



UNIVERSIDAD ESPECIALIZADA DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Biociencias y Salud Pública

Escuela de Biotecnología de Alimentos

Trabajo de grado para optar por el título de Licenciado(a) en

Biotecnología de alimentos

Modalidad

Tesis

Título del trabajo de grado

Evaluación del efecto de los aceites esenciales nanoemulsionados de cítricos (*Citrus latifolia*) sobre la vida de anaquel de aguacates (*Persea americana var. Catalina*)

Presentado por: Eversley Núñez (s), Keren Isabel (s)
8-1045-2191

Asesor:
Mgtr. Ana Luisa García

Panamá, 2025

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico primeramente a Dios, porque todo fue posible gracias a Él. En su infinita misericordia permitió la culminación de este proyecto, y con gratitud puedo decir: *“Hasta aquí me ha ayudado Jehová”*.

También la dedico a mi abuela Lupe, quien desde antes de que siquiera pensara en la universidad siempre veló por mis estudios, priorizando mi educación y sacrificando lo necesario para que hoy pudiera alcanzar este logro profesional.

.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, quien en su infinita providencia me guio para que todo saliera conforme a su perfecta voluntad, que siempre es buena, agradable y perfecta.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron posible la culminación de este proyecto.

Desde el inicio, agradezco a la profesora Lurys por brindarme la iniciativa y motivación para emprender este camino. A la profesora Hellys, por su apoyo constante, incluso en los traslados necesarios para avanzar. A mis “peladores de limones expertos”, cuya disposición y responsabilidad fueron clave para llevar a cabo cada etapa del proceso.

Gracias a Kimberly y Lianeth, mis pupilas, por estar siempre al pendiente y dispuestas a colaborar. A la profesora Maira, por su atención a las necesidades, incluso sin que tuviera que pedírselo. A mi asesora, la profesora Ana Luisa García, por su acompañamiento cercano, su empatía, comprensión y constante disposición durante todo el proceso de investigación.

A mis amigos, a mi abuela *Lupe*, que, aunque no comprendiera del todo el tema, siempre me apoyó y escuchó; y a mis familiares, que me brindaron todo lo que estuvo a su alcance. También agradezco a mi círculo especial eclesiástico, por sus oraciones y apoyo en los momentos en que más lo necesité.

Finalmente, a todas aquellas personas que, desde detrás de cámaras, me apoyaron con pequeños pero significativos detalles, que contribuyeron a la evolución, formación y culminación de esta travesía. Todos ustedes fueron parte fundamental de este logro.

(Keren Eversley)

RESUMEN

El aguacate (*Persea americana*) es un fruto de alta importancia nutricional y económica, pero con una vida de anaquel corta debido a su rápida maduración y susceptibilidad a daños microbiológicos. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de aceites esenciales naturales de *Citrus latifolia* en forma de nanoemulsiones sobre la conservación postcosecha del aguacate variedad Catalina. El diseño de investigación fue experimental, con grupos independientes y sin pretest. Se trabajó con 108 frutos divididos en cuatro tratamientos: control (sin recubrimiento), recubrimiento blanco (solo emulsificante), nanoemulsión al 5 % y nanoemulsión al 10 % de aceite esencial. El tipo de estudio fue cuasiexperimental, descriptivo, comparativo y longitudinal, midiendo periódicamente parámetros como pérdida de peso, firmeza y pH de la pulpa durante diez días de almacenamiento.

Los resultados mostraron que los frutos tratados con nanoemulsiones conservaron mejor su firmeza en comparación con los controles, manteniendo valores entre **1.96 y 1.76 kgf** al día 10, mientras que los frutos sin recubrimiento alcanzaron niveles de **0.09 kgf**. Asimismo, la pérdida de peso fue menor en los grupos con nanoemulsiones: el tratamiento al 10 % presentó una reducción 5.3 %, frente a un 9.56 % en los controles. Estos hallazgos confirman que el uso de nanoemulsiones de aceites esenciales de *Citrus latifolia* constituye una estrategia eficaz y natural para prolongar la vida de anaquel del aguacate, aportando beneficios tanto en la calidad del fruto como en la reducción de pérdidas postcosecha.

Palabras clave: aguacate, aceites esenciales. Conservación postcosecha. Nanoemulsiones, *Persea americana*, *Citrus latifolia*, Vida de anaquel

ABSTRACT

Avocado (*Persea americana*) is a fruit of high nutritional and economic importance, but with a short shelf life due to its rapid ripening and susceptibility to microbiological damage. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of natural essential oils from *Citrus latifolia* in the form of nanoemulsions on the post-harvest preservation of Catalina variety avocados. The research design was experimental, with independent groups and no pretest. We worked with 108 fruits divided into four treatments: control (no coating), white coating (emulsifier only), 5 % nanoemulsion, and 10 % nanoemulsion of essential oil. The study was quasi-experimental, descriptive, comparative, and longitudinal, periodically measuring parameters such as weight loss, firmness, and pulp pH during ten days of storage.

The results showed that the fruits treated with nanoemulsions retained their firmness better than the controls, maintaining values between 1.96 and 1.76 kgf on day 10, while the uncoated fruits reached levels of 0.09 kgf. Likewise, weight loss was significantly lower in the groups with nanoemulsions: the 10 % treatment showed a reduction of 5.3 %, compared to 9.56 % in the controls.

. These findings confirm that the use of nanoemulsions of *Citrus latifolia* essential oils is an effective and natural strategy for extending the shelf life of avocados, providing benefits in both fruit quality and the reduction of post-harvest losses.

Keywords: avocado, essential oils, post-harvest preservation, nanoemulsions, *Persea americana*, *Citrus latifolia*, shelf life

CONTENIDO GENERAL

INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1 Planteamiento del problema	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1 El problema de investigación	¡Error! Marcador no definido.
1.2 Justificación.....	¡Error! Marcador no definido.
1.3 Hipótesis.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4 Objetivos	¡Error! Marcador no definido.
1.4.1 Objetivo general:	¡Error! Marcador no definido.
1.4.2 Objetivos específicos:	¡Error! Marcador no definido.
2 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1 Estado del Arte.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2 Marco teórico	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1 Origen y Clasificación del Aguacate.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2 Mercado	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3 Valor nutricional	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4 Vida de Anaquel.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5 Problemas Postcosecha del aguacate	¡Error! Marcador no definido.
2.2.6 Métodos de conservación.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.7 Aceites Esenciales	¡Error! Marcador no definido.
2.2.8 Nano Emulsiones	¡Error! Marcador no definido.
3 CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1 Diseño de investigación y tipo de estudio	¡Error! Marcador no definido.
3.2 Población o Universo	¡Error! Marcador no definido.
3.2.1 Sujetos o grupo estudio:	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2 Tipo de muestra estadística:	¡Error! Marcador no definido.
3.3 Variables	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1 Variable Independiente: Nano Emulsiones	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2 Variable dependiente: Vida de anaquel del aguacate.....	¡Error! Marcador no definido.
3.4 Instrumentos, técnicas de recolección de datos y/o materiales ...	¡Error! Marcador no definido.
3.5 Procedimiento.....	¡Error! Marcador no definido.

3.5.1	Etapa 1: Recepción de Materia Prima:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2	Etapa 2: Extracción de aceites esenciales:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.3	Etapa 2: Caracterización del aceite esencial	¡Error! Marcador no definido.
3.5.4	Etapa 3: Formulación de Nanoemulsión	¡Error! Marcador no definido.
3.5.5	Etapa 4: Obtención y preparación de los frutos	¡Error! Marcador no definido.
3.5.6	Etapa 5: Diseño Experimental y tratamientos	¡Error! Marcador no definido.
3.5.7	Etapa 6: Ensayos Físicos y químicos.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados.		¡Error! Marcador no definido.
3.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	¡Error! Marcador no definido.
3.6.1	Extracción de Aceites Esenciales (AEs)	¡Error! Marcador no definido.
3.6.2	Caracterización de Aceites Esenciales	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3: Resultados de la Caracterización de AEs Citrus latifolia destilado.....		¡Error! Marcador no definido.
Marcador no definido.		
3.6.3	Índice de refracción y Densidad	¡Error! Marcador no definido.
3.6.4	Miscibilidad.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.5	Densidad relativa	¡Error! Marcador no definido.
3.6.6	Formulación de Nanoemulsiones	¡Error! Marcador no definido.
3.6.7	Firmeza	¡Error! Marcador no definido.
3.6.8	Peso	¡Error! Marcador no definido.
3.6.9	pH.....	¡Error! Marcador no definido.
CONCLUSIONES.....		¡Error! Marcador no definido.
LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES.....		¡Error! Marcador no definido.
Limitaciones		¡Error! Marcador no definido.
Recomendaciones		¡Error! Marcador no definido.
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS.....		¡Error! Marcador no definido.
3.7	ÍNDICE DE FIGURAS.....	¡Error! Marcador no definido.
3.8	ÍNDICE DE TABLAS.....	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

El manejo postcosecha de frutas representa una etapa crítica para mantener la calidad y prolongar la vida útil de los productos agrícolas (Estrada et al., 2014). El aguacate (*Persea americana*), una fruta climatérica de alto valor nutricional y comercial (FAO, 2023), presenta una corta vida de anaquel debido a su rápida maduración postcosecha, impulsada por una alta respiración y producción de etileno (Defilippi et al., 2018). Esta condición, sumada a su composición rica en grasas insaturadas (USDA, 2019b), lo hace susceptible al deterioro microbiológico, especialmente, lo que genera pérdidas económicas para productores y limita su disponibilidad en el mercado (Perkins et al., 2019). Esta problemática ha incentivado la búsqueda de alternativas naturales y eficaces que permitan conservar sus propiedades organolépticas y alargar su vida útil.

Los aceites esenciales han cobrado relevancia como agentes antimicrobianos y antioxidantes de origen natural (Inobeme y Adetunji, 2024). Derivados del metabolismo secundario de las plantas, estos compuestos volátiles poseen propiedades que los hacen ideales para aplicaciones en la industria alimentaria (Inobeme y Adetunji, 2024). El aceite esencial de *Citrus latifolia* (limón persa), por su composición rica en terpenoides y compuestos aromáticos, se ha utilizado como conservante natural con buenos resultados (Ríos y Vargas, 2023). Además, la tecnología de nanoemulsión ha emergido como una estrategia prometedora para mejorar la estabilidad, biodisponibilidad y efectividad de estos aceites esenciales, ampliando su campo de aplicación en el tratamiento postcosecha de frutas y hortalizas (Medina Calderón y Bautista Barrios, 2015).

En el capítulo I se abordan los aspectos generales de la investigación. Se expone el problema que motiva este estudio, relacionado con la necesidad de extender la vida útil del aguacate mediante métodos naturales y sostenibles. Se justifica la relevancia de explorar el uso del aceite esencial de *Citrus latifolia* en combinación con tecnologías como la nanoemulsificación. También se plantean los objetivos que guían el desarrollo

del trabajo, así como la hipótesis sobre la eficacia de estos tratamientos en la conservación del fruto.

En el capítulo II se presenta el marco teórico que sustenta la investigación. Se revisan los antecedentes sobre el uso de aceites esenciales y nanoemulsiones en el ámbito alimentario, así como los principios físicos y químicos que rigen su formulación y aplicación. Además, se describe la fisiología del aguacate, sus características postcosecha y los factores que afectan su deterioro, con el fin de establecer las bases científicas que respaldan la propuesta de esta investigación.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Los aceites esenciales (AEs), son productos naturales extraídos de plantas, formados principalmente por compuestos aromáticos y volátiles que han demostrado poseer propiedades antimicrobianas (Pateiro et al., 2021). Debido a su capacidad antimicrobiana, los aceites esenciales se presentan como una alternativa prometedora frente a los conservantes sintéticos, ya que constituyen una fuente potencial de compuestos naturales con propiedades conservantes para su aplicación en alimentos (Burt, 2004). La efectividad de esta actividad depende de factores como la concentración de los compuestos predominantes y su forma de interacción con los microorganismos, lo cual influye en el tipo de respuesta biológica generada. La naturaleza volátil y fácilmente degradable de los aceites esenciales hace que su uso eficaz en cantidades adecuadas, sin pérdidas, represente un desafío. A esto se suma su carácter hidrofóbico y su limitada solubilidad en medios acuosos, lo cual complica su incorporación directa en alimentos, bebidas, productos farmacéuticos y cosméticos (Zi-Rui et al., 2018). Una estrategia prometedora para superar estas limitaciones es su inclusión en sistemas emulsionados. Una de las alternativas que ha ganado interés en la comunidad científica es el uso de nanoemulsiones, compuestas por gotas de entre 20 y 500 nm de diámetro (Mushtaq et al., 2023). Su pequeño tamaño mejora la funcionalidad y el transporte de moléculas a través de membranas biológicas (Izadiyan et al., 2025).

En el mundo, según estimaciones de FAO, 45 % de frutas y hortalizas se pierde o desperdicia, y las principales causas de la Pérdida y Desperdicio de Alimentos (PDA), es la falta o deficiencia de instalaciones de almacenamiento.

