73$), mientras que T6 obtuvo el más bajo ($34,00 \pm 2,00$), con diferencias significativas. Al final del almacenamiento (día 30), los valores oscilaron entre $33,00 \pm 2,65$ (T2 y T5) y $38,00 \pm 1,00$ (T4), sin diferencias estadísticas entre tratamientos.

Los valores registrados se ubicaron dentro del rango reportado por Ezazi et al. (2021), quienes documentaron porcentajes de separación de aceite entre 30 a 38 en huevos recubiertos con quitosano y propóleo. Según estos autores, la absorción de agua por parte de la albúmina durante el almacenamiento reduce la viscosidad de la yema, afectando negativamente la estabilidad de la emulsión. En este estudio, la mayoría de los tratamientos conservaron una estabilidad relativamente constante, sin incrementos marcados. Si bien las formulaciones utilizadas pueden influir en la estabilidad, los efectos de los componentes funcionales no siempre resultan estadísticamente significativos, lo cual coincide con las tendencias observadas.

Tabla 6. Estabilidad de emulsión en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	$32,67 \pm 3,06^a$	$36,33 \pm 2,31^a$	$35,00 \pm 0,00^{bc}$	$37,67 \pm 4,04^a$
T1	$32,67 \pm 3,22^a$	$37,33 \pm 2,08^a$	$35,33 \pm 1,53^{bc}$	$34,67 \pm 4,16^a$
T2	$37,00 \pm 1,00^a$	$38,33 \pm 1,53^a$	$40,00 \pm 1,73^a$	$33,00 \pm 2,65^a$
T3	$36,00 \pm 3,61^a$	$34,00 \pm 4,00^a$	$38,00 \pm 1,73^{ab}$	$36,33 \pm 1,53^a$
T4	$36,67 \pm 2,08^a$	$34,67 \pm 2,31^a$	$35,00 \pm 1,00^{bc}$	$38,00 \pm 1,00^a$
T5	$35,67 \pm 2,89^a$	$36,00 \pm 1,00^a$	$35,33 \pm 0,58^{bc}$	$33,00 \pm 3,46^a$
T6	$31,67 \pm 1,53^a$	$34,00 \pm 3,61^a$	$34,00 \pm 2,00^c$	$33,67 \pm 1,53^a$

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Resistencia de la cáscara del huevo

La resistencia de la cáscara es un indicador fundamental de la calidad externa del huevo, ya que protege su contenido frente a daños mecánicos durante transporte y almacenamiento (Sharaf et al., 2019). En la Tabla 6 se presentan los valores promedio de resistencia (N) en función del tratamiento y tiempo. No se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (***)

El tratamiento control (T0) mostró un aumento progresivo, , pasando de $38,35 \pm 1,72$ N al inicio hasta $48,22 \pm 5,26$ N al día 30, probablemente asociado a la pérdida de humedad superficial que induce una mineralización temporal y mayor rigidez de la cáscara (Sharaf and Tahergorabi, 2019).

El T2 exhibieron un comportamiento variable, con un pico máximo de $54,42 \pm 3,72$ N al día 20 seguido por un descenso a $38,91 \pm 6,65$ N al día 30, posiblemente debido a alteraciones en la microestructura causada por la interacción del

recubrimiento con la matriz calcárea. En contraste, T3 mostró una recuperación al final del almacenamiento, aumentando de $39,85 \pm 2,66$ N en el día 20 a $49,98 \pm 6,51$ N en el día 30.

Los tratamientos T1, T4 y T5 mantuvieron valores relativamente estables a lo largo del tiempo. T1 alcanzó su punto máximo en el día 20 con $47,99 \pm 7,57$ N, mientras que T5 mantuvo un nivel elevado desde el día 20 ($50,31 \pm 6,22$ N) hasta el final ($46,76 \pm 3,42$ N), lo cual sugiere que estos recubrimientos podrían haber contribuido parcialmente a preservar la integridad estructural.

