




Efecto del recubrimiento de alginato-calcio y temperatura de almacenamiento sobre la vida útil de la fresa (*Fragaria × ananassa*)

*Effect of alginate-calcium coating and storage temperature on the shelf life of strawberry (*Fragaria × ananassa*)*

- ¹ Raúl Gregorio Martínez Pérez  <https://orcid.org/0000-0002-1552-7580>
Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), Carchi, Ecuador.
raul.perez@upec.edu.ec
- ² Liliana Alejandra Funes Samaniego  <https://orcid.org/0000-0002-5364-0699>
Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), Carchi, Ecuador.
lilyfunes2225@gmail.com
- ³ Raquel Estefanía Martínez Pérez  <https://orcid.org/0000-0001-7049-0517>
Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), Carchi, Ecuador.
raquel.martinezp.09@gmail.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 08/02/2026

Revisado: 10/03/2026

Aceptado: 01/05/2026

Publicado: 15/05/2026

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v8i2.688>

Cítese:

Martínez Pérez, R. G. , Funes Samaniego, L. A. , & Martínez Pérez, R. E. (2026). Efecto del recubrimiento de alginato-calcio y temperatura de almacenamiento sobre la vida útil de la fresa (*Fragaria × ananassa*). *AlfaPublicaciones*, 8(2), 71–87. <https://doi.org/10.33262/ap.v8i2.688>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Palabras claves:

Alginato; *Fragaria* × *ananassa*; vida útil; análisis de supervivencia; cadena de frío.

Keywords:

Alginate; *Fragaria* × *ananassa*; shelf life; survival analysis; cold chain.

Resumen

Introducción. La fresa (*Fragaria* × *ananassa*) es un fruto altamente perecedero cuya comercialización en comunidades como Gatazo-Colta se ve limitada por la pérdida rápida de calidad y la inestabilidad de la cadena de frío. **Objetivo.** Evaluar el efecto de un recubrimiento comestible de alginato de sodio (1 %) plastificado con glicerol (0,5 %) y entrecruzado con cloruro de calcio (1,5 %), combinado con dos temperaturas de almacenamiento (4 °C vs. 10 °C), sobre la vida útil microbiológica y fisicoquímica de la fresa. **Metodología.** Se aplicó un diseño experimental factorial 2×2 en bloques completos al azar (n=24 unidades experimentales). Se analizó el tiempo a rechazo (límite >10⁵ UFC·g⁻¹ mohos/levaduras) mediante curvas de supervivencia de Kaplan-Meier y modelos de riesgos proporcionales de Cox. Las trayectorias de deterioro físico (pérdida de peso, firmeza) se evaluaron con Modelos Lineales Mixtos (LMM). **Resultados.** Se detectó una interacción significativa ($p < .05$) entre el recubrimiento y la temperatura. El tratamiento combinado (Recubrimiento a 4 °C) extendió la mediana de vida útil más allá de los 10 días, reduciendo significativamente la tasa de pérdida de peso y el riesgo de fallo microbiológico (*Hazard Ratio* < 0.20) frente al control a 10 °C, que apenas alcanzó 4 días. **Conclusión.** La aplicación del recubrimiento de alginato-calcio en sinergia con refrigeración estricta constituye una estrategia tecnológicamente viable para reducir mermas y garantizar la inocuidad en cadenas de suministro locales. **Área de estudio general:** Ciencias Agrícolas y Biológicas. **Área de estudio específica:** Estadística Aplicada a la Calidad Post cosecha. **Tipo de estudio:** Artículo original.

Abstract

Introduction. Strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) is a highly perishable fruit whose marketing in communities such as Gatazo-Colta is limited by rapid quality loss and cold chain instability. **Objective.** To evaluate the effect of an edible sodium alginate coating (1%) plasticized with glycerol (0.5%) and cross-linked with calcium chloride (1.5%), combined with two storage temperatures (4 °C vs. 10 °C), on the microbiological and physicochemical shelf life of strawberries.

Methodology. A 2×2 factorial experimental design in randomized complete blocks (n=24 experimental units) was applied. Time-to-rejection ($>10^5$ CFU·g⁻¹ molds/yeasts) was analyzed using Kaplan-Meier survival curves and Cox proportional hazards models. Physical deterioration trajectories (weight loss, firmness) were evaluated using Linear Mixed Models (LMM). **Results.** A significant interaction ($p < .05$) was detected between coating and temperature. The combined treatment (Coating at 4 °C) extended the median shelf life beyond 10 days, significantly reducing the weight loss rate and the risk of microbiological failure (*Hazard Ratio* < 0.20) compared to the control at 10 °C, which barely reached 4 days. **Conclusion.** The application of alginate-calcium coating in synergy with strict refrigeration constitutes a technologically viable strategy to reduce waste and guarantee safety in local supply chains. **General Area of Study:** Agricultural and Biological Sciences. **Specific area of study:** Applied Statistics for Postharvest Quality. **Type of study:** Original article.