La generación de residuos de aguacate está directamente relacionada con las cantidades cosechadas y, por lo tanto, puede ser sustancial en países como México (Salazar-López et al., 2020). En México, el desperdicio de aguacate puede alcanzar hasta el 40 % de la producción total debido a la gran cantidad cosechada (Salazar-López et al., 2020), en Panamá podría observarse una situación similar. Solo desde Darién se

envían diariamente entre 10,000 y 15,000 unidades hacia la capital, provenientes principalmente de pequeños productores, lo que evidencia un volumen considerable que podría generar residuos significativos si no se aprovechan adecuadamente (INCAP, 2017). El aguacate representa una de las frutas más consumidas a nivel mundial, experimentando una tendencia ascendente en su consumo. Esta fruta es ampliamente apreciada y disfrutada en todos los continentes debido a su versatilidad en las opciones de consumo (Chirinos et al., 2023).

La vida útil del aguacate se ve influenciada por diversos elementos, entre los cuales destaca el desarrollo de hongos como uno de los factores más significativos (Coyotl-Pérez, Rubio, et al., 2022). Es importante considerar que las condiciones inadecuadas de almacenamiento pueden llevar a pérdidas en la producción total, lo que está vinculado a daños microbiológicos y mecánicos en países de ingresos medios (García & Davidov-Pardo, 2021).

1.1.1 El problema de investigación

¿Pueden los aceites esenciales naturales de *Citrus latifolia* nanoemulsionados alargar la vida de anaquel de aguacates *Persea americana*?

1.2 Justificación

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de los aceites esenciales naturales de limón persa (*Citrus latifolia*) nanoemulsionados sobre la vida de anaquel de aguacates de la variedad *Persea americana* var. *Catalina* ante la necesidad de mitigar su rápida pérdida de calidad postcosecha y contribuir al desarrollo sostenible de la industria aguacatera en Panamá.

El aguacate es originario de una zona que abarca desde el sur de México y Centroamérica hasta el norte de Sudamérica, lo que le confiere una alta variabilidad genética y adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas (Baiza, 2003). En Panamá, este cultivo presenta un gran potencial, gracias a condiciones edafoclimáticas favorables, y cuenta con alrededor de 890 hectáreas sembradas, en un contexto de creciente demanda nacional e internacional (MIDA, 2022). Su comercialización se da principalmente en forma fresca y es un ingrediente importante tanto en áreas urbanas

como rurales (MIDA, 2022). Además, se estima que puede generar entre 42 y 55 empleos a lo largo de la cadena de valor, lo que resalta su relevancia socioeconómica.

Desde el punto de vista nutricional, el aguacate es una fruta densa en nutrientes, con alto contenido de fibra, vitaminas, minerales y fitoquímicos. Su consumo se asocia a beneficios cardiovasculares y en la regulación de la presión arterial y el estrés oxidativo, gracias a sustancias como los fitoesteroles, potasio y luteína (Dreher & Davenport, 2013).

Es un fruto altamente perecedero, que se deteriora rápidamente tras la cosecha debido a procesos bioquímicos internos que afectan su calidad y valor económico. Las principales pérdidas postcosecha se deben a enfermedades fúngicas como la antracnosis y la pudrición peduncular (Ramírez-Gil et al., 2021), lo cual ha impulsado la búsqueda de tecnologías de conservación más eficaces.

La aplicación de aceites esenciales ha demostrado ser una estrategia prometedora en el manejo postcosecha del aguacate (Regnier et al., 2010), y algunos estudios reportan su efecto inhibitorio sobre hongos como *C. acutatum* y *C. gloeosporioides*, como es el caso del aceite esencial de canela (Herrera-González et al., 2022). Además, se ha demostrado la eficacia de recubrimientos basados en nanoemulsiones para mantener la calidad de productos como el jitomate (Cenobio-Galindo et al., 2019).

Pese a estos avances, aún existe información limitada sobre el uso de aceites esenciales, ya sean puros o en nanoemulsiones, específicamente aplicados a aguacates. Asimismo, aunque la refrigeración puede extender la vida útil del fruto, su uso prolongado puede ocasionar daños por frío (Munhuweyi, & Sivakumar, 2020). La vida de anaquel del aguacate es de solo 3 a 5 semanas en condiciones óptimas, lo que representa un reto para productores, comercializadores y consumidores (Tesfay et al., 2017).

Ante esta problemática, el interés por las nanoemulsiones de grado alimenticio ha aumentado, debido a su excelente estabilidad fisicoquímica y mayor biodisponibilidad de los ingredientes activos encapsulados (Glowacz et al., 2017; McClements & Rao, 2011).

Este trabajo busca documentar el efecto del aceite esencial de *Citrus latifolia*

sobre la vida de anaquel del aguacate entero, aportando evidencia científica que apoye estrategias sostenibles de conservación, mejore la calidad organoléptica del fruto y contribuya tanto a la nutrición del consumidor como al ingreso económico de los productores. Lograr el incremento de la vida de anaquel de este fruto implicaría una mejoría en su tiempo disponible para la venta y un incremento en las ganancias de los productores, comerciantes y el consumidor final.

1.3 Hipótesis

H1: Los aceites esenciales nanoemulsionados prolongan la vida de anaquel de los aguacates (*Persea americana var. Catalina*).

H0: Los aceites esenciales nanoemulsionados no prolongan la vida de anaquel de los aguacates (*Persea americana var. Catalina*).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

Evaluar el efecto de los aceites esenciales naturales de *Citrus latifolia* nanoemulsionados sobre la resistencia al desarrollo de hongos y su influencia en la vida útil postcosecha de aguacates enteros (*Persea americana var. Catalina*).

1.4.2 Objetivos específicos:

Determinar la calidad del aceite esencial de *Citrus latifolia* mediante análisis físico y químico.

Comparar las características físicas y químicas del aguacate tratado con aceite esencial natural nanoemulsionado.

Estimar el efecto del tratamiento en la extensión de la vida de anaquel del aguacate.

CAPÍTULO II

2 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Cenobio-Galindo et al. (2019) determino el efecto de la aplicación de una nanoemulsión a base de aceite esencial de naranja y extracto de *Opuntia oligacantha* sobre la calidad del aguacate durante la postcosecha. La nanoemulsión se aplicó como recubrimiento en frutos enteros y se evaluaron los siguientes tratamientos: nanoemulsión concentrada (CN), nanoemulsión al 50 % (N50), nanoemulsión al 25 % (N25) y control (C).

La nanoemulsión (W/O) se preparó con 70 % de aceite de naranja, 10 % de extracto de xoconostle y 20 % de lecitina de soya. Esta mezcla se sonicó. La nanoemulsión obtenida se conservó en refrigerador a 6 °C y se protegió de la luz hasta su análisis y uso. Los frutos se recubrieron con nanoemulsión concentrada (CN), nanoemulsión diluida al 50 % (N50), nanoemulsión al 25 % (N25) y un control (C) sin la adición de nanoemulsión. Los frutos se almacenaron a 6 °C y se analizaron cada 10 días hasta el día 60 (p.11).

Entre los resultados del estudio de Cenobio-Galindo et al. (2019) respecto a la pérdida de peso se destaca que los frutos del grupo control (C) perdieron un $9,81 \pm 1,93$ % de peso después de 10 días, en comparación con una pérdida de peso de $2,31 \pm 0,18$ %, $2,13 \pm 0,99$ % y $2,26 \pm 0,62$ % de los frutos recubiertos con nanoemulsión CN, N50 y N25, respectivamente; este comportamiento se mantuvo hasta el final del análisis.”
antioxidantes-08-00500

En relación a la firmeza, la firmeza del grupo C disminuyó desde el inicio de la evaluación ($6,33 \pm 0,81$ N hasta el día 10), mientras que los frutos cubiertos con N25 y N50 mostraron la mayor firmeza al día 30 ($42,66 \pm 4,88$ y $39,66 \pm 6,40$ N, respectivamente), lo que sugiere que la nanoemulsión es eficaz para mantener la firmeza durante más tiempo en comparación con C.

Del mismo modo, Medeleanu et al. (2023) llevó a cabo una revisión sistemática bibliográfica, abarcando las propiedades funcionales y posibles aplicaciones de nanoemulsiones a base de aceites esenciales cítricos. Los resultados obtenidos respecto a la estabilidad de las nanoemulsiones mostraron que los mecanismos fisicoquímicos de inestabilidad de las nanoemulsiones son la floculación, la cremación, la sedimentación, la coalescencia, la maduración de Ostwald y la separación de fases. En tal sentido, el método de preparación es muy importante para la estabilidad de la nanoemulsión formulada. Los autores señalan que existen dos métodos principales de preparación de nanoemulsiones de aceite en agua: los métodos de baja energía y los métodos de alta energía, cuya diferencia radica en la cantidad de energía mecánica aportada.

Con relación a la actividad antioxidante, encontraron que los aceites esenciales encapsulados en nanoemulsiones tenían una excelente solubilidad en un sistema acuoso, lo que los hacía adecuados para la administración eficaz de ingredientes activos. Por lo tanto, destacaron que los aceites esenciales nanoemulsionados pueden eliminar los radicales de forma más eficaz y manifestar un mayor poder reductor. Concerniente a la actividad antimicrobiana, las bacterias grampositivas son más sensibles a las nanoemulsiones que las gramnegativas. Las nanoemulsiones de aceites esenciales se han probado in vitro contra diferentes microorganismos, desde células bacterianas hasta microorganismos saprofiticos de prueba. El estudio concluyó que las nanoemulsiones pueden utilizarse con éxito en matrices alimentarias (pescado, carne, lácteos, frutas, verduras y bebidas) como agentes aromatizantes, agentes antimicrobianos y antioxidantes naturales, y aditivos naturales para aumentar la vida útil. Además, demostró que los aceites esenciales encapsulados en nanoemulsiones ofrecen varias ventajas en términos de estabilización fisicoquímica, actividad biológica y comportamiento del producto, satisfaciendo la demanda de los consumidores de productos naturales saludables.

Por tanto, los autores plantean que los aceites esenciales cítricos son productos

naturales con diversas propiedades bioactivas (por ejemplo, actividades antimicrobianas, antioxidantes y antimutagénicas), que la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) reconoce generalmente como seguros (GRAS) para su uso como aromatizantes y aditivos alimentarios. No obstante, debido a su alta volatilidad, baja solubilidad en agua, baja estabilidad térmica, susceptibilidad a la oxidación y sabor fuerte, sus aplicaciones en la industria alimentaria son limitadas. La nanotecnología permite la incorporación de aceites esenciales cítricos en sistemas de nanoemulsiones, protegiéndolos así del deterioro causado por factores externos y manteniendo o incluso mejorando sus propiedades funcionales.

de Oliveira et al. (2021) exponen que los recubrimientos basados en nanoemulsiones de origen vegetal suelen tener una mejor barrera contra el agua y mejores propiedades mecánicas, ópticas y microestructurales en comparación con los recubrimientos basados en emulsiones convencionales. Señalaron que, al añadir compuestos antioxidantes y antimicrobianos a los recubrimientos, los nanorrevestimientos permiten una liberación controlada y gradual de esos mismos compuestos durante el tiempo que se almacenan los alimentos, lo cual es superior a lo que logran las emulsiones tradicionales. Esto incrementa la bioactividad del producto, extiende su vida útil y mejora su calidad nutricional.

En tal sentido, los principales cambios debidos al uso de nanosistemas en recubrimientos nanocompuestos se refieren a la barrera al agua, las propiedades mecánicas ópticas y microestructurales, y los efectos antimicrobianos y antioxidantes. Las nanopartículas de los recubrimientos potencian estas actividades cuando se incorporan compuestos antimicrobianos o antioxidantes en el recubrimiento, al permitir su liberación gradual y controlada durante el periodo de almacenamiento de la fruta.

Similarmente, Das et al. (2021) emplean diversas técnicas de encapsulación, como la gelificación iónica, la coacervación, los liposomas, las nanoemulsiones, la nanoprecipitación y los procesos de secado, para encapsular aceites esenciales y compuestos bioactivos con el fin de mejorar su bioeficacia. Sus resultados demostraron

que el recubrimiento comestible a base de nanoemulsión de aceites esenciales en frutas supone una alternativa ecológica innovadora contra la infestación fúngica y la contaminación por micotoxinas. Debido a que el recubrimiento a base de encapsulación de aceites esenciales también mejora las propiedades antifúngicas, antimicotoxigénicas y antioxidantes, es un requisito previo para la mejora a largo plazo de la vida útil de la fruta. Además, resaltan que el recubrimiento a base de emulsión de aceite esencial también es eficaz en la protección de las características fisicoquímicas, a saber, la firmeza, la acidez titulable, el pH, la pérdida de peso, la tasa de respiración y el contenido fenólico total, junto con el mantenimiento de los atributos organolépticos y las cualidades nutricionales de las frutas almacenadas.

Por consiguiente, la encapsulación de aceites esenciales en polímeros biodegradables y biocompatibles que forman un sistema de nanoemulsión mejora su solubilidad, estabilidad y eficacia, y minimiza la contaminación por hongos y micotoxinas. Además, el recubrimiento comestible de frutas mediado por nanoemulsión garantiza aún más el mantenimiento de las actividades antioxidantes, las propiedades fisicoquímicas y los atributos organolépticos, con la consiguiente mejora de la vida útil.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Origen y clasificación del aguacate

El género *Persea spp.* comprende cerca de 200 especies distribuidas en zonas tropicales y subtropicales de América, con ausencia natural en África y Oceanía. *Persea americana* se divide en tres razas ecológicas: mexicana (*P. americana var. drymifolia*), guatemalteca (*P. americana var. guatemalensis*) y antillana (*P. americana var. americana*) (Chil-Núñez et al., 2019). La raza antillana es la más adaptada a climas tropicales, prospera en altitudes menores a 1000 m s. n. m. y presenta resistencia moderada a la salinidad, árboles altos, frutos grandes, semillas sueltas y bajo contenido de aceite (Avilán et al., 2009).

