



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Configuración de un sistema de empaquete activo antimicrobiano para frutos frescos de uchuva (*Physalis peruviana* L.)

Lesley Andrea Cortés Jaimes

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2022

Configuración de un sistema de empaque activo antimicrobiano para frutos frescos de uchuva (*Physalis peruviana* L.)

Lesley Andrea Cortés Jaimes

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director:

Dr. Aníbal Orlando Herrera Arévalo

Codirector:

Dr. Diego Alberto Castellanos Espinosa

Línea de Investigación:

Calidad de los Alimentos - Empaques y Envases para Alimentos

Grupo de Investigación:

Horticultura

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2022

*A mi padre, madre y hermanas Camila, Helen y
Karen y a mi compañero Andrés.*

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Lesley Andrea Cortés Jaimes

Fecha 08/08/2022

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agrarias y al Laboratorio de Poscosecha por vincularme en el proyecto de investigación que permitiría la continuación de mis estudios de posgrado.

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) por la financiación de esta investigación a través de la Segunda Convocatoria 827 de 2018: “Convocatoria de innovación entre actores del sistema regional-departamento de Boyacá-2018, proyecto No 66121, subvención 80740-554-2019”.

Al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y al Laboratorio de Microbiología, por facilitarme sus instalaciones y por su asesoría técnica.

Al profesor Aníbal Herrera por su intervención y mediación durante la ejecución del proyecto.

Especial agradecimiento al profesor Diego Castellanos por su acompañamiento incondicional y valiosos aportes durante el proceso.

A las profesoras Adriana González Almario y Ximena Pérez Mancilla por resolver inquietudes sobre técnicas y procedimientos microbiológicos.

A los compañeros de investigación por su apoyo y motivación.

A los profesores Luis Alberto Gómez Grosso y Patricia Cifuentes Prieto por el voto de confianza.

Resumen

Configuración de un sistema de empaque activo antimicrobiano para frutos frescos de uchuva (*Physalis peruviana* L.)

En este proyecto se planteó la configuración de un sistema de empaque activo antimicrobiano para prolongar la vida útil de frutos frescos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) provenientes de Ventaquemada, Boyacá. Inicialmente se identificó al moho *Botrytis cinerea* como el microorganismo preponderante causante de deterioro en los frutos. Luego se hicieron pruebas *in vitro* para establecer el efecto antimicrobiano y la concentración mínima inhibitoria (CMI) en fase de vapor de tres compuestos de origen vegetal: 2-nonanona, cinamaldehído y aceite esencial de orégano. El cinamaldehído obtuvo una CMI de 2,38 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza por 40 días de almacenamiento a 23 °C. Finalmente, mediante pruebas *in vivo*, se evaluó el deterioro causado por el moho, en un sistema de empaque de bandejas selladas de ácido poliláctico (PLA) con atmósferas modificadas (MAP) y con un elemento activo en sachet compuesto de bentonita saturada con cinamaldehído realizando los siguientes tratamientos de empaque: sin sachet y sin inóculo de moho (SS), sin sachet y con inóculo de moho (SC), con sachet sin moho (CS) y con sachet con moho (CC) durante 6 semanas a 6 °C y 75% de HR. Los sachets se prepararon para obtener una concentración de $7,14 \pm 0.1 \mu\text{g}$ de cinamaldehído por cm^3 por espacio de cabeza para evaluar su liberación en fase de vapor, alcanzando un tiempo de vida útil de 43 días comparado a 34 días para el tratamiento sin elemento activo. La vida útil obtenida para los frutos de uchuva constituye una oportunidad para potencializar la comercialización de este producto reduciendo pérdidas en el almacenamiento y transporte a partir de un empaque integrado, activo y con materiales naturales y biodegradables.

Palabras clave: *Physalis peruviana* L., *Botrytis cinerea*, cinamaldehído, bentonita, empaque activo antimicrobiano.

Abstract

Configuration of an antimicrobial active packaging system for fresh cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits.