El tratamiento T6 presentó un comportamiento ligeramente descendente hacia el final del período ($43,87 \pm 5,26$ N),

aunque mantuvo valores intermedios en todas las mediciones.

Los recubrimientos comestibles han demostrado disminuir la aparición de microgrietas y mantener la integridad estructural de la cáscara (Pham et al., 2023). Sin embargo, en este estudio, la ausencia de diferencias significativas sugiere que los tratamientos aplicados no modificaron sustancialmente esta propiedad dentro del periodo evaluado. Esto podría atribuirse a que la resistencia se relaciona con el espesor y la organización mineral de la cáscara, factores que posiblemente no fueron modificados por los recubrimientos aplicados. (Sharaf et al., 2019).

Tabla 7. Resistencia de la cáscara del huevo (N) en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	$38,35 \pm 1,72^a$	$39,01 \pm 1,79^a$	$45,31 \pm 2,63^a$	$48,22 \pm 5,26^a$
T1	$39,14 \pm 3,27^a$	$40,14 \pm 3,27^a$	$47,99 \pm 7,57^a$	$44,60 \pm 5,51^a$
T2	$45,55 \pm 9,91^a$	$46,55 \pm 9,91^a$	$54,42 \pm 3,72^a$	$38,91 \pm 6,65^a$
T3	$44,30 \pm 4,20^a$	$45,30 \pm 4,20^a$	$39,85 \pm 2,66^a$	$49,98 \pm 6,51^a$
T4	$38,35 \pm 6,09^a$	$39,35 \pm 6,09^a$	$47,24 \pm 8,17^a$	$48,53 \pm 8,36^a$
T5	$38,41 \pm 8,68^a$	$39,41 \pm 8,68^a$	$50,31 \pm 6,22^a$	$46,76 \pm 3,42^a$
T6	$42,68 \pm 7,09^a$	$43,68 \pm 7,09^a$	$47,01 \pm 8,03^a$	$43,87 \pm 5,26^a$

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Espesor de la cascará de huevo

El espesor de la cáscara es un parámetro determinante en la resistencia mecánica y en la protección contra contaminantes (Pham et al., 2023; Sharaf et al., 2019). La Tabla 8 muestra los promedios de espesor (mm) según tratamiento y día de almacenamiento. Solo en el día 20 se registraron diferencias estadísticas significativas, con el tratamiento T5 presentando el valor más bajo ($0,42 \pm 0,08$ mm), estadísticamente diferente de T0 ($0,63 \pm 0,06$ mm).

Los valores se mantuvieron relativamente estables en la mayoría de los tratamientos, lo que indica que los recubrimientos comestibles aplicados no afectaron negativamente la estructura mineral de la cáscara. Se ha señalado que estos recubrimientos actúan como barreras que reducen la pérdida de humedad, disminuyen la porosidad y sellan microgrietas, contribuyendo a preservar la integridad física del huevo (Pham et al. 2023).

Sin embargo, la reducción en T5 y T1 podría reflejar una formulación menos eficiente o una pérdida superficial gradual

de calcio. Sharaf et al. (2019) destacan que factores metabólicos pueden afectar la calidad de la cáscara, especialmente en huevos de gallinas mayores, aunque no aplica directamente al presente estudio, enfatizando la importancia del metabolismo del calcio para la conservación del espesor.

El espesor mostró una correspondencia general con los valores de resistencia, confirmando la correlación estructural entre ambos parámetros (Ezazi et al., 2021; Sharaf et al., 2019).