Se han hallado formas primitivas de esta raza en tierras bajas de Colombia, lo que

sugiere un posible centro secundario de domesticación. Su diversidad refleja una amplia distribución y cruzamientos con otras razas, aportando ventajas agronómicas (Gil, 2011).

2.2.2 Mercado

América produce el 72 % del aguacate a nivel mundial (6.5 millones de toneladas), con México como principal productor, seguido por Colombia, Perú y República Dominicana, según la revista Fresh Plaza. Panamá depende de las importaciones de estos países para abastecer su mercado interno, recibiendo semanalmente varios contenedores que ingresan a través de Merca Panamá (FAO, 2025).

La provincia de Darién se ha consolidado como un importante proveedor de aguacates para la ciudad capital, con un envío diario de entre 10,000 y 15,000 unidades desde febrero, según el MIDA, 2025. La producción proviene de más de 10 comunidades de pequeños agricultores, destacando variedades como Hass, Lamb Hass, Cajalu, Oro Verde y Ettinger, lo que refleja el potencial agrícola y el impacto económico positivo en la región (MIDA, 2025).

2.2.3 Valor nutricional

El aguacate destaca por su alto valor nutricional y beneficios para la salud, gracias a sus nutrientes liposolubles y fitoquímicos (Viera et al., 2023). Su pulpa es rica en fibra (70 % insoluble y 30 % soluble), proteínas, lípidos, azúcares como la d-manoheptulosa y compuestos bioactivos como polifenoles, taninos y fitoestrógenos. Su composición varía según factores como la variedad y el clima, con humedad del 67–78 %, lípidos del 12–24 %, carbohidratos del 0.8–4.8 %, proteínas del 1.0–3.0 %, fibra del 1.4–3.0 % y un aporte calórico de 140–228 kcal por unidad (Ozdemir & Topuz, 2004).

2.2.4 Vida de anaquel

La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una

pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, y sufrirá un cambio en su perfil microbiológico (Carrillo & Reyes, 2014).

Los estudios de la vida útil de un alimento son necesarios para no sobredimensionar el tiempo que realmente dura, comprendiendo el tiempo transcurrido entre la fabricación y el momento en que se presentan cambios significativos, que puedan generar rechazo del producto por parte del consumidor final, y puede variar según el proceso de producción, la naturaleza del producto y el tiempo de almacenamiento, con cambios a nivel microbiológico, sensorial, físico y químico. A nivel sensorial, la vida útil de los alimentos en estantería depende de la aceptación que tenga al interactuar con el consumidor (Manzocco, 2016).

2.2.5 Problemas postcosecha del aguacate

El aguacate solo inicia su proceso de maduración una vez cosechado, lo cual ocurre rápidamente debido a su intensa actividad respiratoria (Barry & Giovannoni, 2007). La madurez se manifiesta mediante transformaciones bioquímicas como la elevada producción de etileno, un marcado incremento en la tasa respiratoria y modificaciones visibles en el fruto (Yahia, 2016).

Este fruto destaca por su alto valor nutricional, especialmente por su contenido en grasas insaturadas (USDA, 2019a), lo que lo hace más vulnerable a daños y a un proceso de descomposición acelerado. Si bien su fisiología contribuye a su deterioro, la principal causa de pérdida postcosecha está relacionada con la acción de microorganismos patógenos que se desarrollan aprovechando sus propiedades nutritivas. Entre estos patógenos se encuentran *Colletotrichum gloeosporioides*, *Lasiodipodia theobromae*, *Clonostachys rosea* y *Neofusicoccum parvum*, responsables de enfermedades como la antracnosis (Coyotl-Pérez, Rubio-Rosas, et al., 2022).

Condiciones externas como el manejo inadecuado, la ausencia de preenfriado y la falta de control de temperatura durante el almacenamiento favorecen el desarrollo de manchas oscuras en la cáscara y la aparición de decoloraciones en el mesocarpio

(Fuentealba et al., 2022). Debido a su estructura blanda y la delgadez de su piel, el aguacate resulta especialmente propenso al daño y a la acción de hongos que aceleran su deterioro (Defilippi et al., 2018).

2.2.6 Métodos de conservación

La principal razón por la que los consumidores rechazan los aguacates es la aparición de imperfecciones en la piel durante su transporte y almacenamiento (Berry et al., 2015). Por ello, los métodos de conservación no solo buscan frenar el deterioro, sino también mantener la apariencia y calidad del fruto (Lieu et al., 2024).

Esto ha motivado investigaciones orientadas a reducir la respiración, proteger contra patógenos y factores ambientales, y extender la vida útil del producto. Durante el almacenamiento, se monitorean indicadores clave como el cambio de color, el pardeamiento del mesocarpio, la firmeza, la pérdida de peso y el daño general, los cuales influyen directamente en la aceptación del consumidor (Lieu et al., 2024).

2.2.7 Aceites esenciales

La composición química de los aceites esenciales, a excepción de las esencias derivadas de heterósidos (como la de las almendras amargas y mostaza), son generalmente mezclas complejas de constituyentes muy variables que pertenecen, de forma casi exclusiva, al grupo de los terpenos y, en menor medida, al grupo de los compuestos aromáticos derivados del fenilpropano (aldehído cinámico, eugenol, anetol, aldehído anísico y safrol, entre otros). Los compuestos terpénicos están formados por unidades de isopreno (5 carbonos), que pueden ser monoterpenos (10 carbonos) y sesquiterpenos (15 carbonos). Estos monoterpenos y sesquiterpenos pueden ser, a su vez, acíclicos, monocíclicos y bicíclicos, y también oxigenados y no oxigenados (Calderón et al., 2023).

Una de sus mayores aplicaciones radica en el uso de los aceites esenciales en la actividad antimicrobiana, como los extraídos del género Citrus, la cual se atribuye a que presentan ciertas características especiales, como es su carácter hidrófilo e hidrófobo, y también se le relaciona con sus compuestos químicos (fenoles, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, éteres o hidrocarburos). Aunque en algunos casos, las bioactividades de los aceites esenciales están estrechamente relacionadas con la actividad de los componentes principales de los aceites (Masqui et al., 2022).

Las propiedades de los aceites esenciales derivados de las plantas han sido reconocidas empíricamente durante siglos, pero científicamente confirmadas solo recientemente, encontrando que pueden ser utilizados como agentes antimicrobianos y antioxidantes en los productos alimenticios, tanto para prolongar su vida útil como para mantener y potenciar su calidad y características organolépticas. Su aplicación reemplazaría el uso de los preservantes y compuestos antimicrobianos sintéticos que a mediano y largo plazo pudieran causar enfermedades en los consumidores (Masqui et al., 2022).

Debido a su alta volatilidad, baja solubilidad en agua, poca estabilidad térmica, susceptibilidad a la oxidación y sabor intenso, el uso de aceites esenciales cítricos en alimentos es limitado. La nanotecnología permite incorporarlos en nanoemulsiones, lo que los protege del deterioro ambiental y conserva o mejora sus propiedades funcionales (Medeleanu et al., 2023).

2.2.8 Nanoemulsiones

Las nanoemulsiones son sistemas bifásicos compuestos por dos líquidos inmiscibles, como aceite y agua, estabilizados con surfactantes. Según la fase continua, pueden ser de tipo aceite en agua (O/W) o agua en aceite (W/O) (Liew et al., 2020). Las nanoemulsiones con aceites esenciales cítricos son consideradas alternativas naturales a los aditivos sintéticos, aprobadas por la FDA como seguras (GRAS) para su uso en alimentos. Su baja opacidad y tamaño nanométrico (20–200 nm) permiten su

incorporación en bebidas (Medeleanu et al., 2015).

Las formulaciones mejoran la estabilidad de los aceites esenciales frente a factores ambientales y, gracias a su bioactividad, pueden actuar como antioxidantes, antimicrobianos, terapéuticos y larvicidas. Las nanoemulsiones con aceites esenciales cítricos interfieren con la pared celular de bacterias, hongos y virus, desestabilizándola por contacto directo, sin afectar células eucariotas debido a la complejidad de sus membranas (Kosker et al., 2023). Usualmente, se emplean nanoemulsiones tipo O/W para evitar la evaporación del aceite y favorecer su distribución acuosa (Sharma et al., 2022). Dado que muchas bacterias habitan en la fase acuosa o en interfaces, estos nanosistemas elevan la concentración local de compuestos bioactivos, intensificando su efecto antimicrobiano (Medeleanu et al., 2023).

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de investigación y tipo de estudio

La investigación tiene un diseño experimental con grupos independientes, sin pretest. Cada grupo de aguacates recibe un tratamiento distinto (control, aceite natural, nanoemulsiones al 5 % y 10 %), y se evalúan los efectos en su vida de anaquel mediante mediciones periódicas de variables físicas y químicas.

El tipo de estudio es cuasiexperimental, descriptivo, comparativo y longitudinal, ya que se evaluó el efecto de diferentes tratamientos sobre la vida útil del aguacate a lo largo del tiempo, describiendo y comparando los resultados obtenidos entre grupos.

3.2 Población o universo

La población de esta investigación está constituida por frutos de aguacate (*Persea americana*), en estado de madurez fisiológica comercial, recolectados de Merca Panamá provenientes de la provincia de Darién, Panamá.

3.2.1 Sujetos o grupo de estudio:

El grupo de estudio está conformado por 48 frutos de aguacate seleccionados bajo criterios de inclusión como uniformidad en color, ausencia de daños físicos, pudrición o enfermedades visibles. Los frutos fueron divididos en cuatro grupos experimentales: tratamiento control (sin recubrimiento), tratamiento con aceite esencial natural y dos tratamientos con nanoemulsiones de aceite esencial a diferentes concentraciones (5 % y 10 %). Cada tratamiento fue aplicado por triplicado, utilizando tres frutos por evaluación en cada día de análisis, durante el periodo experimental.

3.2.2 Tipo de muestra estadística:

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia, dado que los frutos

fueron seleccionados intencionalmente en función de su disponibilidad, estado de madurez y condiciones adecuadas para la evaluación. Este tipo de muestreo es común en investigaciones experimentales en laboratorio, donde se requiere un control riguroso de las variables y se trabaja con muestras homogéneas.

3.3 Variables

3.3.1 Variable independiente: Nanoemulsiones

Definición conceptual: Las nanoemulsiones son mezclas emulsificadas cuyas partículas tienen un tamaño en escala nanométrica.

Definición operacional: Se aplicarán concentraciones diferentes de nanoemulsiones a los aguacates, categorizados de la siguiente manera:

- Nanoemulsión con 5 % de aceite esencial
- Nanoemulsión con 10 % de aceite esencial
-

3.3.2 Variable dependiente: Vida de anaquel del aguacate

Definición conceptual: La vida útil del aguacate se define como el período durante el cual el producto debe mantener un nivel predeterminado de calidad bajo condiciones de almacenamiento específicas (Kassim et al., 2013).

3.4 Instrumentos, técnicas de recolección de datos y/o materiales

Para la recolección de datos se utilizaron diversos instrumentos y técnicas de carácter ~~físico y químico~~ con el fin de evaluar el efecto de las nanoemulsiones de aceite esencial de *Citrus latifolia* sobre la vida de anaquel de aguacates (*Persea americana var. Catalina*).

Instrumentos:

- Formatos para recolección de datos: Hoja de registro de datos diseñada específicamente para este estudio, donde se consignaron los valores de %

de rendimiento, formulaciones, protocolos de homogeneización, datos de pH, peso y firmeza.

Equipos

- Sistema de destilación por arrastre de vapor
- Homogeneizador de alta velocidad
- Penetrómetro
- Refrigerador
- Picnómetro
- Refractómetro
- Termómetro digital
- Autoclave

Materiales

- Viales de vidrio ámbar
- Brochas de silicón
- Bandejas
- Embudo de separación
- Pipetas Pasteur
- Limones persas (*Citrus Latifolia*)
- Aguacates (*Persea americana var. Catalina*)
- Cuchillos
- Peladores

Reactivos

- Hipoclorito de sodio
- Agua destilada
- Sulfato de sodio anhidro.

- Etanol al 70 %.
- Aceite mineral
- Tween 80
- Lecitina de soya

Técnicas

- Gravimetría
- Potenciometría
- Refractometría (Abbe o digital).
- Observación cualitativa
- Penetrómetro
- Destilación simple asistida con vapor de agua.
- Decantación con embudo de separación.
- Deshidratación por adsorción
- Almacenamiento a temperatura controlada
- Homogenización de alta energía
- Recubrimiento superficial por impregnación manual (brocha).