In this project, the configuration of an active antimicrobial packaging system, to extend the shelf life of fresh cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits from Ventaquemada, Boyacá, was proposed. Initially, *Botrytis cinerea* mold was identified as the predominant microorganism causing fruit deterioration. Then, *in vitro* tests were carried out to establish the antimicrobial effect and the minimum inhibitory concentration (MIC) in vapor phase of three compounds of plant origin: 2-nonanone, cinnamaldehyde and oregano essential oil. The cinnamaldehyde was the most active of them obtaining an MIC of 2.38 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ headspace for 40 days of storage at 23 °C. Finally, through *in vivo* tests, deterioration caused by mold was evaluated in a packaging system of sealed trays of polylactic acid (PLA) with modified atmospheres (MAP) and with an active element in sachet composed of bentonite saturated with cinnamaldehyde performing the following packaging treatments: without sachet and without mold inoculum (SS), without sachet and with mold inoculum (SC), with sachet without mold (CS) and with sachet with mold (CC) for 6 weeks at 6 °C and 75% RH. The sachets were prepared to obtain a concentration of $7,14 \pm 0.1$ μg cinnamaldehyde per cm^3 per headspace to evaluate its vapor phase release. The shelf life obtained for cape gooseberry fruits constitutes an opportunity to enhance the commercialization of this product by reducing losses in storage and transport through an integrated, active packaging with natural and biodegradable materials.

Keywords: *Physalis peruviana* L., *Botrytis cinerea*, cinnamaldehyde, bentonite, antimicrobial active packaging.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1. Capítulo I. Uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) y tecnologías de empaque asociados a bayas como fruto fresco.	5
<i>Resumen</i>	5
1.1 <i>Preservación y tecnologías de empaques en frutos frescos</i>	6
1.2 <i>Generalidades de la uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.)</i>	10
1.2.1 Producción, postcosecha y vida útil	11
1.2.2 Economía	11
1.2.3 Patógenos en la poscosecha de la uchuva	12
1.2.3.1 <i>Botrytis cinerea</i>	13
1.2.4 Empaques para uchuva	14
1.3 <i>Empaques activos en bayas</i>	15
1.4 <i>Empaques activos antimicrobianos en bayas</i>	18
1.5 <i>Bibliografía</i>	19
2. Capítulo II. Evaluación <i>in vitro</i> del efecto de diferentes compuestos antimicrobianos de origen vegetal en fase de vapor contra microorganismos causantes de deterioro en uchuva fresca	27
<i>Resumen</i>	27
2.1 <i>Introducción</i>	28
2.1.1 Cinamaldehído	29
2.1.2 2-Nonanona	29
2.1.3 Aceite esencial de orégano (carvacrol/timol)	30
2.2 <i>Metodología</i>	31
2.2.1 Material vegetal	31
2.2.2 Aislamiento e identificación de microorganismos causantes de deterioro en frutos de uchuva fresca	31
2.2.3 Selección de compuestos antimicrobianos en fase de vapor	33
2.2.4 Ensayos <i>in vitro</i> (sistema cerrado y concentración mínima inhibitoria)	34
2.2.4.1 Estandarización del inóculo	34
2.2.4.2 Evaluación de la actividad antimicrobiana	35
2.2.4.2.1 Montaje 1 (dos concentraciones)	35
2.2.4.2.2 Montaje 2 (cuatro concentraciones)	37
2.2.4.2.3 Montaje 3	39
2.3 <i>Resultados y discusión</i>	40
2.3.1 Microorganismos causantes de deterioro en frutos de uchuva fresca	40
2.3.2 Estudio de los compuestos preseleccionados	45
2.3.2.1 Montaje 1 (dos concentraciones)	45
2.3.2.2 Montaje 2 (cuatro concentraciones)	47
2.3.2.3 Montaje 3	50