Tabla 8. Espesor de la cascará de huevo (mm) en función del tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	0,69 ± 0,02 ^a	0,60 ± 0,12 ^a	0,63 ± 0,06 ^a	0,50 ± 0,07 ^a
T1	0,61 ± 0,06 ^a	0,59 ± 0,12 ^a	0,47 ± 0,05 ^{ab}	0,43 ± 0,06 ^a
T2	0,50 ± 0,06 ^a	0,55 ± 0,14 ^a	0,50 ± 0,04 ^{ab}	0,44 ± 0,10 ^a
T3	0,55 ± 0,03 ^a	0,59 ± 0,14 ^a	0,47 ± 0,08 ^{ab}	0,53 ± 0,10 ^a
T4	0,58 ± 0,13 ^a	0,44 ± 0,05 ^a	0,48 ± 0,10 ^{ab}	0,50 ± 0,10 ^a
T5	0,58 ± 0,01 ^a	0,59 ± 0,09 ^a	0,42 ± 0,08 ^b	0,54 ± 0,07 ^a
T6	0,51 ± 0,09 ^a	0,55 ± 0,09 ^a	0,52 ± 0,07 ^{ab}	0,44 ± 0,05 ^a

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Color de yema (Escala YolkFan™)

El color de la yema es atributo sensorial clave que los consumidores asocian con la calidad del huevo. Esto se debe a la intensidad del color que refleja presencia de carotenoides, como luteína y zeaxantina, adquiridos a través de la alimentación de las gallinas (Nys and Guyot 2011).

La Tabla 9 muestra los valores del color de la yema evaluados mediante la escala YolkFan™ durante 30 días de almacenamiento. En el día 0, los valores oscilaron entre 13,00 ± 1,00 (T6) y 15,00 ± 1,00 (T1), sin diferencias significativas entre tratamientos (***). A los 10 días, la mayoría de los tratamientos mantuvo valores similares a los iniciales, aunque T6 presentó un leve incremento hasta 15,00 ± 0,00.

Al día 20, se registró un ligero descenso en algunos tratamientos, principalmente T2 y T5, con valores de 12,67 ±

2,52 y 12,67 ± 1,16, respectivamente. Sin embargo, al finalizar el almacenamiento (día 30), el color se mantuvo estable entre 13,67 ± 0,58 y 15,00 ± 1,00, sin diferencias significativas. Estos resultados indican que el color de la yema se preservó consistentemente durante el almacenamiento, independientemente del recubrimiento aplicado.

Estos resultados indican que el color de la yema se mantuvo constante durante el almacenamiento lo que es crucial para la calidad interna del huevo y la aceptación del consumidor, ya que está asociado a la integridad de la membrana perivitelina (Sharaf et al., 2019).

De manera similar, los hallazgos de Oliveira et al. (2022) mostraron que el recubrimiento no modificó el color de la yema, lo que sugiere que ni el tratamiento ni el tiempo de almacenamiento afectaron esta característica sensorial.

Tabla 9: Color de la yema con la escala Yolk Fan™ en función de tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
T0	14,33 ± 0,58 ^{ab}	14,67 ± 0,58 ^a	13,00 ± 1,73 ^a	15,00 ± 0,00 ^a
T1	15,00 ± 1,00 ^a	15,00 ± 0,00 ^a	14,00 ± 0,00 ^a	13,67 ± 0,58 ^a
T2	14,00 ± 0,00 ^{ab}	14,00 ± 1,00 ^a	12,67 ± 2,52 ^a	13,67 ± 0,58 ^a
T3	13,67 ± 0,58 ^{ab}	14,33 ± 0,58 ^a	14,00 ± 1,00 ^a	14,00 ± 1,00 ^a
T4	14,33 ± 0,58 ^{ab}	14,00 ± 0,00 ^a	14,00 ± 0,00 ^a	15,00 ± 1,00 ^a
T5	13,67 ± 0,58 ^{ab}	14,33 ± 0,58 ^a	12,67 ± 1,16 ^a	14,00 ± 1,00 ^a
T6	13,00 ± 1,00 ^b	15,00 ± 0,00 ^a	12,67 ± 1,53 ^a	14,33 ± 0,58 ^a

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Color de la cáscara (parámetros L^* , a^* , b^*)

En la Tabla 10 se muestran los valores finales tras 30 días de almacenamiento. Todos los tratamientos exhibieron un incremento en L^* respecto a los valores iniciales, con rangos entre $78,85 \pm 7,62$ (T2) y $82,09 \pm 6,18$ (T0), sin diferencias estadísticas significativas. Este aumento en luminosidad podría relacionarse con el impacto de dispersión de luz generado por microgotas de aceite en la película protectora (Sharaf and Tahergorabi, 2019).