La gravimetría, potenciometría y refractometría se encuentran estandarizadas en normas AOAC e ISO, en particular la norma ISO 3519:2005 para aceites de lima destilados tipo mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle), que incluye métodos para densidad (ISO 279:1998) e índice de refracción (ISO 280:1998). La firmeza se determinó mediante penetrómetro, técnica respaldada por estudios de fisiología poscosecha (White et al., 1999). Para la obtención del aceite esencial se siguieron procedimientos de destilación y decantación descritos por Villaverde (2018), mientras que la formulación de nanoemulsiones se llevó a cabo por homogenización de alta cizalla, de acuerdo con Navarrete & Cenobio-Galindo (2018).

Las pruebas de cada fruto se registraron en triplicado para obtener una media por grupo y día. El análisis se realizó utilizando un software estadístico que permite aplicar métodos como ANOVA y Tukey de manera automatizada. El ANOVA se emplea para determinar si existen diferencias significativas entre varios grupos, mientras que la prueba Tukey HSD (Diferencia Honesta Significativa) se utiliza después del ANOVA para identificar específicamente entre qué grupos ocurren dichas diferencias. Los datos se analizaron con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

3.5 Procedimiento

3.5.1 Etapa 1: Recepción de materia prima:

Los limones persas (*Citrus latifolia*) utilizados en este estudio fueron adquiridos en el centro de distribución Merca Panamá localizado en la Vía Centenario, corregimiento de Ancón, provincia de Panamá (Panamá). La selección se realizó con base en criterios de calidad que incluyeron frutos de origen nacional, en estado de madurez verde, libres de manchas, hongos o daños físicos visibles. Posteriormente, los limones se lavaron con agua potable para eliminar suciedad superficial y reducir el riesgo de contaminación. La corteza externa (epicarpio) fue retirada de manera mecánica utilizando cuchillos y peladores, procurando no incluir el flavedo. Finalmente, la cáscara obtenida se pesó para su posterior procesamiento.



Fig. 1 Limón persa en proceso de lavado. Fuente: propia



Fig. 2 Retiro de corteza de la cáscara de limón persa. Fuente: propia

3.5.2 Etapa 2: Extracción de aceites esenciales:

Se utilizaron frutos de lima persa (*Citrus latifolia*) obtenidos en un mercado local de la Ciudad de Panamá. La extracción de aceite esencial (AEs) se realizó mediante destilación por arrastre de vapor. Se colocaron aproximadamente 200-300 gramos de cáscara fresca en el sistema de destilación por arrastre de vapor. El vapor pasó a través del material vegetal, arrastrando los compuestos volátiles. El destilado resultante se enfrió y decantó, separando la fase oleosa (aceite esencial) de la fase acuosa. El aceite esencial crudo se pasó por una columna con sulfato de sodio anhidro para eliminar trazas de agua y luego se almacenó en viales de vidrio ámbar a 4 °C hasta su uso.



Fig. 3 Sistema de destilación por arrastre de vapor Fuente: propia

3.5.3 Etapa 2: Caracterización del aceite esencial

Al aceite esencial (AEs) de *Citrus latifolia* obtenido se le determinaron diversas propiedades fisicoquímicas básicas siguiendo protocolos estandarizados. El índice de refracción fue medido conforme a la norma ISO 592:1998 para aceites esenciales, utilizando un refractómetro digital ATAGO MASTER-53Pα calibrado a 20 °C. El pH del

aceite fue determinado mediante un potenciómetro digital modelo Apera Instruments PH60S. La densidad relativa a 20 °C se midió con un densímetro de vidrio. También se evaluó la solubilidad de AEs en diferentes disolventes: agua destilada, aceite mineral y etanol al 70 %, observando el comportamiento de miscibilidad en cada uno.

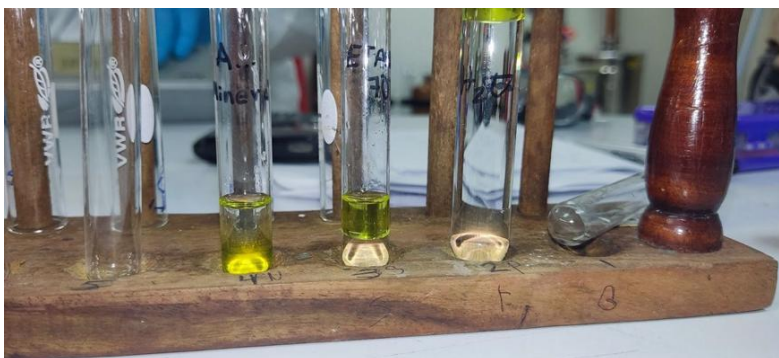


Fig. 4. Prueba de solubilidad de AEs de limón persa utilizando agua, aceite mineral y etanol al 70 %. Fuente: propia.

3.5.4 Etapa 3: Formulación de nanoemulsión

Se formuló una nanoemulsión de aceite esencial de limón persa mediante un método de emulsificación a alta energía, adaptado de (Navarrete & Cenobio-Galindo, 2018). Para la fase oleosa, se mezclaron 0,42 g del aceite esencial (*Citrus latifolia*) con 3,81 g de polisorbato 80 (Tween 80) como tensioactivo no iónico. La fase acuosa se preparó con 7,0 g de agua destilada y 0,20 g de lecitina de soya como emulsionante natural. Ambas fases fueron homogeneizadas inicialmente utilizando un homogeneizador de rotor-estator modelo FSH-2A INTBUYING a 9,000 rpm durante 5 minutos, aplicando pulsos de 10 segundos de agitación seguidos por 10 segundos de reposo. Posteriormente, la emulsión preformada fue sometida a una segunda etapa de homogenización intensiva, incrementando gradualmente la velocidad hasta alcanzar los 15,000 rpm durante un tiempo total de 20 minutos, con pausas breves para evitar el sobrecalentamiento del sistema. Este proceso permitió obtener una dispersión fina del aceite esencial (Fig. 4). Se prepararon dos formulaciones: una con una concentración del 5 % p/p de aceite esencial (denominada "Nano #1") y otra con aproximadamente el

10 % p/p (denominada "Nano #2"), manteniendo constante la proporción de los demás componentes y las condiciones de procesamiento. Las formulaciones fueron almacenadas en frascos esterilizados a 4 °C hasta su aplicación en los frutos.



Fig. 5 Nanoemulsión realizada en un homogenizador Ultra Turrax. Fuente: propia.

3.5.5 Etapa 4: Obtención y preparación de los frutos

Se adquirieron 60 frutos de *Persea americana* var. *Catalina* en un establecimiento local de Merca Panamá localizado en la Vía Centenario, corregimiento de Ancón, provincia de Panamá (Panamá) seleccionando aquellos que presentaban una madurez fisiológica intermedia, determinada sensorialmente mediante evaluación táctil de la firmeza y homogeneidad del color verde oscuro de la epidermis. Los frutos, de tamaño y peso uniforme (380–400 g), fueron transportados cuidadosamente al laboratorio el mismo día de la recolección para preservar su integridad y condición inicial.

En el Laboratorio de Biotecnología de Alimentos de la Universidad Especializada

de las Américas (UDELAS), los aguacates fueron sometidos a un protocolo de desinfección superficial mediante inmersión en una solución de 500 ppm de hipoclorito de sodio durante 2 minutos, conforme a lineamientos técnicos para la eliminación de contaminantes superficiales (DIGESA, 2007). Posteriormente, se enjuagaron con agua estéril y se secaron con toallas de papel igualmente estériles. Se realizó una inspección visual individual para descartar aquellos frutos que presentaran defectos estructurales o daños visibles.

3.5.6 Etapa 5: Diseño experimental y tratamientos

Se establecieron cuatro grupos experimentales de tratamiento postcosecha, conformados por 18 frutos de *Persea americana* var. *Catalina* cada uno (Fig. 5). Las categorías de tratamiento fueron las siguientes:

- **Control (C):** frutos sin ningún tipo de recubrimiento, almacenados en condiciones ambientales de laboratorio.
- **Blanco (B):** frutos recubiertos únicamente con la matriz emulsificante (mezcla de Tween 80 y lecitina en agua destilada), sin presencia de aceite esencial, con el objetivo de aislar el efecto del vehículo de formulación.
- **Nanoemulsión #1 (1N):** frutos tratados con recubrimiento conteniendo una nanoemulsión al 5 % (v/v) de aceite esencial de *Citrus latifolia*.
- **Nanoemulsión #2 (2N):** frutos tratados con recubrimiento conteniendo una nanoemulsión al 10 % (v/v) de aceite esencial.



Fig.6 Distribución de aguacates por grupo, fuente: propia.

La aplicación de los tratamientos se realizó mediante acción mecánica con una brocha de silicón: cada fruto fue impregnando completamente según el tratamiento correspondiente. Para el grupo control se utilizó únicamente agua destilada; para el grupo blanco el tratamiento (B) emulsificante base; y para los grupos 1N y 2N, las nanoemulsiones respectivas. Posteriormente, los frutos fueron colocados en bandejas estériles y se dejaron escurrir y secar al aire en condiciones controladas durante 30 minutos, permitiendo la formación de una película superficial delgada y uniforme (Fig.6)

Cada fruto fue identificado mediante un código único que integraba el tipo de tratamiento, la réplica y el día de evaluación (Tabla 1). Por ejemplo, “1N3D6” corresponde al fruto del grupo Nanoemulsión #1, réplica 3, evaluado en el día 6). Finalmente, los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente (~25 °C) y 60 % de humedad relativa, simulando las condiciones habituales del proceso de comercialización en mercados locales.



Fig. 7: Aplicación de los tratamientos a los aguacates con brocha. Fuente propia.

Tabla 1: Códigos de aguacates

Día \ Grupo	Control (C)	Blanco (B)	Nanoemulsión #1 (1N)	Nanoemulsión #2 (2N)
D0	C1D0, C2D0, C3D0	B1D0, B2D0, B3D0	1N1D0, 1N2D0, 1N3D0	2N1D0, 2N2D0, 2N3D0
D2	C1D2, C2D2, C3D2	B1D2, B2D2, B3D2	1N1D2, 1N2D2, 1N3D2	2N1D2, 2N2D2, 2N3D2
D4	C1D4, C2D4, C3D4	B1D4, B2D4, B3D4	1N1D4, 1N2D4, 1N3D4	2N1D4, 2N2D4, 2N3D4
D6	C1D6, C2D6, C3D6	B1D6, B2D6, B3D6	1N1D6, 1N2D6, 1N3D6	2N1D6, 2N2D6, 2N3D6
D8	C1D8, C2D8, C3D8	B1D8, B2D8, B3D8	1N1D8, 1N2D8, 1N3D8	2N1D8, 2N2D8, 2N3D8
D10	C1D10, C2D10, C3D10	B1D10, B2D10, B3D10	1N1D10, 1N2D10, 1N3D10	2N1D10, 2N2D10, 2N3D10

3.5.7 Etapa 6: Ensayos físicos y químicos

Durante el período de almacenamiento postratamiento, se realizaron evaluaciones periódicas de parámetros físicos y químicos para caracterizar el comportamiento de los frutos bajo cada condición experimental. Las mediciones se efectuaron cada dos días —en los días 0, 2, 4, 6, 8 y 10— mediante análisis destructivos realizados en tres frutos por tratamiento (réplicas independientes).

Los parámetros evaluados incluyeron:

- **Firmeza de la pulpa**, determinada mediante un penetrómetro de puntas intercambiables tipo Effegi modelo Lutron FR-5120, utilizando la escala de 0 a 20 kgf. Previamente, se extrajo una sección circular del epicarpio en dos puntos opuestos del fruto, y se realizó una penetración de 1 cm en la pulpa a temperatura ambiente (~25 °C). Se tomaron dos lecturas por fruto, registrándose el promedio

como indicador de la textura del mismo.

- **Pérdida de peso**, evaluada como porcentaje de reducción de masa respecto al peso inicial del fruto en día 0 (tras el secado superficial). Cada fruto fue marcado y pesado individualmente a lo largo del ensayo, utilizando una balanza analítica de precisión ($\pm 0,01$ g).
- **pH de la pulpa**: Se analizaron en un potenciómetro previamente calibrado (Hanna Instruments). Cada muestra fue procesada por triplicado.
- **Color de la cáscara y de la pulpa**, observado cualitativamente a simple vista como apoyo a la evaluación de la madurez. Aunque no se empleó colorímetro, se describieron los cambios visibles en la tonalidad del epicarpio y mesocarpio durante el ensayo.



a) Firmeza



b) pH



c) peso

Fig.8a, 8b y 8c: Evaluaciones aplicadas a los frutos de aguacates. Fuente: propia

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados.

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, mediante la estadística descriptiva, se presentan y analizan los resultados obtenidos en función de los objetivos, hipótesis y la pregunta de investigación, utilizando gráficas, tablas y su respectiva interpretación.

3.6.1 Extracción de aceites esenciales (AEs)

La obtención del aceite esencial de *Citrus latifolia* se llevó a cabo mediante la técnica de destilación por arrastre de vapor, empleando como materia prima la cáscara de limón previamente seleccionada y acondicionada. En cada lote, la masa vegetal fue pesada y posteriormente sometida al proceso de destilación, recolectando el aceite esencial en viales ámbar para su cuantificación. El rendimiento se calculó a partir de la relación entre la masa de aceite obtenido y la masa de materia prima destilada, expresado en porcentaje (%).