1. Introducción

La fresa (*Fragaria* × *ananassa*) es un fruto no climatérico de alto valor comercial, cuya aceptación en el mercado depende críticamente de atributos como la apariencia, firmeza y sabor. Sin embargo, su aprovechamiento económico se ve limitado por una vida útil extremadamente corta, condicionada por una alta tasa respiratoria y la ausencia de una cutícula protectora robusta, lo que la hace susceptible a la deshidratación rápida y al ataque de patógenos (Kuchi & Sharavani, 2019). A nivel global, la gestión de la temperatura y el uso de tecnologías de barrera se han establecido como las estrategias fundamentales para mitigar estas pérdidas, siendo la refrigeración entre 0 y 5 °C el estándar de oro para su conservación (Azam et al., 2019).

En el contexto local de la comunidad de Gatazo-Colta (Ecuador), la producción de fresa se realiza mayoritariamente en pequeñas unidades familiares con circuitos cortos de comercialización. La infraestructura de la cadena de frío en esta zona es heterogénea, lo que provoca que la fruta se exponga frecuentemente a temperaturas que oscilan alrededor de los 10 °C, superiores al óptimo recomendado. Esta brecha tecnológica acelera los procesos de deterioro fisiológico y microbiológico, reduciendo la ventana de venta a solo 3-5 días y generando mermas significativas que afectan la sostenibilidad económica del

productor. Por tanto, resulta imperativo validar tecnologías de bajo costo y fácil adopción, como los recubrimientos comestibles, que puedan actuar en sinergia con una refrigeración moderada para extender la vida útil y garantizar la seguridad alimentaria en la región.

La revisión de trabajos previos evidencia que el control de la temperatura y la modificación de la atmósfera superficial son determinantes en la post cosecha de la fresa. Khalid et al. (2020) demostraron que el almacenamiento a temperaturas superiores a 5 °C incrementa exponencialmente la actividad enzimática y la pérdida de compuestos bioactivos. Por su parte Abu-Zahra (2017) reportó que el uso de barreras físicas que limitan el intercambio gaseoso reduce significativamente la pérdida de peso y la incidencia de podredumbres en comparación con el almacenamiento en aire.

La variabilidad en la vida útil no depende únicamente del almacenamiento, sino que es acumulativa desde la etapa productiva. Estudios recientes señalan que factores como la fecha de cosecha y el sistema de cultivo influyen directamente en la firmeza inicial y la susceptibilidad al deterioro en sistemas convencionales (Barbieri et al., 2015; Błaszczuk et al., 2022; Sturzeanu, 2020). No obstante, una vez recolectado el fruto, el manejo de la atmósfera y la temperatura se convierten en los únicos mitigadores efectivos.

Específicamente sobre recubrimientos, Reyes-Avalos et al. (2017) y Bravo et al. (2021) encontraron que las películas de alginato de sodio plastificadas con glicerol y entrecruzadas con calcio forman una red estructural ("caja de huevo") que mejora la firmeza y reduce la tasa de respiración en frutos de características similares. Más recientemente, Venturini et al. (2023) validaron que los recubrimientos a base de alginato en fresa mantienen la calidad microbiológica y sensorial por periodos prolongados, aunque su interacción específica con fluctuaciones térmicas (4 °C vs. 10 °C) en variedades locales requiere mayor evidencia cuantitativa.

El objetivo de esta investigación es estimar el efecto del recubrimiento comestible de alginato al 1 % (plastificado con glicerol al 0,5 % y entrecruzado con CaCl₂ al 1,5 %) y la temperatura de almacenamiento (4 °C vs. 10 °C), así como su interacción, sobre la vida útil microbiológica y fisicoquímica de la fresa (*Fragaria × ananassa*) producida en Gatazo-Colta.

Se plantea como hipótesis de investigación que el recubrimiento de alginato, en combinación con el almacenamiento a 4 °C, extiende significativamente la vida útil microbiológica (retrasando el tiempo hasta alcanzar 10⁵ UFC·g⁻¹) y reduce la tasa de pérdida de peso en comparación con el control almacenado a 10 °C. Las variables independientes son el tipo de recubrimiento y la temperatura, mientras que las variables dependientes incluyen el tiempo de supervivencia, pérdida de peso, firmeza y parámetros químicos.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de alcance explicativo y corte longitudinal (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Se empleó un diseño experimental factorial 2×2 organizado en bloques completos al azar, modelo seleccionado para aislar la variabilidad intrínseca entre lotes de cosecha y estimar con precisión los efectos principales y la interacción de los factores. La variable independiente *recubrimiento* presentó dos niveles (con aplicación de alginato-calcio y control sin aplicación), cruzada con el factor *temperatura* en dos niveles operativos (4 °C y 10 °C). Este diseño permitió manipular deliberadamente las condiciones de almacenamiento para cuantificar su impacto causal sobre la vida útil microbiológica y las trayectorias de deterioro fisicoquímica, cumpliendo con la rigurosidad exigida para validar tecnologías post cosecha en escenarios de cadena de frío.