2.3.3	Capacidad inhibitoria del compuesto seleccionado	50
2.4	<i>Conclusiones</i>	52
2.5	<i>Bibliografía</i>	52
3.	Capítulo III. Configuración del empaque activo antimicrobiano en frutos frescos de uchuva	57
	<i>Resumen</i>	57
3.1	<i>Introducción</i>	58
3.2	<i>Materiales y métodos</i>	60
3.2.1	Material vegetal	60
3.2.2	Material de empaque	61
3.2.3	<i>Botrytis cinerea</i>	61
3.2.4	Preparación del elemento activo	61
3.2.5	Configuración del empaque activo antimicrobiano	62
3.2.6	Evaluación del deterioro y propiedades de calidad	64
3.2.7	Análisis estadístico	65
3.3	<i>Resultados y discusión</i>	66
3.3.1	Concentración de los gases	66
3.3.2	Propiedades de calidad durante el almacenamiento	67
3.3.3	Vida útil del fruto y configuración con mejor desempeño	71
3.4	<i>Conclusiones</i>	73
3.5	<i>Bibliografía</i>	74
4.	Conclusiones y futuros desarrollos	79
4.1	<i>Conclusiones</i>	79
4.2	<i>Futuros desarrollos</i>	79
	Anexo A: Clasificación genética <i>Botrytis cinerea</i>	81
	Anexo B: Seminario universitario. Tunja 2020	83
	Anexo C: Ponencia oral. Congreso IICTA 2021	84
	Anexo D: Artículos científicos 2022	85
	Anexo E: Participación “10th Shelf Life International Meeting Bogotá, Colombia X SLIM 2022”	86
	Bibliografía	87

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Tecnologías de empaques activos.	8
Figura 1-2: Área cosechada y producción de uchuva en Colombia.	12
Figura 1-3: Ejemplo de empaques primarios dosificados para uchuva.	15
Figura 2-1: Diseño experimental para el ensayo preliminar del control antimicrobiano con 2-nonanona, cinamaldehído y aceite de orégano.	36
Figura 2-2: Montaje del sistema cerrado de cierre hermético con caja de Petri de vidrio en la base. Contiene el compuesto antimicrobiano y canastilla plástica que sostiene una caja de Petri desechable con medio de cultivo PDA e inóculo del moho objeto de estudio.	37
Figura 2-3: Montaje 1 en cámara de refrigeración, evaluación de tres compuestos a dos concentraciones.	37
Figura 2-4: Arreglo experimental para el segundo ensayo de control de antimicrobiano con 2-nonanona, cinamaldehído y aceite de orégano.	38
Figura 2-5: Montaje 2 en cámara a 23 ± 2 °C, evaluación de tres compuestos a cuatro concentraciones.	39
Figura 2-6: Arreglo experimental para el tercer ensayo de control de antimicrobiano con el compuesto más activo en dos concentraciones bajas.	40
Figura 2-7: Detección de deterioro en muestras de uchuva fresca.	42
Figura 2-8: Control positivo montaje 1 (sin antimicrobiano con cepa).	45
Figura 2-9: Montaje con 2-nonanona, cinamaldehído y aceite esencial de orégano con sus respectivos controles negativos.	46
Figura 3-1: Prototipo de empaque antimicrobiano para frutos de uchuva.	63
Figura 3-2: Fracción molar de O ₂ y CO ₂ (%) en el espacio de cabeza para las configuraciones SS (sin sachet y sin inóculo), SC (sin sachet y con inóculo), CS (con sachet y sin inóculo) y CC (con sachet y con inóculo) con frutos de uchuva almacenados a 6 °C y 75% HR.	67
Figura 3-3: Pérdida de peso acumulada (símbolos) en los tratamientos de empaque SS, SC, CS y CC para frutos frescos de uchuva a 6 °C y 75% HR. Desviación estándar incluida para n = 3.	68
Figura 3-4: Porcentaje de deterioro de los frutos de uchuva en los diferentes tratamientos SS, SC, CS y CC a 6 °C y 75% HR. Desviación estándar incluida para n = 3.	71
Figura 3-5: Seguimiento visual de los tratamientos SS (sin sachet y sin inóculo), SC (sin sachet y con inóculo), CS (con sachet y sin inóculo) y CC (con sachet y con inóculo) almacenados a 6 °C y 75% HR.	72