Tabla 2: Porcentaje de rendimiento de AEs

Lote	Masa Vegetal Destilada (g)	Aceite Obtenido (g)	Porcentaje de Rendimiento (%)
0	130,56	0,5	0,38
1	907,22	0,49	0,054
2	1267,61	5,09	0,27
3	1344,4	7,34	0,33
4	1,430,59	2,97	0,2
5	2,032,83	8,55	0,38
6	1,676,21	5,3	0,32
7	4,321,57	22,85	0,4
Total	9,647,57	53,09	
Promedio del Porcentaje de Rendimiento			0,29
Desviación estándar del porcentaje de rendimiento			0,12
Resultado			0,29 +/- 0,12

El rendimiento de extracción del aceite esencial de *Citrus latifolia* mostró una marcada variabilidad entre los diferentes lotes procesados. Los valores oscilaron entre 0,054 % y 0,40 %, con un promedio cercano a 0,29 %. Este comportamiento evidencia la influencia de factores asociados tanto a la calidad del material vegetal como a las condiciones operativas del proceso de destilación. El lote 1, con un rendimiento de apenas 0,054 %, constituye un valor atípico en relación con los demás, lo que sugiere posibles deficiencias en la homogeneidad del material o en el control del proceso de arrastre por vapor.

Diversos estudios han reportado que el rendimiento de aceites esenciales (AEs) en frutos cítricos se encuentra, de manera general, dentro de rangos relativamente estrechos. Por ejemplo, Ángel (2023) informó valores de $0,38 \pm 0,15$ % bajo condiciones de destilación comparables.

En concordancia, los valores máximos registrados en el presente trabajo (0,38–0,40 %) se ubican dentro del rango esperado para la especie y el método empleado. Este hallazgo respalda la hipótesis de que las variaciones observadas en los rendimientos obedecen fundamentalmente a la naturaleza del material vegetal y a las condiciones de procesamiento, descartando fallas metodológicas como causa principal.

3.6.2 Caracterización de aceites esenciales

La caracterización fisicoquímica del aceite esencial de *Citrus latifolia* se realizó con el fin de comparar sus propiedades con los rangos reportados en la literatura para aceites cítricos. Entre los parámetros evaluados se incluyeron el pH, índice de refracción, densidad y miscibilidad en diferentes solventes, empleando metodologías normalizadas y condiciones controladas de laboratorio.

Tabla 3: Resultados de la Caracterización de AEs *Citrus latifolia* destilado.

Caracterización de Aceites Esenciales		
Prueba	Resultado	Unidades / Escala
pH	6	Escala de pH (25 °C)
Índice de Refracción	1,53	n_D^{20} (adimensional)
Densidad	0,8238	g/ml
Solubilidad en Agua	Inmiscible	—
Solubilidad en Etanol (70 % v/v)	miscibilidad parcial	—
Solubilidad en Aceite Mineral	Miscible	—

El aceite esencial de *Citrus latifolia* presentó un pH de 6, lo que refleja la ausencia de componentes acuosos que modifiquen su acidez. Los resultados están dentro de los rangos típicos reportados para aceites de limón en la literatura (Ángel, 2023) de 6-6,5 de pH.

3.6.3 Índice de refracción y densidad

El aceite esencial (AEs) de *Citrus latifolia* presentó un índice de refracción de aproximadamente 1,4740. Este valor es consistente con aceites ricos en limoneno, sugiriendo una alta pureza y una composición mayoritaria de monoterpenos. Además, se encuentra dentro del rango reportado en la literatura para aceites esenciales de limón (índice de refracción 1,474–1,488; (Ángel, 2023).

3.6.4 Miscibilidad

La evaluación de la miscibilidad del aceite esencial de *Citrus latifolia* evidenció que este es inmiscible tanto en agua como en etanol al 70 %, mientras que resultó completamente miscible en aceite mineral. Este comportamiento se explica por la naturaleza hidrofóbica de los compuestos mayoritarios presentes en los aceites cítricos, principalmente monoterpenos como el limoneno. En concordancia, Masqui et al. (2022) señalan que “las bioactividades de los aceites esenciales están estrechamente relacionadas con la actividad de los componentes principales de los aceites” (p. 14), lo que implica que las propiedades fisicoquímicas de dichos compuestos determinan su solubilidad en medios polares o no polares.

La inmiscibilidad en agua y etanol confirma la limitada polaridad de estos aceites, lo que dificulta su aplicación directa en matrices acuosas como las alimentarias. Al respecto, Medeleanu et al. (2023) destacan que “debido a su alta volatilidad, baja solubilidad en agua, baja estabilidad térmica, susceptibilidad a la oxidación y sabor fuerte, sus aplicaciones en la industria alimentaria son limitadas” (p. 15). Esto respalda la necesidad de recurrir a tecnologías de nanoemulsificación para dispersar de manera eficaz el aceite en medios hidrofílicos.

Por otra parte, la miscibilidad completa observada en aceite mineral se debe a la afinidad lipofílica entre ambas fases. De Oliveira et al. (2021) confirman que “los recubrimientos basados en nanoemulsiones de origen vegetal suelen tener una mejor barrera contra el agua y mejores propiedades mecánicas, ópticas y microestructurales en comparación con los recubrimientos basados en emulsiones convencionales” (p. 15). Esto demuestra que, mediante la formulación de nanoemulsiones, es posible aprovechar la afinidad lipídica del aceite esencial y al mismo tiempo superar las limitaciones de solubilidad en sistemas acuosos.

En síntesis, los resultados de miscibilidad corroboran la naturaleza lipofílica del aceite esencial de *Citrus latifolia* y justifican el uso de emulsificantes para su aplicación en alimentos y tratamientos postcosecha, coincidiendo con lo planteado por diversos

autores sobre la necesidad de encapsulación en nanosistemas para preservar estabilidad y potenciar bioactividad.

3.6.5 Densidad relativa

La densidad relativa fue de $\sim 0,85$ g/mL. Este resultado es coherente con la bibliografía para aceites esenciales cítricos ricos en hidrocarburos terpénicos como el limoneno, indicando que la mayoría de los aceites esenciales tienen densidades inferiores a la del agua, lo que confirma que este tipo de matrices se caracterizan por valores inferiores a 1 g/mL debido a su composición rica en hidrocarburos terpénicos (Black-Solís, 2017; Masqui et al., 2022), esto respalda que el resultado obtenido es coherente con la composición química predominante en este aceite esencial.

3.6.6 Formulación de nanoemulsiones



Fig.9: Aspecto físico de las nanoemulsiones formuladas con aceite esencial de *Citrus latifolia*.

La Fig.9 muestra que la nanoemulsión formulada con aceite esencial de *Citrus latifolia* presentó una apariencia lechosa translúcida, físicamente estable y sin separación de fases durante al menos dos semanas bajo refrigeración (4°C), lo que indica buena estabilidad inicial del sistema. Resultados similares se encuentran en el estudio de

Wulansari et al. (2017) los cuales reportan que “las formulaciones de gel de nanoemulsión que contienen 5 % (F1), 7 % (F2) y 9 % (F3) de aceite de árbol de té mostraron una apariencia física estable durante 8 semanas de almacenamiento a baja temperatura (4 ± 2 °C) y temperatura ambiente (25 ± 2 °C)” (p. 1). Asimismo, Napiórkowska et al. (2024) señalan que, en una configuración experimental típica, los batidos que contienen nanoemulsiones de aceites esenciales se almacenan a temperaturas de refrigeración (4-6 °C) y muestran mantenimiento de la homogeneidad de las fases durante el almacenamiento.

No obstante, el estudio realizado por Liu et al. (2019) expone que las nanoemulsiones de aceites esenciales pueden perder estabilidad (incluso cuando se refrigeran) si no se optimizan variables como el balance hidrofílico-lipofílico (HLB), el tipo/proporción de tensioactivo, la fase oleosa y las condiciones de almacenamiento. En su revisión de las nanoemulsiones de grado alimentario destaca que las nanoemulsiones acabarán degradándose como resultado de la floculación, la separación gravitacional, la coalescencia, la separación de fases y la maduración de Ostwald, por lo que la estabilidad observada debe supervisarse con pruebas de seguimiento (turbidez, tamaño de las gotas, centrifugación).

Del mismo modo, centrado en los alimentos. Napiórkowska et al. (2024) describe que el aumento de la turbidez y/o la separación de fases durante el almacenamiento son signos de disminución de la estabilidad física, y recomienda evaluar diferentes escenarios de temperatura y tiempo. Asimismo, los estudios orientados a la formulación indican que el HLB del sistema tensioactivo es fundamental: las mezclas con $HLB < 10$ tienden a ser nanoemulsiones opacas con una alta propensión a la separación de fases, mientras que los valores > 12 favorecen nanoemulsiones más estables y transparentes; aun así, se han descrito inestabilidades utilizando los mismos tensioactivos cuando otras condiciones no son adecuadas (Singh y Pulikkal, 2022).

Estos paralelismos sugieren que la estabilidad demostrada por la nanoemulsión de *Citrus latifolia* bajo refrigeración no solo es consistente con lo encontrado en estudios con aceites esenciales como el de *Melaleuca alternifolia* o mezclas en matrices

alimentarias, sino que también respalda la viabilidad de su aplicación en condiciones prácticas postcosecha o de formulación donde la refrigeración es viable. Además, aunque sus muestras se mantuvieron estables durante dos semanas a 4 °C, la literatura advierte de escenarios en los que pueden volverse inestables; por lo tanto, es aconsejable complementar con estudios de estrés (ciclos de frío-calor, centrifugación, pruebas de maduración de Ostwald) y la optimización sistemática del HLB y la concentración de tensioactivos.

3.6.7 Firmeza

La firmeza de los aguacates se evaluó como un indicador clave de la textura y el estado de maduración del fruto. Las mediciones se realizaron utilizando un penetrómetro digital, aplicando la fuerza de compresión en la pulpa previamente pelada y expresando los valores en kilogramos-fuerza (kgf).

La Figura.10 muestra la evolución de la firmeza de la pulpa de aguacate (en kgf) a lo largo del almacenamiento, bajo los distintos tratamientos postcosecha. Cada columna representa la dureza promedio de la pulpa en una fecha de evaluación (día 0, 2,4, 6, 10), para los grupos: Control (sin recubrimiento), Blanco (recubrimiento sin AEs), Nano #1 (nanoemulsión 4 % AEs) y Nano #2 (nanoemulsión 10 % AEs).

Se observa que todos los frutos iniciaron con una firmeza alta (8.14 -8.69 kgf). En el caso del grupo control, la firmeza disminuyó rápidamente con el tiempo, cayendo por debajo de 1 kgf antes del día 10 (indicando pulpa muy blanda). Los tratamientos con aceites esenciales retrasaron la pérdida de firmeza: tanto los frutos tratados con la nanoemulsión #1 como #2 mantuvieron valores de dureza por encima de 1.5 kgf hasta el final del período de evaluación. Incluso el tratamiento blanco (sin AEs, solo emulsificante) mostró una ligera mejoría en firmeza respecto al control, posiblemente por el efecto barrera físico del recubrimiento.

No obstante, la conservación de la firmeza fue más pronunciada en los tratamientos con AEs nanoemulsionados. Al día 10, los aguacates Nano #2 presentaban la pulpa más firme (1.96 kgf), seguidos de Nano #1 (~1.76 kgf), mientras que los controles estaban casi completamente blandos (~0.09 kgf). Estas diferencias sugieren que la aplicación del aceite esencial, especialmente en forma de nanoemulsión, retardó el ablandamiento propio de la maduración del aguacate, prolongando su textura firme por más tiempo.

El análisis de varianza de medidas repetidas indicó que las diferencias en firmeza entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas durante el almacenamiento ($p = 0.399$). La prueba post hoc Tukey HSD confirmó que ninguna de las comparaciones entre grupos alcanzó significancia: Control vs. Blanco ($p = 0.996$), Control vs. Nano #1 ($p = 0.985$), Control vs. Nano #2 ($p = 0.983$), Blanco vs. Nano #1 ($p = 0.999$), Blanco vs. Nano #2 ($p = 0.999$) y Nano #1 vs. Nano #2 ($p = 1.0$). Sin embargo, las diferencias observadas sugieren que la aplicación de nanoemulsiones de aceite esencial de limón persa tuvo un efecto positivo en retardar la pérdida de firmeza de los aguacates.

Sin embargo, la aplicación de nanoemulsiones de aceite esencial de limón persa (*Citrus latifolia*) tuvo un efecto positivo en la conservación postcosecha de aguacates (*Persea americana* var. Catalina) en términos de firmeza, ya que los frutos tratados con las nanoemulsiones (Nano #1, #2)) mostraron una disminución más lenta en comparación con el grupo control, manteniendo valores entre a 1.96 y 1.76 kgf al día 10 de almacenamiento. Esto sugiere que el recubrimiento aplicado retardó los procesos de ablandamiento asociados a la maduración.

En comparación, en el estudio de Ramos et al. (2021), la firmeza inicial de los aguacates verdes fue de aproximadamente 0.98 kgf, mientras que los frutos en estados de madurez cambiante y negro presentaron valores cercanos a 0.64 y 0.60 kgf, respectivamente, disminuyendo rápidamente hasta 0.03 kgf al cuarto día de

almacenamiento, lo que evidencia una pérdida acelerada de consistencia del fruto.