Los valores de a^* presentaron pequeñas fluctuaciones sin tendencia clara, manteniéndose entre $2,39 \pm 2,11$ (T4, día 20)

y $5,53 \pm 3,87$ (T2, día 30). El parámetro b^* mostró una reducción generalizada, aunque no significativa.

Estos resultados evidencian que los recubrimientos aplicados preservaron eficazmente las propiedades cromáticas tanto externas como internas del huevo durante el almacenamiento, manteniendo niveles aceptables para el consumidor y sin provocar efectos adversos en las características ópticas. Esto respalda su potencial aplicación comercial en la industria avícola (Sharaf et al., 2019).

Tabla 10. Parámetros de color (L^* , a^* , b^*) en huevos recubiertos durante el almacenamiento.

Escala	Tratamiento	D-0	D-10	D-20	D-30
L^*	T0	73,50 ± 4,57 ^a	77,20 ± 6,09 ^a	79,75 ± 8,14 ^a	82,09 ± 6,18 ^a
	T1	77,85 ± 4,40 ^a	76,34 ± 1,81 ^a	78,52 ± 3,94 ^a	79,19 ± 1,68 ^a
	T2	80,85 ± 8,40 ^a	75,61 ± 8,58 ^a	76,56 ± 8,49 ^a	78,85 ± 7,62 ^a
	T3	76,77 ± 5,88 ^a	76,70 ± 1,14 ^a	74,82 ± 3,27 ^a	80,92 ± 2,61 ^a
	T4	79,69 ± 1,36 ^a	82,72 ± 4,96 ^a	84,15 ± 4,49 ^a	81,14 ± 2,16 ^a
	T5	79,22 ± 1,86 ^a	80,06 ± 3,19 ^a	80,09 ± 2,96 ^a	79,54 ± 5,02 ^a
	T6	80,42 ± 4,01 ^a	82,49 ± 5,12 ^a	86,29 ± 9,69 ^a	81,36 ± 4,37 ^a
a^*	T0	4,26 ± 0,71 ^a	4,13 ± 3,60 ^a	4,40 ± 4,08 ^a	3,76 ± 1,88 ^a
	T1	3,94 ± 1,26 ^a	4,57 ± 2,37 ^a	5,01 ± 3,01 ^a	4,13 ± 0,74 ^a
	T2	3,07 ± 2,72 ^a	4,62 ± 4,30 ^a	4,69 ± 4,24 ^a	5,53 ± 3,87 ^a
	T3	5,47 ± 2,88 ^a	5,25 ± 2,51 ^a	5,01 ± 0,87 ^a	3,88 ± 2,09 ^a
	T4	3,62 ± 0,83 ^a	2,38 ± 2,16 ^a	2,39 ± 2,11 ^a	3,63 ± 2,08 ^a
	T5	3,06 ± 1,96 ^a	3,71 ± 1,71 ^a	4,77 ± 1,59 ^a	4,08 ± 1,40 ^a