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Especificaciones de los compuestos antimicrobianos empleados para el control del deterioro microbiano en uchuva.	34
Tabla 2-2: Recuento inicial de mesófilos en los frutos de uchuva provenientes de Ventaquemada, Boyacá.	40
Tabla 2-3: Características macroscópicas de los microorganismos detectados en los frutos de uchuva.	41
Tabla 2-4: Recuento inicial de mohos y levaduras para los frutos de uchuva provenientes de Ventaquemada, Boyacá.	41
Tabla 2-5: Características macroscópicas de los hongos detectados en el análisis inicial para los frutos de uchuva provenientes de Ventaquemada, Boyacá.	41
Tabla 2-6: Recuento para mesófilos en frutos de uchuva luego de 9 días a temperatura ambiente.	42
Tabla 2-7: Características macroscópicas en frutos de uchuva después de 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente.	43
Tabla 2-8: Recuento de mohos y levaduras para los frutos de uchuva después de 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente.	43
Tabla 2-9: Características macroscópicas de los hongos detectados para los frutos de uchuva después de 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente.	44
Tabla 2-10: Microorganismos principales identificados en los frutos de uchuva provenientes de la región de Ventaquemada, Boyacá.	44
Tabla 2-11: Comportamiento de los compuestos preseleccionados.	45
Tabla 2-12: Crecimiento de mohos <i>in vitro</i> en los sistemas herméticos con compuestos antimicrobianos volatilizados a 6 ± 1 °C.	46
Tabla 2-13: Crecimiento de mohos <i>in vitro</i> en los sistemas herméticos con compuestos antimicrobianos volatilizados a 23 ± 2 °C.	48
Tabla 2-14: Crecimiento de mohos <i>in vitro</i> para las concentraciones $0,96 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ y $0,48 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de cinamaldehído volatilizados a 23 ± 2 °C.	50
Tabla 3-1: Evolución de las propiedades de calidad de los frutos de uchuva bajo los diferentes tratamientos a 6 °C y 75% HR.	69
Tabla 3-2: Evolución de las propiedades de color de los frutos de uchuva bajo los diferentes tratamientos a 6 °C y 75% HR.	70
Tabla 3-3: Evolución de la firmeza de los frutos de uchuva bajo los diferentes tratamientos a 6 °C y 75% HR.	70

Introducción

El desperdicio de alimentos es un importante problema no solo económico sino social y ambiental. Según Naciones Unidas (2021) el 7% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y cerca del 30% de la tierra agrícola del mundo, se utiliza para producir alimentos que nunca serán consumidos. Así mismo, en Colombia se pierden y desperdician 9,76 millones de toneladas de alimentos al año, equivalente al 34% del total producido en el país y en donde el 19,8% (1,93 millones de toneladas) se pierde durante el proceso de poscosecha y almacenamiento; y del total de pérdidas, el 62% corresponde a frutas y verduras (6,1 millones de toneladas) (DNP, 2020). El deterioro de las frutas es un problema alimentario que ha recibido poca atención para ser investigado en comparación con las enfermedades transmitidas por los alimentos y las tecnologías de procesamiento, a pesar de sus implicaciones socioeconómicas, seguridad y calidad alimentaria, y desperdicio de recursos naturales (Snyder & Worobo, 2018). Las bacterias y los hongos son agentes comunes de infección y deterioro microbiológico en frutas que actúan durante la maduración y poscosecha resultando en la generación de varios cambios fisiológicos y de composición, que por ende conducen a procesos de deterioro y pérdida de calidad, por lo que garantizar su inocuidad a lo largo de la cadena comercial y de distribución representa un desafío. Sumado a estos procesos de pérdida de calidad causada por microorganismos a medida que los productos van madurando, se generan procesos metabólicos de degradación y de senescencia propios del alimento que también deben ser considerados (Alegbeleye et al., 2022).

Desde la última década, el empaque activo se ha convertido en una alternativa fiable no sólo como método de conservación de los alimentos frescos, sino también como prolongación de su vida útil. Se reportan varias investigaciones con el propósito de determinar compuestos activos con características antimicrobianas que sean compatibles con el alimento a preservar como los aceites esenciales que son sustancias naturales clasificadas como GRAS por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) y la mayoría de ellos proceden de plantas.