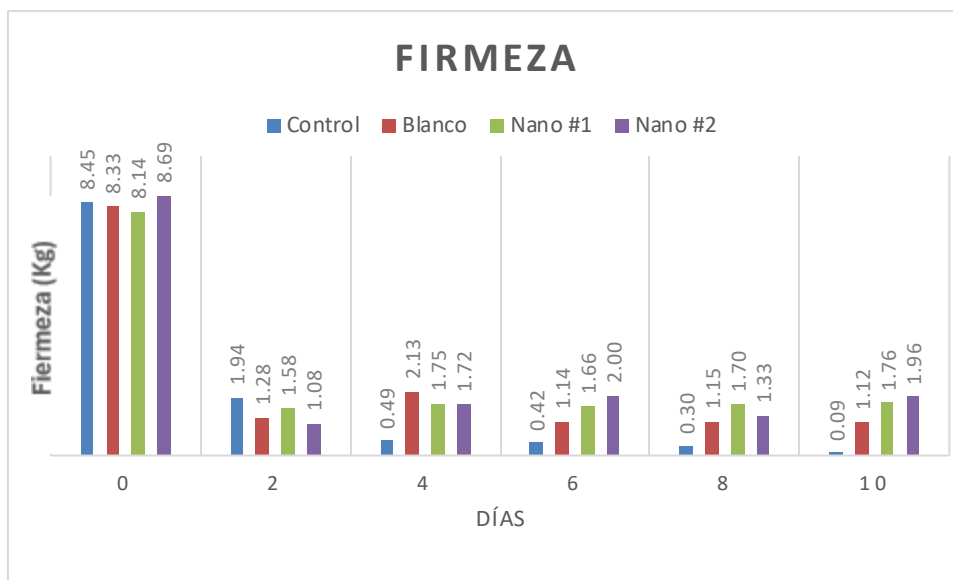


Fig.10. Evolución de la firmeza de los aguacates durante el almacenamiento a temperatura ambiente bajo los diferentes tratamientos: Control, Blanco, Nano 1 y Nano.

3.6.8 Peso

El peso de los aguacates se evaluó como un indicador de pérdida de agua y deshidratación durante el almacenamiento. Las mediciones se realizaron pesando individualmente los frutos y registrando la variación respecto al peso inicial.

La Figura 11 muestra la evolución del peso promedio de los aguacates (gramos) durante el almacenamiento en cada tratamiento. El peso promedio inicial de los frutos fue alrededor de 376.38 g y 426.01 g. A medida que transcurrieron los días, los frutos de todos los grupos experimentaron pérdida de peso por transpiración y respiración, aunque con distinta magnitud.

La prueba post hoc de Tukey HSD reveló que las diferencias más notables se

presentaron entre los tratamientos Control y Nano #2 ($p = 7.97 \times 10^{-8}$), Blanco y Nano #2 ($p = 2.36 \times 10^{-7}$) y Nano #1 y Nano #2 ($p = 2.59 \times 10^{-9}$), todas estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Estos resultados confirman que el tratamiento con nanoemulsión al 10 % (Nano #2) fue el más efectivo para reducir la pérdida de peso, lo que sugiere una mejor capacidad de barrera frente a la transpiración y deshidratación del fruto.

Los aguacates del grupo control mostraron la mayor pérdida de peso relativa, con un promedio de 364.7 g, lo que representa una reducción de 9.56 % respecto a su peso inicial. Los frutos del grupo Blanco retuvieron más peso, con un promedio de 374.2 g, equivalente a una pérdida de 6.98 %. El grupo Nano #1 mostró un peso promedio de 364.7 g, con una disminución de 6.43 %, mientras que el grupo Nano #2 presentó la menor pérdida, con un promedio de 414.73 g, correspondiente a una reducción de 5.30 %. Estos resultados indican que los recubrimientos con nanoemulsiones actuaron como una barrera semipermeable que redujo la deshidratación de los frutos, siendo más efectiva la nanoemulsión de mayor concentración (Nano #2), probablemente por formar una película más compacta o con mejores propiedades de barrera. Especialmente la nanoemulsión de mayor concentración (Nano #2) fue efectiva para minimizar la pérdida de agua, probablemente debido a una película más compacta o de mejores propiedades de barrera en la superficie del fruto. Al final del período, la diferencia de peso entre Control y Nano #2 fue notable, lo cual se reflejó en el aspecto: los aguacates control lucían más arrugados y con síntomas de deshidratación, mientras que los tratados con AEs estaban menos marchitos (Figura 13).

Este resultado confirma que el tratamiento contribuyó a mantener la frescura de los frutos al disminuir la transpiración y consecuente merma de masa. Estudios previos con recubrimientos comestibles enriquecidos con aceites esenciales han reportado pérdidas menores de peso en frutas tratadas comparadas con controles; la pérdida de peso se redujo significativamente en las frutas tratadas con recubrimientos de aceites esenciales en comparación con las frutas de control. Los recubrimientos actuaron como una barrera semipermeable, reduciendo la pérdida de humedad y manteniendo la calidad de la fruta durante el almacenamiento (Bhandari et al., 2022).

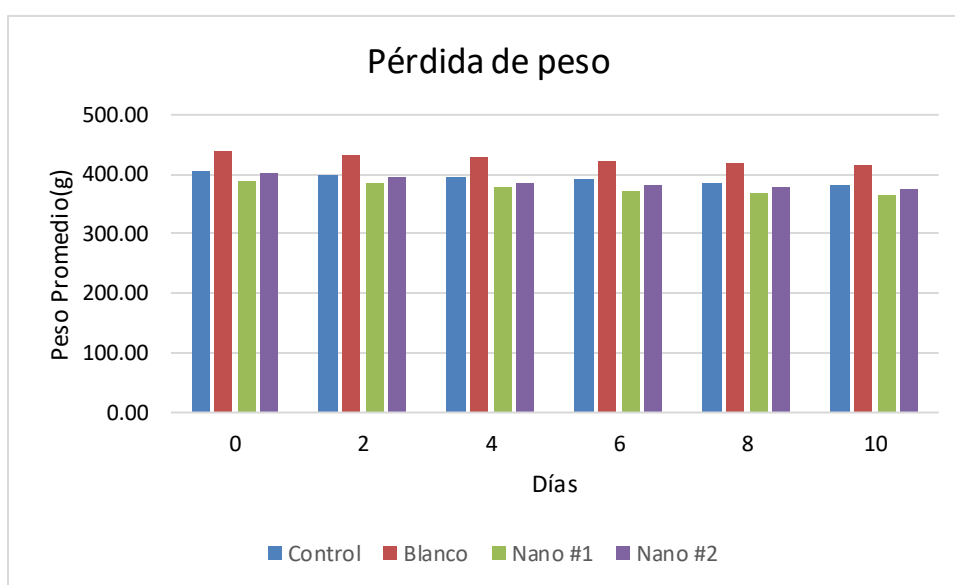


Fig.11. Evolución de la pérdida de peso promedio de los aguacates durante el almacenamiento, bajo los tratamientos Control, Blanco, Nano 1 y Nano 2.

3.6.9 pH

El pH de la pulpa de los aguacates se evaluó como un indicador de cambios químicos y maduración durante el almacenamiento. Las mediciones se realizaron utilizando un potenciómetro, registrando el valor promedio de cada fruto.

La Figura.12 muestra la evolución del pH promedio de la pulpa de aguacate durante el almacenamiento en cada grupo de tratamiento. Inicialmente, la pulpa de los frutos presentaba un pH alrededor de 5,5–5,8 (ligeramente ácido, común en aguacates recién cosechados). Con el avance de la maduración, el pH de la pulpa tendió a incrementarse gradualmente en todos los casos, acercándose a condiciones más neutras. En el grupo Control, el pH subió de ~6,09 inicial a ~6,66 al final, reflejando cambios químicos asociados a la maduración (posiblemente una reducción de ácidos orgánicos consumidos en respiración, liberación de compuestos amínicos, etc.). Por su parte, los frutos tratados con aceites esenciales mostraron una disminución: por ejemplo, el grupo Nano #2 alcanzó un pH ~5,3 hacia el día 10, inferior al control. El tratamiento Blanco y Nano #1 presentaron valores de pH intermedios (5,34–5,90 al final). Estas diferencias sugieren que los aceites esenciales podrían haber influido en el metabolismo del fruto, quizás retardando procesos fermentativos que producen ácidos, o bien afectando la actividad microbiana que podría acidificar la pulpa. En cualquier caso, las variaciones de pH entre tratamientos no fueron tan drásticas como las observadas en firmeza o peso. Todos los aguacates permanecieron en un rango de pH aceptable para pulpa fresca (5,5–6,5). Sin embargo, cabe destacar que hacia el día 9–10, algunos frutos control presentaban áreas de pulpa sobremadura con pH localmente más alto. Se ha observado algo similar en estudios revisados de Sivakumar et al. 2021, donde recubrimientos con nanopartículas y aceites esenciales pueden modificar la fisiología interna del fruto, afectando la tasa de respiración y manteniendo variables como pH y acidez de forma más estable en los frutos tratados versus controles (Sivakumar et al., 2021).

El ANOVA de medidas repetidas mostró que no existen diferencias significativas en el pH de los aguacates entre los tratamientos Control, Blanco, Nano1 y Nano2 a lo largo del período de almacenamiento ($P = 0.847$). El análisis post hoc Tukey HSD indicó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el valor de pH ($p > 0.05$).

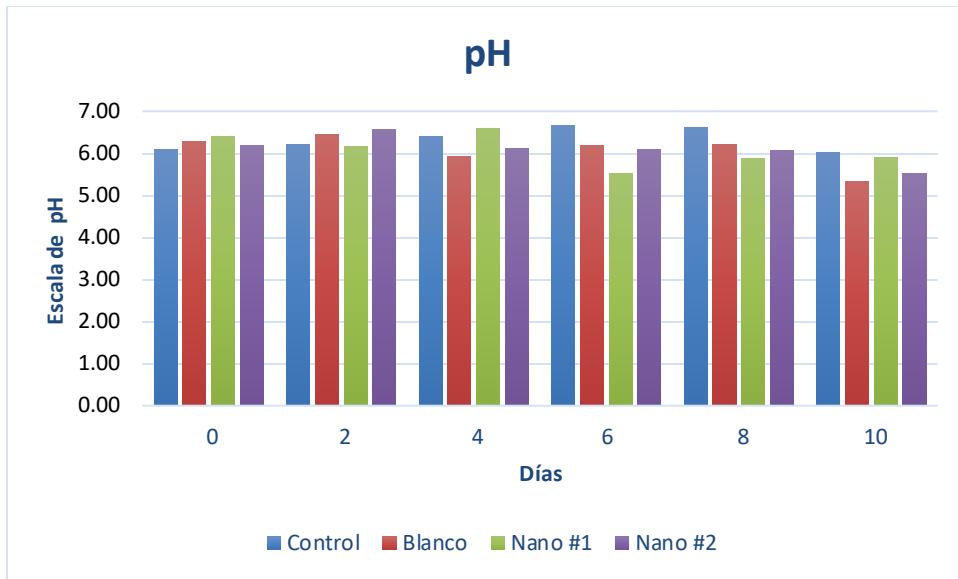


Fig.12. Variación del pH de la pulpa de los aguacates durante el almacenamiento, comparando los tratamientos Control, Blanco, Nano 1 y Nano 2.

En conjunto, el comportamiento del pH sugiere que los tratamientos prolongaron ligeramente la etapa preclimática, manteniendo condiciones internas estables por más tiempo, como se observa en la Figura 13.



Fig.13: Observación visual de los aguacates - Día 10. Fuente propia.

CONCLUSIONES

El uso de aceites esenciales de limón persa (*Citrus latifolia*) como recubrimientos postcosecha demostró ser una alternativa eficaz para prolongar la vida de anaquel del aguacate Hass (*Persea americana*). La formulación en nanoemulsiones permitió retrasar la pérdida de firmeza, reducir la deshidratación y extender la vida útil del fruto en aproximadamente 2 a 4 días. Además la observación visual no indicó crecimiento de hongos en los grupos: blanco, nano1 y nano2.

Estos hallazgos respaldan la viabilidad de integrar compuestos naturales y nanotecnología en la conservación de frutas, ofreciendo una solución sostenible y segura. Se recomienda evaluar esta tecnología en condiciones de almacenamiento semicomerciales y explorar su aplicación en otros productos agrícolas de interés económico.

La incorporación de aceites esenciales nanoemulsionados se proyecta como una estrategia prometedora para disminuir pérdidas postcosecha, mejorar la disponibilidad de aguacates en el mercado y fortalecer prácticas de producción alineadas con la sostenibilidad y la salud pública.

LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

Limitaciones

- La disponibilidad limitada de frutas con características homogéneas en cuanto a madurez, tamaño y condiciones de cultivo, lo que pudo influir en la variabilidad de los resultados.
- Debido a las restricciones del tiempo y recursos disponibles, no se realizó el estudio desde la colecta en campo del fruto. Limitando la trazabilidad completa del proceso.
- El espacio y equipos de destilación disponibles en el laboratorio alargaron

los tiempos de extracción de los AEs.