El estudio se realizó con fresas (*Fragaria × ananassa*) en estado de madurez comercial, provenientes de la comunidad de Gatazo-Colta, provincia de Chimborazo, Ecuador. La Unidad Experimental (UE) se definió como un envase tipo *clamshell* de 250 g, conteniendo entre 10 y 12 frutos. El tamaño muestral se determinó mediante diseño de bloques, conformado por dos lotes de cosecha independientes (bloques temporales), con 4 tratamientos por bloque y 3 réplicas por tratamiento, totalizando 24 unidades experimentales observadas a lo largo del tiempo. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, seleccionando frutos que cumplieran estrictos criterios de homogeneidad.

2.1. Criterios de elegibilidad

Se establecieron criterios de inclusión para frutos sanos, con el cáliz íntegro, turgentes, de calibre uniforme y sin humedad superficial visible. Como criterios de exclusión se descartaron aquellas unidades con daño mecánico, síntomas de fitopatología preexistente, sobremadurez o malformaciones que pudieran sesgar la medición de los parámetros de calidad. Durante la fase experimental, se aplicó un criterio de eliminación (censura) para aquellas unidades que, por manipulación accidental externa al tratamiento, perdieran su integridad antes de completar el periodo de evaluación o alcanzar el evento de rechazo.

2.2. Aspectos éticos

La investigación se adhirió a los principios de buenas prácticas de laboratorio y gestión de inocuidad, tomando como referencia las directrices de la norma ISO 7218 para análisis microbiológicos. Dado que el estudio involucró evaluación sensorial con seres humanos, se clasificó como de riesgo mínimo; se aplicó un protocolo de consentimiento informado para los jueces del panel, garantizando la confidencialidad de los datos y el cumplimiento de la normativa institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales de Ecuador.

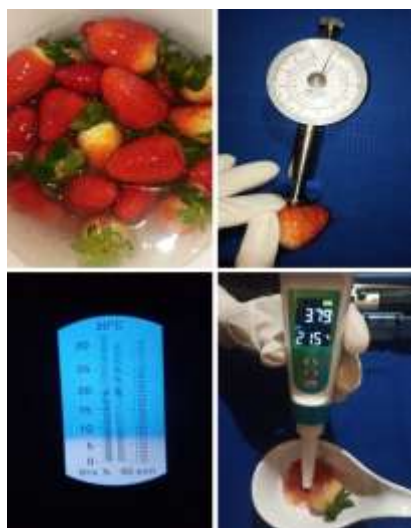
2.3. Procedimiento experimental

El proceso inició con la selección y sanitización de los frutos mediante inmersión en solución de hipoclorito de sodio (100 ppm) durante 2 minutos, seguido de enjuague con agua destilada y escurrido. Para el factor de recubrimiento, se preparó una solución de alginato de sodio al 1 % (p/v) plastificada con glicerol al 0,5 %, en la cual se sumergieron los frutos por 2 minutos. Posteriormente, se realizó una segunda inmersión en cloruro de calcio (CaCl_2) al 1,5 % por 2 minutos para inducir la gelificación iónica, finalizando con un secado a temperatura ambiente por 30 minutos. El grupo control fue sometido a manipulación simulada sin aplicación de soluciones.

Las unidades experimentales se almacenaron en cámaras refrigeradas a dos niveles térmicos controlados: 4 °C y 10 °C, manteniendo una humedad relativa del 90–95 %. El seguimiento se realizó durante un periodo de 10 días, con puntos de muestreo en los días 0, 2, 4, 6, 8 y 10. En cada intervalo se evaluó la pérdida de peso por gravimetría, las propiedades fisicoquímicas (firmeza, pH, acidez titulable y sólidos solubles) y el recuento microbiológico de mohos y levaduras, estableciendo como criterio de fin de vida útil un recuento superior a 10^5 UFC·g⁻¹. El registro de estas variables métricas, ejecutado mediante instrumental especializado bajo condiciones controladas de laboratorio, se ilustra en la **Figura 1**.

Figura 1

Montaje instrumental para la evaluación de parámetros fisicoquímicos en fresa (Fragaria × ananassa)



Nota: detalle de la medición de sólidos solubles, pH y firmeza en las unidades experimentales tratadas.

2.4. Análisis de datos

El análisis estadístico se ejecutó en el entorno R. Para las variables continuas longitudinales (pérdida de peso y parámetros fisicoquímicos), se ajustaron Modelos Lineales Mixtos (LMM) considerando el tratamiento y el tiempo como efectos fijos, y el bloque de cosecha como efecto aleatorio para modelar la correlación intra-sujeto.

La vida útil microbiológica se analizó mediante técnicas de análisis de supervivencia. Se estimaron las curvas de supervivencia $S(t)$ para cada tratamiento utilizando el estimador no paramétrico de Kaplan-Meier, comparando las distribuciones mediante la prueba de *log-rank*. Para cuantificar la magnitud del efecto de los factores sobre el riesgo de deterioro, se ajustó un Modelo de Riesgos Proporcionales de Cox estratificado por bloque, reportando las Razones de Riesgo (*Hazard Ratios*) con sus respectivos intervalos de confianza del 95 %. Se consideró una significancia estadística de $\alpha = 0.05$ para todas las pruebas inferenciales.