	T6	3,44 ± 2,22 ^a	2,69 ± 2,28 ^a	2,42 ± 2,36 ^a	3,63 ± 0,41 ^a
b*	T0	20,19 ± 1,66 ^a	18,34 ± 5,10 ^a	19,33 ± 5,67 ^a	19,30 ± 6,23 ^a
	T1	19,85 ± 2,83 ^a	18,82 ± 5,55 ^a	19,04 ± 6,40 ^a	20,02 ± 0,93 ^a
	T2	16,47 ± 8,01 ^a	21,25 ± 6,83 ^a	20,81 ± 7,22 ^a	18,53 ± 5,34 ^a
	T3	18,34 ± 2,67 ^a	20,97 ± 5,37 ^a	22,60 ± 1,83 ^a	18,10 ± 4,25 ^a
	T4	20,31 ± 1,44 ^a	16,66 ± 4,38 ^a	16,28 ± 2,78 ^a	18,82 ± 3,50 ^a
	T5	19,48 ± 3,00 ^a	19,08 ± 2,96 ^a	20,37 ± 3,42 ^a	20,00 ± 1,58 ^a
	T6	17,36 ± 4,52 ^a	17,46 ± 5,57 ^a	17,81 ± 5,79 ^a	18,26 ± 1,55

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Método de difusión en agar

La Tabla 11 presenta los halos de inhibición obtenidos mediante el método de difusión en agar, utilizado para evaluar la actividad antimicrobiana de los recubrimientos aplicados a los huevos tras 48 horas de incubación. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (***)

El tratamiento control (T0) no mostró actividad antimicrobiana, reflejada en la ausencia total de halo de inhibición ($0,00 \pm 0,00$ mm). De manera similar, los tratamientos T1, T2 y T3 exhibieron halos muy reducidos, con promedios de $1,67 \pm 2,89$ mm, $0,67 \pm 1,16$ mm y $2,00 \pm 1,00$ mm respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos, lo que indica una mínima o nula capacidad inhibitoria en estos recubrimientos.

Por el contrario, los tratamientos T4, T5 y T6 mostraron halos considerablemente mayores, con valores promedio de $7,67 \pm 2,89$ mm, $7,00 \pm 1,00$ mm y $5,67 \pm 1,16$ mm, respectivamente, evidenciando una actividad antimicrobiana significativamente más pronunciada. Esto sugiere que las formulaciones utilizadas en estos tratamientos poseen compuestos bioactivos capaces de inhibir eficazmente el crecimiento bacteriano en la superficie del huevo.

Estos resultados concuerdan con los reportes de Sharaf and Tahergorabi (2019) quienes destacaron que recubrimientos comestibles elaborados a base de almidón con extractos vegetales, como aceite esencial de tomillo, lograron inhibir significativamente el crecimiento de *Salmonella enterica* en huevos, especialmente a concentraciones superiores al 4%. De manera similar, Ezazi et al. (2021), indicaron que los recubrimientos con propiedades antimicrobianas refuerzan la barrera física de la cáscara, limitando la penetración bacteriana a través de los poros, cuya densidad puede alcanzar hasta 17.000 por huevo.

Jariyapamornkoon et al. (2024) explicaron que, aunque la cáscara constituye una barrera natural, durante el almacenamiento puede presentar microgrietas o incrementos en la porosidad que facilitan la entrada de microorganismos, especialmente en condiciones de humedad elevada.

Este estudio respalda las observaciones de Sharaf et al. (2019) quienes reportaron que los huevos recubiertos mantuvieron una carga microbiana menor en comparación con huevos no recubiertos, prolongando la vida útil y disminuyendo riesgos de contaminación exógena.

Tabla 11. Halo de inhibición (mm) observado mediante el método de difusión en agar frente a *Salmonella spp.* luego de 48h.

Tratamiento	Halo (mm)
T0	0,00 ± 0,00 ^c
T1	1,67 ± 2,89 ^{bc}
T2	0,67 ± 1,16 ^c
T3	2,00 ± 1,00 ^{bc}
T4	7,67 ± 2,89 ^a
T5	7,00 ± 1,00 ^a
T6	5,67 ± 1,16 ^{ab}

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$)

CONCLUSION

El presente trabajo se logró formular con éxito las seis variables utilizando 2,5% y 5% p/v de AY y tres concentraciones de ajo al 1, 1.5, 2 % generando recubrimientos con propiedades físicas y químicas adecuadas para su aplicación mediante inmersión.