Recomendaciones

- Replicar el ensayo siguiendo las condiciones de almacenamiento durante el período postcosecha y de comercialización, para validar la eficacia de las nanoemulsiones en contextos más realistas.
- Ampliar el número de muestras y aumentar la frecuencia de evaluación para captar con mayor precisión los cambios a lo largo del tiempo en la vida útil del aguacate.
- Incorporar pruebas sensoriales que permitan valorar la aceptación del consumidor ante el uso de aceites esenciales como tratamiento postcosecha.
- Explorar la combinación de aceites esenciales con otros métodos de conservación, a fin de identificar posibles efectos sinérgicos.
- Hacer una caracterización más profunda de las nanoemulsiones, incluyendo su estabilidad física y química durante el almacenamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Marín, C., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2009). Comportamiento fenológico de la raza antillana de aguacate en la región centro-norte costera de Venezuela. *2*, *1*.

Baiza, V. (2003). *Guía técnica del cultivo del aguacate*. Nueva San Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería / IICA-MAG [Doctoral]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Barry, C., & Giovannoni, J. (2007). Ethylene and Fruit Ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, *26*(2), 143-159. <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9002-y>

Berry, A., Sargent, S., Pereira, M., & Huber, D. (2015). Postharvest ripening and quality of Guatemalan-West Indian avocado hybrids under simulated commercial shipping temperatures following treatment with aqueous 1-methylcyclopropene. *HortTechnology*, *25*(1), 85-89. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.018>

Bhandari, N., Bika, R., Subedi, S., & Pandey, S. (2022). Essential oils amended coatings in citrus postharvest management. *Journal of Agriculture and Food Research*, *10*. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100375>

Black-Solís, J. (2017). Caracterización química, variabilidad composicional y rendimientos de aceites esenciales de cítricos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *40*(2), 103-110.

Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, *94*(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>

Calderón, K., Paz, S., Plaza-Dorado, J., & Tamayo, M. (2023). Ultrasound-assisted extraction of

- polyphenols from mandarin peel (*C. reticulata* Blanco). *Ingeniería y Competitividad*, 2(5).
<https://doi.org/10.25100/iyc.v25iSuplemento.13157>
- Carrillo, M., & Reyes, A. (2014). Vida útil de los alimentos / Lifetime food. *CIBA Revista Iberoamericana de las ciencias biológicas y agropecuarias*, 2(3), 32-56.
- Cenobio-Galindo, A., Ocampo-López, J., Reyes-Munguía, A., Carrillo-Inungaray, M., Cawood, M., Medina-Pérez, G., & Campos-Montiel, R. (2019). Influence of Bioactive Compounds Incorporated in a Nanoemulsion as Coating on Avocado Fruits (*Persea americana*) during Postharvest Storage: Antioxidant Activity, Physicochemical Changes, and Structural Evaluation. *Antioxidants*, 8(10), 500. <https://doi.org/10.3390/antiox8100500>
- Chil-Núñez, I., Molina-Bertrán, S., Ortiz-Zamora, L., Dutok, C., & Souto, R. (2019). Estado del arte de la especie *Persea americana* Mill. (aguacate). *Amazonia Investiga*, 8(21), 73-86.
- Chirinos, R., Delgado-Pariona, J., Aguilar-Galvez, A., Figueroa-Merma, A., Pacheco-Ávalos, A., Campos, D., & Pedreschi, R. (2023). Postharvest storage differentially modulates the enzymatic and non-enzymatic antioxidant system of the exocarp and mesocarp of Hass avocado: Implications for disorders. *Plants*, 12(23), 1008.
<https://doi.org/10.3390/plants12234008>
- Coyotl-Pérez, W., Rubio, E., Morales-Rabanes, Q., & Villa-Ruano, E. (2022). Improving the Shelf Life of Avocado Fruit against *Clonostachys rosea* with Chitosan Hybrid Films Containing Thyme Essential Oil. *Polymers*, 14(10).
<http://dx.doi.org/10.3390/polym14102050>
- Coyotl-Pérez, W., Rubio-Rosas, E., Morales-Rabanales, Q., & Ramírez-García, S. (2022). Improving the shelf life of avocado fruit against *Clonostachys rosea* with chitosan hybrid films containing thyme essential oil. *Polymers*, 14(10), 2050.

<https://doi.org/10.3390/polym14102050>

Das, S., Ghosh, A., & Mukherjee, A. (2021). Nanoencapsulation-based edible coating of essential oils as a novel green strategy against fungal spoilage, mycotoxin contamination, and quality deterioration of stored fruits: An overview. *Frontiers in Microbiology*, 1(2), 768. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.768414>

de Oliveira, J., Miranda, M., Ferreira, M., & Plotto, A. (2021). Nanoemulsions as edible coatings: A potential strategy for fresh fruits and vegetables preservation. *Foods*, 10(10), 2438. <https://doi.org/10.3390/foods10102438>

Defilippi, B., Ejsmentewicz, T., Covarrubias, M., Gudenschwager, O., & Campos-Vargas, R. (2018). Changes in cell wall pectins and their relation to postharvest mesocarp softening of “Hass” avocados (*Persea americana* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 1(28), 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.018>

Dreher, M., & Davenport, A. (2013). Hass Avocado Composition and Potential Health Effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738-750. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>

FAO. (2025). *Avocado production – UN FAO [dataset]*. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Fuentealba, C., Vidal, J., Zulueta, C., Ponce, E., Uarrota, V., Defilippi, B., & Pedreschi, R. (2022). Controlled Atmosphere Storage Alleviates Hass Avocado Black Spot Disorder. *Horticulturae*, 8(5), 369. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050369>

García, F., & Davidov-Pardo, G. (2021). Recent advances in the use of edible coatings for preservation of avocados: A review. *Journal of Food Science*, 86(1), 6-15. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15540>

- Glowacz, M., Bill, M., Tinyane, P., & Sivakumar, D. (2017). Maintaining postharvest quality of cold-stored 'Hass' avocados by altering the fatty acids content and composition with the use of natural volatile compounds—methyl jasmonate and methyl salicylate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15), 5186-5196.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.8400>
- Herrera-González, J., Hernández-Sánchez, D., Bueno-Rojas, D., Ramos-Bell, S., Velázquez-Estrada, R., & Bautista-Rosales, P. (2022). Effect of commercial chitosan on in vitro inhibition of *Colletotrichum siamense*, fruit quality, and elicitor effect on postharvest avocado fruit. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21(1), 1-5.
<https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio2706>
- INCAP. (2017). El modelo de la determinación social de la salud (DSS). *Untitled - Incap*.
- Izadiyan, Z., Webster, T., Kia, P., Kalantari, K., Misran, M., Rasouli, E., & Shameli, K. (2025). Nanoemulsions-Based Therapeutic Strategies: Enhancing Targeted Drug Delivery against Breast Cancer Cells. *International Journal of Nanomedicine*, 6(13), 6133-6162.
<https://doi.org/10.2147/IJN.S488545>
- Kassim, A., Workneh, T., & Bezuidenhout, C. (2013). A review on postharvest handling of avocado fruit. *African Journal of Agricultural Research*, 8(21), 2385-2402.
<https://doi.org/10.5897/AJAR12.1248>
- Kosker, A. (2020). The effects of nanoemulsions based on citrus essential oils on the formation of biogenic amines in trout fillets stored at 4 ± 2 °C. *Journal of Food Safety*, 40(1), 12762. <https://doi.org/10.1111/jfs.12762>
- Lieu, M., Phuong, T., Nguyen, T., Dang, T., & Nguyen, T. (2024). A review of preservation approaches for extending avocado fruit shelf life. *Journal of Agriculture and Food*

- Research*, 1(6), 101. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101102>
- Liu, Q., Huang, H., Chen, H., Lin, J., & Wang, Q. (2019). Food-grade nanoemulsions: Preparation, stability and application in encapsulation of bioactive compounds. *Molecules*, 24(53), 4242. <https://doi.org/10.3390/molecules24234242>
- Manzocco, L. (2016). The Acceptability Limit in Food Shelf Life Studies. *NIH National Library of Medicine*, 26(56). <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794126>
- Masqui, Y., Pérez, A., & Martínez, L. (2022). Actividad antioxidante y antimicrobiana de aceites esenciales cítricos en la calidad postcosecha del aguacate. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 56(4), 589-598.
- McClements, D., & Rao, J. (2011). Food-grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(4), 285-330. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.559558>
- Medeleanu, M., Fărcaș, A., Coman, C., Leopold, L., & Diaconeasa, S. (2023). Citrus essential oils-based nanoemulsions: Functional properties and potential applications. *Food Chemistry: X*, 2(0), 20. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100960>
- Medeleanu, M., Fărcaș, A., Coman, C., Leopold, L., Diaconeasa, Z., & Socaci, S. (2023a). Citrus essential oils-based nanoemulsions: Functional properties and potential applications. *Food Chemistry*, 2(20). <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100960>
- Medeleanu, M., Fărcaș, A., Coman, C., Leopold, L., Diaconeasa, Z., & Socaci, S. (2023b). Citrus essential oils-based nanoemulsions: Functional properties and potential applications. *Food Chemistry: X*, 2(0). <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100960>
- MIDA. (2022). *Aguacate panameño con gran potencial de exportación* [Mida.gob.pa]. Ministerio de Desarrollo Agropecuario. <https://mida.gob.pa/2022/06/12/aguacate-panameno-con->

gran-potencial-de-exportacion/?utm_source=chatgpt.com

- MIDA. (2025). *Producción de aguacate, motor de desarrollo agrícola en Darién*. Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). <https://mida.gob.pa/2025/04/07/produccion-de-aguacate-motor-de-desarrollo-agricola-en-darien/>
- Munhuweyi, K., & Sivakumar, D. (2020). Extension of Avocado Fruit Postharvest Quality Using Non-Chemical Treatments. *Agronomy*, *10*(2), 212. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020212>
- Mushtaq, A., Wani, S., Malik, A., Gull, A., Ramniwas, S., Nayik, G., Ercisli, S., Marc, R., Ullah, R., & Bari, A. (2023). Recent insights into nanoemulsions: Their preparation, properties, and applications. *Food Chemistry: X*, *1*(8), 100684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100684>
- Napiórkowska, A., Khaneghah, A., & Kurek, M. (2024). Essential oil nanoemulsions—A new strategy to extend the shelf life of smoothies. *Foods*, *13*(12), 1854. <https://doi.org/10.3390/foods13121854>
- Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content, and fatty acid composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*, *86*(1), 79-83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.012>
- Pateiro, M., Gómez-Salazar, J., Jaime-Patlán, M., Sosa-Morales, M., & Lorenzo, J. (2021). Plant extracts obtained with green solvents as natural antioxidants in fresh meat products. *Antioxidants*, *10*(2), 181. <https://doi.org/10.3390/antiox10020181>
- Ramírez-Gil, J., Henao-Rojas, J., & Morales-Osorio, J. (2021). Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. *Heliyon*, *7*(1). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)00010-4](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)00010-4)

- Regnier, T., Combrinck, S., Du Plooy, W., & Botha, B. (2010). Evaluation of *Lippia scaberrima* essential oil and some pure terpenoid constituents as postharvest mycobiocides for avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *57*(3), 176-182.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.03.010>
- Salazar-López, N., Barco-Mendoza, G., Domínguez-Avila, J., Zuñiga-Martínez, B., Ochoa, M., Robles-Sánchez, R., & González-Aguilar, G. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, *138*(1).
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>
- Sharifpour, A., Rahimi, S., Javanmard, M., & Basiri, A. (2025). Optimization of Persian lime essential oil (*Citrus latifolia*) microencapsulation through spout fluidized bed drying. *Innovative Food Technologies*, *12*(2), 136-162.
<https://doi.org/10.22104/ift.2025.7377.2198>
- Sharma, S., Mulrey, L., Byrne, M., Jaiswal, A., & Jaiswal, S. (2022). Encapsulation of Essential Oils in Nanocarriers for Active Food Packaging. *Foods*, *11*(15), 2337.
<https://doi.org/10.3390/foods11152337>
- Singh, I., & Pulikkal, A. (2022). Preparation, stability, and biological activity of essential oil-based nanoemulsions: A comprehensive review. *OpenNano*, *7*(2).
<https://doi.org/10.1016/j.onano.2022.100066>
- Sivakumar, D., Tuna, G., & Romanazzi, G. (2021). A comprehensive review on the impact of edible coatings, essential oils, and their nanoformulations on postharvest decay anthracnose of avocados, mangoes, and papayas. *Frontiers in Microbiology*, *12*(2), 711.
- Sivankalyani, V., Feygenberg, O., Maorer, D., Zaaroor, M., Fallik, E., & Alkan, N. (2015). Combined treatments reduce chilling injury and maintain fruit quality in avocado fruit