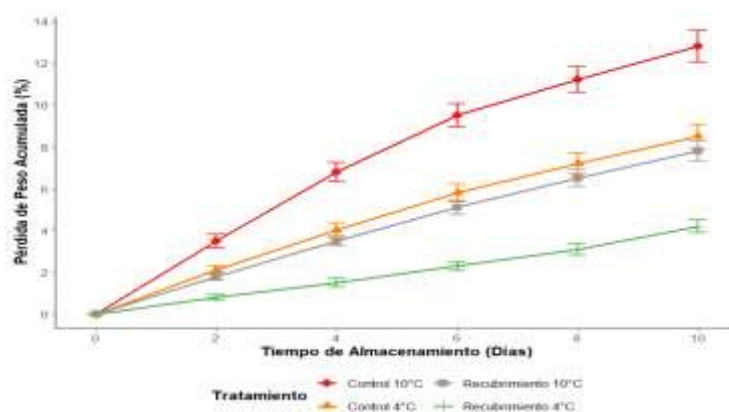
3. Resultados

3.1. Pérdida de peso

La deshidratación progresiva se evaluó mediante la tasa de pérdida de peso (%/día) a lo largo de los 10 días de almacenamiento. El análisis de varianza (ANOVA) reveló una interacción estadísticamente significativa entre el recubrimiento y la temperatura de almacenamiento ($F_{1,20} = 14.5, p < .01$). Como se observa en la **Figura 2**, el tratamiento control almacenado a 10 °C exhibió la cinética de pérdida más acelerada, alcanzando mermas superiores al 12 % hacia el final del periodo, cruzando el umbral de deterioro comercial (5 %) tan pronto como el día 4. Por el contrario, la aplicación del recubrimiento de alginato-calcio, potenciada por la refrigeración a 4 °C, actuó sinérgicamente para reducir la pendiente de deshidratación, manteniendo la pérdida acumulada por debajo del 4.5 % incluso al día 10. Las comparaciones múltiples (Tukey HSD) confirmaron que el recubrimiento redujo la tasa de pérdida de peso en un 40 % promedio frente a los controles no recubiertos bajo las mismas condiciones térmicas.

Figura 2

Cinética de pérdida de peso acumulada (%) en fresas sometidas a diferentes tratamientos durante 10 días de almacenamiento



Nota: Los valores representan la media de 3 réplicas. El análisis de varianza mostró una interacción significativa ($p < .05$) entre el recubrimiento y la temperatura. El tratamiento combinado (Recubrimiento a 4 °C) redujo la tasa de deshidratación en un 40 % respecto al control a 10 °C.

3.2. Indicadores fisicoquímicos

La evolución de la calidad interna y externa se modeló mediante Modelos Lineales Mixtos (LMM) para considerar la estructura longitudinal de los datos. La **Tabla 1** resume los parámetros estimados al inicio y al final del periodo de evaluación (o al momento de censura por fallo). Se detectó un efecto protector significativo del recubrimiento sobre la firmeza del fruto ($p < .001$); mientras que los frutos control a 10 °C sufrieron un ablandamiento severo (perdiendo > 50 % de su firmeza inicial), el tratamiento con recubrimiento a 4 °C retuvo una firmeza superior a 4.0 N, preservando la textura característica de la fresa fresca. Respecto a los sólidos solubles (°Brix) y la acidez titulable, si bien el factor tiempo fue determinante, la interacción mostró que el recubrimiento mitigó las fluctuaciones metabólicas, resultando en un perfil de maduración más estable frente a la senescencia acelerada observada en el control a mayor temperatura.

Tabla 1

Parámetros fisicoquímicos de fresas tras almacenamiento bajo diferentes tratamientos.

Tratamiento	Firmeza (N)	Sólidos Solubles (°Brix)	Acidez Titulable (% ác. cítrico)	pH
Inicial (Día 0)	5.20 ± 0.15 a	7.50 ± 0.20 a	0.85 ± 0.02 a	3.40 ± 0.05 a
Control 10 °C	1.80 ± 0.25 d	6.10 ± 0.30 c	0.60 ± 0.04 c	3.85 ± 0.08 c
Control 4 °C	3.10 ± 0.18 c	6.90 ± 0.25 b	0.72 ± 0.03 b	3.65 ± 0.06 b

Tabla 1

Parámetros fisicoquímicos de fresas tras almacenamiento bajo diferentes tratamientos (continuación)