Los parámetros medidos (UH, pérdida de peso, pH de albumina y yema, capacidad espumante, estabilidad de emulsión, resistencia y espeso de la cáscara, color de la yema y cáscara) demostraron que los recubrimientos mantuvieron y retardaron la calidad de los huevos durante los 30 días de almacenamiento en temperaturas de 20 a 25°C.

Los ensayos de difusión en agar mostraron halos de inhibición significativos en los tratamientos de mayor concentración de EA. Esto nos confirma que la combinación utilizada puede actuar como agente antimicrobiano efectivo, contribuyendo a reducir la carga microbiana en la superficie.

REFERENCIAS

Al Awwaly KU, Widyastuti ES, Apriliyani MW, et al (2024) The Effect of Casein-Chitosan Edible Coating with Garlic Essential Oil Addition on pH, Haugh Unit and Egg Yolk Index Fresh Chicken Egg on Different Storage. BIO Web

Conf 88:00041.

<https://doi.org/10.1051/BIOCONF/20248800041>

Araújo Soares R, Borges SV, Dias MV, et al (2021) Impact of whey protein isolate/sodium montmorillonite/sodium metabisulfite coating on the shelf life of fresh eggs during storage. LWT 139:110611. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110611>

Artawinata PC, Kim Y, Choi IY, Park MK (2025) Broad Antibacterial Activity and Mechanism of Garlic (*Allium sativum* L. cv. Uiseong) Extracts against Cell Wall of *Aeromonas hydrophila*. J Microbiol Biotechnol 35:e2410035. <https://doi.org/10.4014/JMB.2410.10035>

Azeredo HMC, Otoni CG, Mattoso LHC (2022) Edible films and coatings – Not just packaging materials. Curr Res Food Sci 5:1590–1595. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2022.09.008>

Brasil RJM, Cruz FGG, Rufino JPF, et al (2019) Physical-Chemical and Sensorial Quality of Eggs Coated With Copaiba Oil Biofilm and Stored At Room Temperature for Different Periods. Brazilian Journal of Poultry Science 21:eRBCA-2019-0930. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0930>

- Ezazi A, Javadi A, Jafarizadeh-Malmiri H, Mirzaei H (2021) Development of a chitosan-propolis extract edible coating formulation based on physico-chemical attributes of hens' eggs: Optimization and characteristics edible coating of egg using chitosan and propolis. *Food Biosci* 40:. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100894>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2003) Egg Marketing - A Guide for the Production and Sale of Eggs. FAO Agricultural Services Bulletin 150 57–62
- Garmus TT, Kopf SFM, Paula JT, et al (2019) Ethanolic and hydroalcoholic extracts of pitanga leaves (*eugenia uniflora* L.) and their fractionation by supercritical technology. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 36:1041–1051. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190362S20180159>
- Guier M, Davidovich G, Wong E, Cubero E (2022) Microbiological and physicochemical quality and flavor of hen eggs produced under grazing or conventional systems. *Agronomia Mesoamericana* 33:. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.46140>
- Haugh R (1937) The Haugh unit for measuring egg quality
- He Y, Wu S (2025) Chitosan–garlic extract coating improves germination, antioxidant defense, and antifungal protection of soybean seeds during summer storage. *J Stored Prod Res* 114:102724. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2025.102724>
- Hidas KI, Németh C, Le Nguyen LP, et al (2021) Effect of cryogenic freezing on the rheological and calorimetric properties of pasteurized liquid egg yolk. *Czech Journal of Food Sciences* 39:181–188. <https://doi.org/10.17221/37/2021-CJFS>
- Isaza J, Suárez C, Serrano P, et al (2021) Evaluación de escala visual como medida de calidad interna y frescura de huevo comercial. *Rev MVZ Cordoba* 26:e2031–e2031. <https://doi.org/10.21897/RMVZ.2031>
- Jaramillo JF (2024) Día Nacional del Huevo de Mesa - CONAVE. <https://conave.org/por-sexto-aniversario-consecutivo-el-ecuador-celebra-el-dia-nacional-del-huevo-de-mesa/>. Accessed 17 Jul 2025
- Jariyapamornkoon N, Chalerysart W, Soxvisas A, et al (2024) Durian rind pectin blended with nisin coating to preserve egg quality and reduce bacteria. *Applied Food Research* 4:100503. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100503>
- Jiménez F (2023) Extracción por ultrasonido de compuestos bioactivos de ajo (*Allium Sativum*) para su aplicación como antioxidante natural en carne para hamburguesa. 1–80
- Nereyda E, Saucedo R (2011) Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. 7:
- Nys Y, Guyot N (2011) Egg formation and chemistry. Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Egg Chemistry, Production and Consumption 83–132. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>
- Oliveira G da S, McManus C, Pires PG da S, dos Santos VM (2022) Combination of cassava starch biopolymer and essential oils for coating table eggs. *Front Sustain Food*