- during cold quarantine. *PLoS One*, 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140522>
- Tesfay, S., Magwaza, L., Mbili, N., & Mditshwa, A. (2017). Carboxyl methylcellulose (CMC) containing moringa plant extracts as new postharvest organic edible coating for Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 7(226), 201-207.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.047>
- Tran, T., Ngo, T., Tran, T., Tran, T., & Huynh, X. (2020). Yields and composition of Persian lime essential oils (*Citrus latifolia*) from Hau Giang province, Vietnam, extracted by three different extraction methods. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 9(91). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/991/1/012130/meta>
- Viera, W., Gaona, P., Samaniego, I., Sotomayor, A., Viteri, P., Noboa, M., & Park, C. (2023). Mineral Content and Phytochemical Composition of Avocado var. Hass Grown Using Sustainable Agriculture Practices in Ecuador. *Plants*, 12(9), 1791.
<https://doi.org/10.3390/plants12091791>
- Wulansari, A., Jufri, M., & Budianti, A. (2017). Studies on the formulation, physical stability, and in vitro antibacterial activity of tea tree oil (*Melaleuca alternifolia*) nanoemulsion gel. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 9(1), 135-139.
- Yahia, E. (2016). Avocado. *Crop Post-Harvest: Science and Technology*, 216(200).
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19879.55200>
- Zi-Rui, H., Wen-Bin, Z., Ai-Jun, T., Jia-Li, H., Wei-Ling, G., Tian-Tian, L., Rui-Bo, J., Yu-Yang, P., Jun, L., Xu-Cong, L., & Bin, L. (2018). *The regulation mechanisms of soluble starch and glycerol for production of azaphilone pigments in Monascus purpureus FAFU618 as revealed by comparative proteomic and transcriptional analyses*. 10(6), 626-635.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.037>

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen	Descripción	Página
1	Limón persa en proceso de lavado.	24
2	Retiro de corteza de la cáscara de limón persa	24
3	Sistema de destilación arrastre por vapor	25
4	Prueba de solubilidad de AEs de Limón Persa utilizando agua, aceite mineral y etanol al 70 %	26
5	Nanoemulsión en Ultra Turrax	27
6	Distribución de Aguacates por Grupo	28
7	Aplicación de los tratamientos a los aguacates con brocha	29
8	Evaluaciones aplicadas a los frutos de Aguacates	31
9	Aspecto físico de las nanoemulsiones formuladas con aceite esencial de <i>Citrus latifolia</i> .	37
10	Evolución de la firmeza de los aguacates durante el almacenamiento a temperatura ambiente bajo los diferentes tratamientos: Control, Blanco, Nano 1 y Nano	42
11	Evolución de la pérdida de peso (%) de los aguacates durante el almacenamiento, bajo los tratamientos Control, Blanco, Nano 1 y Nano 2.	44
12	Variación del pH de la pulpa de los aguacates durante el almacenamiento, comparando los tratamientos Control, Blanco, Nano 1 y Nano 2.	46
13	Observación visual de los Aguacates	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
1	Códigos de Aguacates	30
2	Porcentaje de Rendimiento de AEs	33
3	Resultados de la Caracterización de AEs <i>Citrus latifolia</i> destilado	35
4	Registros de Pesos	59
5	Registros de Firmeza	60
6	Registros de pH	61

Tabla 4: Registros de Peso

Fecha	Día	Grupo	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Promedio
07/04/2025	Día 0	Control	402.3	404.8	403.1	403.40
07/04/2025	Día 0	Blanco	440.1	438	435.9	438.00
07/04/2025	Día 0	Nano #1	390.5	389.2	387.8	389.17
07/04/2025	Día 0	Nano #2	406.21	400.9	399.1	402.07
09/04/2025	Día 2	Control	397.8	396.1	394.5	396.13
09/04/2025	Día 2	Blanco	434.5	432.8	431.2	432.83
09/04/2025	Día 2	Nano #1	386.4	385	383.5	384.97
09/04/2025	Día 2	Nano #2	401.8	400.5	399	400.43
11/04/2025	Día 4	Control	396.8	395.3	393.9	395.33
11/04/2025	Día 4	Blanco	429.5	427.9	426.4	427.93
11/04/2025	Día 4	Nano #1	378.8	377.4	376	377.40
11/04/2025	Día 4	Nano #2	388.4	386.9	385.5	386.93
13/04/2025	Día 6	Control	384.1	382.6	381.2	382.63
13/04/2025	Día 6	Blanco	425.1	423.6	422	423.57
13/04/2025	Día 6	Nano #1	374.6	373.1	371.7	373.13
13/04/2025	Día 6	Nano #2	392.2	390.7	389.3	390.73
15/04/2025	Día 8	Control	379.8	378.4	377	378.40
15/04/2025	Día 8	Blanco	420.5	419	417.6	419.03
15/04/2025	Día 8	Nano #1	370.3	368.9	367.5	368.90
15/04/2025	Día 8	Nano #2	387.9	386.4	385	386.43
17/04/2025	Día 10	Control	375.6	374.2	372.8	374.20
17/04/2025	Día 10	Blanco	416.2	414.7	413.3	414.73
17/04/2025	Día 10	Nano #1	366.1	364.7	363.3	364.70
17/04/2025	Día 10	Nano #2	384.6	383.2	381.8	383.20

Tabla 5: Registros de Firmeza

Fecha	Día	Grupo	Firmeza 1	Firmeza 2	Firmeza 3	Promedio
07/04/2025	Día 0	Control	8.30	7.91	9.15	8.45
07/04/2025	Día 0	Blanco	7.84	8.53	8.61	8.33
07/04/2025	Día 0	Nano #1	8.43	8.13	7.86	8.14
07/04/2025	Día 0	Nano #2	8.55	8.64	8.87	8.69
09/04/2025	Día 2	Control	2.60	2.06	1.15	1.94
09/04/2025	Día 2	Blanco	2.50	0.80	0.55	1.28
09/04/2025	Día 2	Nano #1	0.81	1.70	2.23	1.58
09/04/2025	Día 2	Nano #2	0.80	0.11	2.34	1.08
11/04/2025	Día 4	Control	0.20	0.55	0.71	0.49
11/04/2025	Día 4	Blanco	2.57	2.30	1.53	2.13
11/04/2025	Día 4	Nano #1	1.74	1.31	2.19	1.75
11/04/2025	Día 4	Nano #2	2.26	2.29	0.60	1.72
13/04/2025	Día 6	Control	0.28	0.63	0.36	0.42
13/04/2025	Día 6	Blanco	0.71	1.26	1.46	1.14
13/04/2025	Día 6	Nano #1	1.97	0.97	2.05	1.66
13/04/2025	Día 6	Nano #2	1.84	2.07	2.10	2.00
15/04/2025	Día 8	Control	0.25	0.43	0.23	0.30
15/04/2025	Día 8	Blanco	0.75	1.20	1.50	1.15
15/04/2025	Día 8	Nano #1	2.00	1.00	2.10	1.70
15/04/2025	Día 8	Nano #2	1.80	2.15	0.05	1.33
17/04/2025	Día 10	Control	0.10	0.03	0.15	0.09
17/04/2025	Día 10	Blanco	0.18	1.05	2.12	1.12
17/04/2025	Día 10	Nano #1	2.06	1.35	1.88	1.76
17/04/2025	Día 10	Nano #2	2.04	1.30	2.54	1.96

Tabla 6: Registros de pH

Fecha	Día	Grupo	pH 1	pH 2	pH 3	Promedio
07/04/2025	Día 0	Control	5.95	6.11	6.20	6.09
07/04/2025	Día 0	Blanco	6.07	6.51	6.30	6.29
07/04/2025	Día 0	Nano #1	6.03	6.30	6.84	6.39
07/04/2025	Día 0	Nano #2	6.33	6.16	6.09	6.19
09/04/2025	Día 2	Control	6.30	6.13	6.19	6.21
09/04/2025	Día 2	Blanco	6.80	6.10	6.15	6.35
09/04/2025	Día 2	Nano #1	6.30	6.21	6.00	6.17
09/04/2025	Día 2	Nano #2	6.64	6.77	6.30	6.57
11/04/2025	Día 4	Control	6.17	6.37	6.69	6.41
11/04/2025	Día 4	Blanco	5.72	6.13	5.90	5.92
11/04/2025	Día 4	Nano #1	7.02	6.58	6.17	6.59
11/04/2025	Día 4	Nano #2	5.33	6.28	6.72	6.11
13/04/2025	Día 6	Control	6.79	6.57	6.61	6.66
13/04/2025	Día 6	Blanco	6.77	5.76	6.03	6.19
13/04/2025	Día 6	Nano #1	5.27	4.84	6.47	5.53
13/04/2025	Día 6	Nano #2	6.17	5.71	6.43	6.10
15/04/2025	Día 8	Control	6.80	6.55	6.50	6.62
15/04/2025	Día 8	Blanco	6.75	5.80	6.10	6.22
15/04/2025	Día 8	Nano #1	5.30	5.90	6.40	5.87
15/04/2025	Día 8	Nano #2	5.60	6.70	5.90	6.07
17/04/2025	Día 10	Control	5.63	5.69	6.75	6.02
17/04/2025	Día 10	Blanco	5.22	5.20	5.61	5.34
17/04/2025	Día 10	Nano #1	5.97	5.88	5.86	5.90
17/04/2025	Día 10	Nano #2	5.26	6.04	5.28	5.53

Indicadores de calidad

1. Borrador de artículo: Evaluación del efecto de aceites esenciales naturales y nanoemulsionados de cítricos (*Citrus latifolia*) sobre la vida de anaquel del aguacate (*Persea americana*)

Evaluación del efecto de aceites esenciales naturales y nanoemulsionados de cítricos (*Citrus latifolia*) sobre la vida de anaquel del aguacate (*Persea americana*)

Keren Eversly¹, Maira Díaz¹, Kimberly Castro¹, Jay Molino¹, Ana Luisa García¹, Lurys Martínez¹

¹Facultad de Biociencias y Salud Pública, Universidad Especializada de Las Américas (UDELAS), Panamá.

Fondo concursable para el apoyo a la investigación

Informe Final

"Evaluación del Efecto de los Aceites Esenciales Naturales Nanoemulsionados de *Citrus latifolia* sobre la Vida de Anaquel de Aguacates (*Persea americana* var. Hass)".

2. Participación en foro Participación en el IV Foro de Biotecnología Alimentaria





UNIVERSIDAD ESPECIALIZADA DE LAS AMÉRICAS

Evaluación para Trabajo de grado
Facultad de Biociencias y Salud Pública

Panamá, 8 de diciembre de 2025

Señores

COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO

La suscrita certifica que él o la estudiante: Keren Isabel Eversley Núñez con cédula: 8-1045-2191 se le ha revisado el trabajo de grado titulado: Evaluación del efecto de los aceites esenciales nanoemulsionados de cítricos (Citrus latifolia) sobre la vida de anaquel de aguacates (Persea americana var. Catalina)

El trabajo cumple con todas las exigencias de redacción y ortografía del idioma español.

Atentamente,

Licenciado en Español

Cédula: 9-757-1442

Registro del Diploma No. 311712 Adjunto:

Copia del Diploma.



UNIVERSIDAD ESPECIALIZADA DE LAS AMÉRICAS

Evaluación para Trabajo de grado
Evaluación del Profesor de Español

Aspirante: Karen Isabel Eversley Núñez Cédula: 8-1045-2191

Título del trabajo de grado: Evaluación del efecto de los aceites esenciales nanoemulsionados de cítricos (Citrus latifolia) sobre la vida de anaquel de aguacates (Persea americana var. Catalina)

GRADOS INTERMEDIOS

APRECIACIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

	(SI)1	2	3	4	5(No)
Está bien citado y documentado.	SI				
CLARIDAD					
La ortografía y gramática son correctas.	SI				


OBSERVACIONES (Debe modificar)

Ninguna observación

EVALUACIÓN FINAL DEL TRABAJO DE GRADO

NOMBRE Y FIRMA DEL EVALUADOR

FECHA DE LA EVALUACIÓN

SI	Aceptable SI	No Aceptable
Abdel Ramos		
		
8/12/2025		



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ



0100573

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

LA FACULTAD DE

Humanidades

EN VIRTUD DE LA POTESTAD QUE LE CONFIEREN LA LEY Y EL ESTATUTO UNIVERSITARIO,
HACE CONSTAR QUE

Abdiel Enrique Ramos González

HA TERMINADO LOS ESTUDIOS Y CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS
QUE LE HACEN ACREDITOR AL TÍTULO DE

Licenciado en Humanidades con Especialización en Español Capítulo de Honor Sigma Lambda

Y EN CONSECUENCIA, SE LE CONCEDE TAL GRADO CON TODOS LOS DERECHOS,
HONORES Y PRIVILEGIOS RESPECTIVOS, EN TESTIMONIO DE LO CUAL SE LE EXPIDE
ESTE DIPLOMA EN LA CIUDAD DE PANAMÁ, A LOS ~~treinta~~
DÍAS DEL MES DE junio DEL AÑO DOS MIL ~~veintidós~~

Diploma 31762

Encargada Florio Cortés

REPÚBLICA DE PANAMÁ
TRIBUNAL ELECTORAL

**Abdiel Enrique
Ramos Gonzalez**

NOMBRE USUAL:
FECHA DE NACIMIENTO: 29-AGO-2000
LUGAR DE NACIMIENTO: VERAGUAS, ATALAYA
SEXO: M TIPO DE SANGRE:
EXPEDIDA: 20-ENE-2022 EXPIRA: 03-SEP-2028

9-757-1442



TE TRIBUNAL ELECTORAL
LA PATRIA LA HACEMOS TODOS

[Signature]
DIRECTOR NACIONAL DE CEDULACION



9-757-1442

3295BN10043