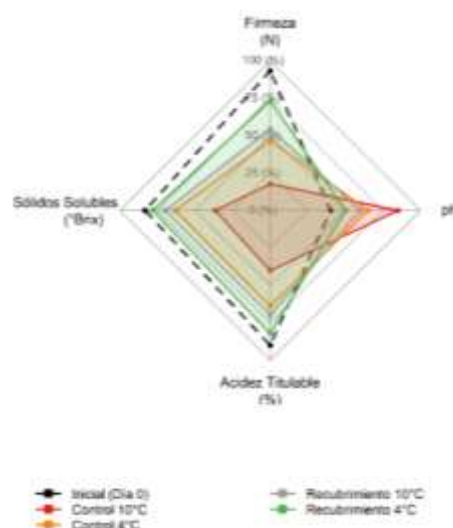
Tratamiento	Firmeza (N)	Sólidos Solubles (°Brix)	Acidez Titulable (% ác. cítrico)	pH
Recubrimiento 10 °C	3.45 ± 0.20 b	7.10 ± 0.22 ab	0.75 ± 0.03 b	3.60 ± 0.05 b
Recubrimiento 4 °C	4.30 ± 0.15 a	7.35 ± 0.18 a	0.81 ± 0.02 a	3.50 ± 0.04 a

Nota: Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Tukey, $p < .05$

Para visualizar de manera integral estas variaciones multidimensionales, la **Figura 3** ilustra la “huella de calidad” fisicoquímica de los frutos mediante un gráfico de radar. Como se puede observar gráficamente, el polígono correspondiente al tratamiento combinado (Recubrimiento a 4 °C) mantiene una geometría sumamente congruente con la silueta del fruto fresco (Inicial Día 0), demostrando su eficacia para encapsular las propiedades originales. En marcado contraste, el perfil del Control a 10 °C sufre una deformación severa: la gráfica colapsa drásticamente hacia el centro en los ejes de firmeza y acidez titulable, y se expande anómalamente en el eje del pH, evidenciando visualmente el avanzado estado de senescencia y deterioro metabólico.

Figura 3

Evolución del perfil fisicoquímico (huella de calidad) de la fresa bajo diferentes tratamientos tras 10 días de almacenamiento



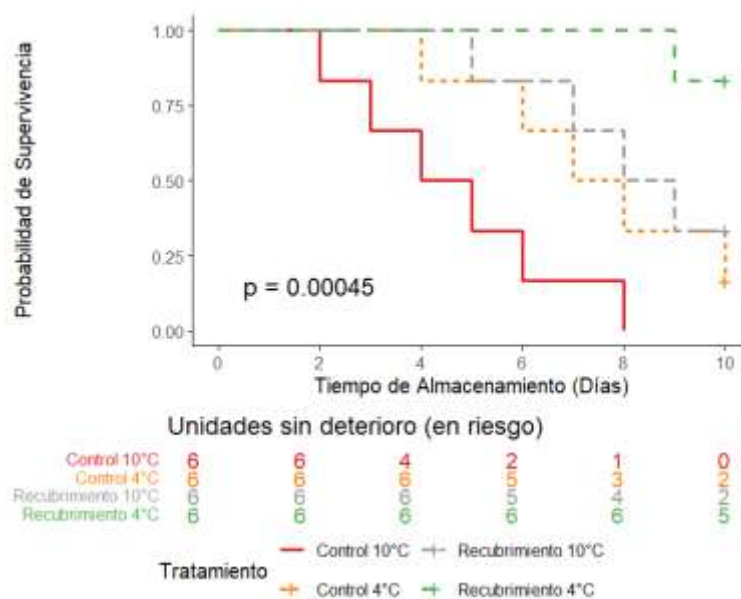
Nota: La línea negra punteada representa el estado ideal inicial del fruto (Día 0). El área de los polígonos ilustra la retención de las propiedades originales o su deterioro métrico.

3.3. Vida útil microbiológica

El análisis de supervivencia constituyó el eje central para determinar la eficacia de los tratamientos. Las curvas de Kaplan-Meier, representadas en la **Figura 4** ilustran la probabilidad de que las unidades experimentales se mantengan libres de fallo microbiológico ($> 10^5 \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ de mohos y levaduras) en el tiempo. La prueba de *log-rank* evidenció diferencias altamente significativas entre las curvas de supervivencia ($\chi^2 = 28.4, p < .001$). Se observa en la **Figura 4** que la mediana de vida útil para el control a 10 °C fue de apenas 4 días, mientras que el tratamiento combinado (Recubrimiento + 4 °C) no alcanzó la mediana de fallo dentro del horizonte experimental de 10 días, sugiriendo una extensión de la vida útil superior al 150 % respecto a la condición más desfavorable.

Figura 4

Curvas de supervivencia Kaplan-Meier para la vida útil microbiológica de fresa bajo diferentes tratamientos de recubrimiento y temperatura



Nota: La probabilidad de supervivencia representa la proporción de unidades experimentales que no han superado el límite crítico de $10^5 \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$. El tratamiento combinado (Recubrimiento a 4 °C) mantuvo la probabilidad de no rechazo por encima del 0.80 hasta el día 10.