- Syst 6:957229.
<https://doi.org/10.3389/FSUFS.2022.957229/BIBTEX>
- Palavecino PM, Penci MC, Ribotta PD (2019) Impact of chemical modifications in pilot-scale isolated sorghum starch and commercial cassava starch. *Int J Biol Macromol* 135:521–529.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.05.202>
- Pham TT, Baranyai L, Dam MS, et al (2023) Evaluation of shelf life of egg treated with edible coating by means of NIR spectroscopy and laser induced diffuse reflectance imaging. *J Food Eng* 358:..
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111688>
- Pires PGS, Leuven AFR, Franceschi CH, et al (2020) Effects of rice protein coating enriched with essential oils on internal quality and shelf life of eggs during room temperature storage. *Poult Sci* 99:604–611.
<https://doi.org/10.3382/ps/pez546>
- Rachtanapun P, Homsaard N, Kodsangma A, et al (2021) Effect of Egg-Coating Material Properties by Blending Cassava Starch with Methyl Celluloses and Waxes on Egg Quality. *Polymers* 2021, Vol 13, Page 3787 13:3787.
<https://doi.org/10.3390/POLYM13213787>
- Segovia KGJ, García E de JD, Canseco M del SP, et al (2019) Efecto de extractos crudos de ajo (*Allium Sativum*) sobre el desarrollo de *Aspergillus parasiticus* Y *Aspergillus niger* in vitro. *Polibotanica* 0:99–111.
<https://doi.org/10.18387/POLIBOTANICA.47.8>
- Sharaf Eddin A, Ibrahim SA, Tahergorabi R (2019) Egg quality and safety with an overview of edible coating application for egg preservation. *Food Chem* 296:29–39
- Sharaf Eddin A, Tahergorabi R (2019) Efficacy of sweet potato starch-based coating to improve quality and safety of hen eggs during storage. *Coatings* 9:..
<https://doi.org/10.3390/COATINGS9030205>
- Silva GL, Almeida MF, Rocha JA, et al (2024) Efficiency of a coating based on cassava starch and encapsulated essential oil in postharvest storage of “Palmer” mango. *Sci Hortic* 334:113288.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2024.113288>
- Suwannarach N, Kaewyana C, Yodmeeklin A, et al (2017) Evaluation of *Muscodor cinnamomi* as an egg biofumigant for the reduction of microorganisms on eggshell surfaces and its effect on egg quality. *Int J Food Microbiol* 244:52–61.
<https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2016.12.021>
- Wang Q, Yu H, Tian B, et al (2019) Novel Edible Coating with Antioxidant and Antimicrobial Activities Based on Whey Protein Isolate Nanofibrils and Carvacrol and Its Application on Fresh-Cut Cheese. *Coatings* 2019, Vol 9, Page 583 9:583.
<https://doi.org/10.3390/COATINGS9090583>