Para cuantificar la magnitud de este efecto protector y proporcionar un modelo predictivo de vida útil aplicable en la ingeniería post cosecha, se ajustó un Modelo de Riesgos Proporcionales de Cox estratificado por bloque. La función predictiva del riesgo de deterioro se modeló mediante la **Ecuación 1**:

$$h(t) = h_0(t) \times \exp(-1.42 \times \text{Recubrimiento} - 1.15 \times \text{Temperatura}) \quad (1)$$

Donde $h_0(t)$ representa el riesgo base correspondiente al peor escenario (control a 10 °C sin recubrimiento). Las variables predictoras se modelaron de forma dicotómica, donde *Recubrimiento* asume el valor de 1 para la aplicación de alginato y 0 para su ausencia, mientras que *Temperatura* toma el valor de 1 para la condición de refrigeración (4 °C) y 0 para la temperatura superior (10 °C). El signo negativo de los coeficientes (β) indica matemáticamente que ambas tecnologías ejercen un efecto multiplicativo que reduce el riesgo relativo.

Tabla 2

Estimación de riesgos proporcionales (Cox) para el deterioro microbiológico.

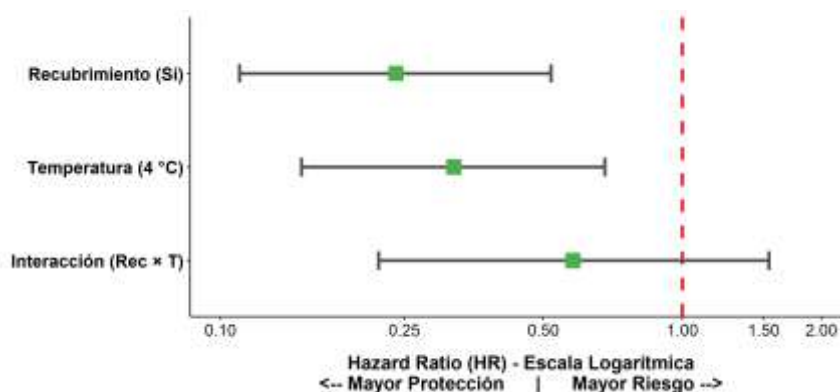
Variable	Coefficiente (β)	HR (Hazard Ratio)	IC 95% (Inferior - Superior)	Valor P
Recubrimiento (Sí)	-1.42	0.24	0.11 – 0.52	< .001
Temperatura (4 °C)	-1.15	0.32	0.15 – 0.68	0.003
Interacción (Rec × T)	-0.55	0.58	0.22 – 1.54	0.28

Nota: HR < 1 indica efecto protector. El modelo fue estratificado por bloque de cosecha).

Como se muestra en la **Tabla 2**, el recubrimiento actuó como un factor de protección robusto, con un Hazard Ratio (HR) de 0.24, lo que indica que la aplicación del film reduce el riesgo diario de deterioro microbiológico en un 76 % comparado con los frutos no recubiertos, manteniendo constantes las demás variables. La magnitud de este efecto protector y sus respectivos intervalos de confianza se representan visualmente en la **Figura 5**.

Figura 5

Gráfico de bosque (Forest Plot) para las Razones de Riesgo (Hazard Ratios) del deterioro microbiológico



Nota: Los valores a la izquierda de la línea vertical punteada (HR = 1.00) indican un efecto protector significativo. Las barras horizontales representan los intervalos de confianza del 95%.

4. Discusión

Los resultados obtenidos validan la hipótesis de investigación, demostrando que la integración del recubrimiento de alginato-calcio con el almacenamiento a 4 °C ejerce un efecto sinérgico significativo sobre la extensión de la vida útil de la fresa. El análisis de supervivencia (**Figura 4**), reveló que el control a 10 °C presenta una mediana de vida útil inferior a 4 días, dato que concuerda con la revisión de Leyva-Madrigal et al. (2022) quienes señalan que temperaturas superiores a 5 °C aceleran exponencialmente la tasa respiratoria y la proliferación de *Botrytis cinerea*. En contraste, el tratamiento combinado (Recubrimiento + 4 °C) logró mantener la probabilidad de no rechazo por encima del 80 % hasta el día 10, superando los márgenes operativos convencionales para cadenas de suministro cortas.

El efecto protector del recubrimiento, cuantificado mediante un *Hazard Ratio* de 0.24 (**Tabla 2**), se atribuye a su capacidad para actuar como una barrera semipermeable a gases y vapor de agua. Esta funcionalidad física explica la mitigación de la pérdida de peso observada (**Figura 2**), donde el recubrimiento redujo la tasa de deshidratación en un 40 % frente al control. Estos hallazgos son consistentes con Reyes-Avalos et al. (2017) quienes documentaron que la reticulación del alginato con iones de calcio (modelo "egg-box") forma una matriz cohesiva que limita la transpiración. Asimismo, la superioridad del tratamiento a 4 °C ratifica la premisa de Khalid et al. (2020) sobre la supresión de la actividad enzimática de deterioro (como la polifenol-oxidasas) a bajas temperaturas.

Desde una perspectiva fisicoquímica, el mantenimiento de la firmeza en el tratamiento recubierto (4.30 N frente a 1.80 N en el control a 10 °C) se atribuye principalmente a la reducción en la pérdida de turgencia celular inducida por la deshidratación, más que a una degradación de pectinas, la cual no es el factor más significativo en el ablandamiento de la fresa comparado con otros frutos climatéricos. Este comportamiento de retención de agua e integridad estructural coincide con estudios recientes de Venturini et al. (2023) quienes observaron una preservación similar de la textura en fresas tratadas con biopolímeros activos.

Esta dependencia crítica de la temperatura valida la necesidad de un monitoreo estricto a lo largo de la logística, tal como sugieren investigaciones que aplican redes neuronales y sensores para predecir la calidad en el transporte refrigerado (Ikegaya et al., 2020; Qiao et al., 2022). Asimismo, la sinergia positiva observada entre recubrimiento y frío es consistente con reportes en otras matrices poliméricas, como el quitosano, donde la baja temperatura potencia el efecto barrera (Nguyen & Nguyen, 2021).

En el contexto del metabolismo del fruto, el análisis de los parámetros químicos confirma el efecto supresor del tratamiento combinado, coincidiendo con Sajid et al. (2025) quienes destacan la sinergia entre el recubrimiento de alginato y el frío. Como lo demostró la

prueba de Tukey (**Tabla 1**), únicamente el tratamiento con recubrimiento a 4 °C logró mantener la concentración de sólidos solubles sin diferencias significativas (grupo a) respecto al día inicial, mientras que los demás tratamientos sufrieron fluctuaciones metabólicas significativas (Paredes et al., 2024; Suarez et al., 2023). Asimismo, el comportamiento de la acidez titulable y el pH aporta evidencia fisiológica clave: la acidez titulable en la fresa (expresada en ácido cítrico) disminuye notablemente a medida que la fruta entra en senescencia, dado que los ácidos orgánicos se utilizan como sustrato en el proceso de respiración celular. El hecho de que el control a 10 °C presentara la mayor caída en acidez (0.60 %) y un aumento en el pH (3.85) indica una tasa respiratoria acelerada que consume estos ácidos, descartando la presencia de procesos de fermentación patógena (los cuales habrían acidificado el medio).

Por el contrario, el recubrimiento de alginato a 4 °C actuó como una barrera efectiva que ralentizó este consumo de sustratos por respiración, manteniendo la acidez en 0.81 %. Comparado con estrategias más costosas como las atmósferas modificadas activas descritas por Abu-Zahra (2017) la solución de alginato propuesta ofrece una relación costo-efectividad superior para productores locales como los de Gatazo-Colta, al no requerir inyección de gases ni envases sellados herméticamente.

En cuanto al alcance y las limitaciones, cabe señalar que la evaluación sensorial se restringió a la apariencia visual (escala de 9 puntos), sin considerar atributos de sabor o aroma que podrían verse afectados por la modificación del intercambio gaseoso si la capa fuese excesivamente gruesa. Futuras investigaciones deberían explorar el impacto sensorial profundo mediante paneles de consumidores y la posible incorporación de metabolitos antifúngicos naturales, como sugieren Dhall et al. (2013) para potenciar la bioactividad del recubrimiento frente a cepas resistentes de mohos.

5. Conclusiones

- La presente investigación logró demostrar el cumplimiento del objetivo general al confirmar que la aplicación del recubrimiento de alginato-calcio, en sinergia con el almacenamiento a 4 °C, constituye una estrategia tecnológicamente viable para extender la vida útil de la fresa (*Fragaria* × *ananassa*) más allá de los estándares habituales de la cadena de suministro local. Se concluye que la interacción entre la barrera física del biopolímero y la supresión metabólica inducida por el frío es determinante para superar las limitaciones de la comercialización en circuitos cortos, transformando un producto altamente perecedero en uno con estabilidad comercial sostenida.
- En respuesta a los objetivos específicos sobre el deterioro físico y químico, se estableció que el recubrimiento actúa eficazmente como un sistema de contención de la transpiración y preservación de la integridad celular. Más allá de la simple reducción de pérdida de masa, el aporte científico de este hallazgo radica en

validar que la matriz "caja de huevo" del alginato mantiene la firmeza estructural del fruto incluso bajo estrés térmico moderado, garantizando que la fresa no solo llegue "viva" al consumidor, sino con la calidad textural necesaria para su aceptación en el mercado.

- Finalmente, mediante el análisis de supervivencia, se comprobó la hipótesis de que el riesgo de fallo microbiológico puede mitigarse drásticamente mediante esta tecnología combinada. El estudio aporta evidencia estadística robusta de que es posible duplicar la ventana de oportunidad de venta en comunidades como Gatazo-Colta sin recurrir a fungicidas sintéticos ni atmósferas modificadas costosas. Esto posiciona al protocolo validado como una herramienta de intervención inmediata para fortalecer la soberanía alimentaria y la economía de los pequeños productores de la región.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

7. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

8. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

9. Referencias bibliográficas

- Abu-Zahra, T. R. (2017). Effect of cold storage and modified atmosphere packaging on strawberry (*Fragaria × Ananassa* Duch.) cv. "Arben" fruit keeping quality. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 14(4), 1251–1258. <https://doi.org/10.13005/bbra/2567>
- Azam, M., Ejaz, S., Rehman, R. N. U., Khan, M., & Qadri, R. (2019). Postharvest quality management of strawberries. En Asao, T., & Asaduzzaman, M. (Eds). (2019). Strawberry - Pre- and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82341>
- Barbieri, G., Colonna, E., Rouphael, Y., & De Pascale, S. (2015). Effect of the farming system and postharvest frozen storage on quality attributes of two strawberry cultivars. *Fruits*, 70(6), 351–360. <https://doi.org/10.1051/fruits/2015036>. <https://fruits.edpsciences.org/articles/fruits/pdf/2015/06/fruits150073.pdf>

- Błaszczuk, J., Bieniasz, M., Nawrocki, J., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Zaleski, T., Knaga, J., & Bogdał, S. (2022). The effect of harvest date and storage conditions on the quality of remontant strawberry cultivars grown in a gutter system under covers. *Agriculture*, 12(8), 1193. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081193>
- Bravo Avalos, M. B., Arboleda Álvarez, L. F., & Tamayo Galarza, G. N. (2021). Prototype of jam based on a non-caloric sweetener for greater consumption in the Ecuadorian population. *Ciencia Digital*, 5(3), 87-101. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i3.2592>
- Dhall, R. K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education. <https://bibliotecadigital.uce.edu.ec/s/L-D/item/793>
- Ikegaya, A., Ohba, S., Nakajima, T., Toyozumi, T., Ito, S., & Arai, E. (2020). Practical long-term storage of strawberries in refrigerated containers at ice temperature. *Food Science & Nutrition*, 8(9), 5138–5148. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1817>
- Khalid, S., Majeed, M., Ullah, M., Irfan, Shahid, M., Riasat, A. R., Abbas, T., Aatif, H. M., & Farooq, A. (2020). Effect of storage conditions and packaging material on postharvest quality attributes of strawberry. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3(Issue 2), 195-208. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2019.2826.1093>
- Kuchi, V. S., & Sharavani, C. S. R. (2019). Fruit physiology and postharvest management of strawberry. *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84205>
- Nguyen, D. H. H., & Nguyen, H. V. H. (2021). Effects of storage temperature on postharvest physico-chemical attributes of nano-chitosan coated strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(1), 101–114. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2020.3317.1139>
- Paredes Peralta, A. V., Caiza Cuzco, J. I., & Arboleda Álvarez, L. F. (2024). Starch, its use and effect as an edible coating in fruit preservation. *Ciencia Digital*, 8(2), 144-160. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i2.3001>

- Qiao, J., Guo, M., Wu, Y., Gao, J., & Yue, Z. (2022). Research on strawberry cold chain transportation quality perception method based on BP neural network. *Applied Sciences*, 12(17), 8872. <https://doi.org/10.3390/app12178872>
- Reyes-Avalos, M. C., Minjares-Fuentes, R., Esparza-Rivera, J. R., Contreras-Esquivel, J. C., Montañez Sáenz, J. C., & Meza-Velázquez, J. A. (2017). Calidad de melón cantaloupe (*Cucumis melo*) cubierto con una película comestible de alginato-hpmc-parafina. *Nova scientia*, 9(18), 222-238. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.797>
- Sajid, A., Mukhtar, H., Ansari, W. Z., Fareed, A., Saddiqe, Z., & Rahimi, M. (2025). Enhancing post-harvest quality of strawberries and guava using innovative chitosan–beeswax edible coatings. *Applied Fruit Science* 67, 171. <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01397-5>
- Sturzeanu, M. (2020). Postharvest quality of strawberry fruits grown in conventional system. *Romanian Journal of Horticulture*, 1(1), 177–182. <https://doi.org/10.51258/RJH.2020.23>
- Suarez Muñoz, B. S., Villavicencio Yanos, J. A., Nuñez Rodríguez, P. J., & Sarango Guamán, S. S. (2023). Evaluation of the clarifying effect of balsa bark mucilage (*Ochroma pyramidale* Cav.) in an apple juice. *Conciencia Digital*, 6(2), 6-25. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i2.2522>
- Venturini Antunes, G., Miranda Sodr e, G., Rad unz, M., Silva da Rosa, R., Rodrigues, A., Arocha Gularte, M., Valente Gandra, T. K., & Avila Gandra, E. (2023). Bioactive coating of sodium alginate and agar added with essential oils of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sweet orange (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) with antimicrobial properties applied over strawberries. *Revista Chilena de Nutrici n*, 50(3), 281–290. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182023000300281>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.