Han demostrado tener reconocidas propiedades antibacterianas y antifúngicas conseguidas tanto en contacto directo como en fase de vapor. La posibilidad de conseguir una acción antimicrobiana mediante la liberación de los compuestos volátiles ha aumentado el interés de incluirlos en los empaques (Manso et al., 2015).

Es notoria la tendencia hacia propuestas de empaque antimicrobiano (AMP), pues se considera una solución sencilla y prometedora para promover la seguridad de alimentos empacados. El deterioro por microorganismos patógenos es el factor más perjudicial que determina la vida útil de dichos productos (Janjarasskul & Suppakul, 2018). Los empaques antimicrobianos contienen sustancias activas que, al interactuar con el producto alimentario o con el espacio de cabeza dentro del empaque, tienden a impedir o ralentizar el crecimiento de los microbios que puedan estar presentes en las superficies de los alimentos. La eficacia de estos agentes depende de su capacidad de solubilización, principalmente de su capacidad de difusión en la superficie del alimento, cuando se evapora, y luego se absorbe por el producto a conservar, pues es en la superficie de este donde se produce la mayor parte del deterioro (Varghese et al., 2020).

Debe establecerse un equilibrio entre la cinética de crecimiento microbiano y la tasa de liberación controlada para garantizar la función protectora adecuada durante la vida útil prevista. Por lo tanto, uno de los retos más interesantes en el campo de los sistemas antimicrobianos es el control de la tasa de liberación de los agentes antimicrobianos desde el empaque y su posterior transferencia a los productos alimentarios (Mousavi Khaneghah et al., 2018a). Los compuestos activos gaseosos o vaporizados suelen ser los preferidos en esta aplicación porque pueden llegar rápidamente a la superficie del producto fresco desde los sistemas de liberación. Es entonces como, el desarrollo de un sistema de liberación controlada implica la estabilización del compuesto activo gaseoso/volátil en un material matriz de modo que el compuesto activo pueda liberarse de forma controlada para prolongar la vida útil del producto alimentario (Chen et al., 2020).

Dentro de las líneas priorizadas por el programa Colombia productiva y Asohfrucol-FNFH, y la firma del *Pacto por las frutas* liderado por el Gobierno Nacional, la uchuva se encuentra dentro de los diez productos relevantes para direccionar actividades en pro del incremento de su exportación (Asohfrucol & Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, 2021). Este

producto estratégico para el sector agroindustrial alcanzó entre enero y febrero de 2022 exportaciones de US\$6,5 millones de dólares, para el mismo periodo del 2021 la cifra fue de US\$5,9 millones; en ese orden se espera superar los \$US100 millones en exportaciones en los próximos 5 años siendo Cundinamarca, Antioquia y Boyacá, los departamentos que se han fortalecido como los principales productores y exportadores de la fruta (Procolombia, 2021; ANALDEX, 2022). De ahí la importancia de caracterizar el comportamiento de dichos frutos en un empaque activo antimicrobiano, pues es necesario saber cómo se relaciona el metabolismo del producto empacado y el crecimiento de microorganismos, con los niveles de gases y la temperatura en el interior del empaque para usar de manera efectiva dicho sistema (Castellanos et al., 2016). Actualmente el mercado nacional está compuesto por una gama amplia de materiales que apuntan principalmente a la protección contra daños mecánicos, pero no hacia la necesidad de controlar los diferentes aspectos que ocasionan el deterioro incluyendo el beneficio ambiental al final del servicio. Productos como la uchuva, requieren un sistema de empaque que proporcione un diseño robusto aplicado a la condición en fresco para extender su vida útil y disminuir pérdidas a lo largo de la cadena poscosecha, potenciando el crecimiento del mercado nacional y la mejora de la percepción de la calidad (Garavito et al., 2022).

Objetivos de la tesis

El objetivo de esta investigación fue configurar un sistema de empaque activo antimicrobiano que permita prolongar la vida útil de la uchuva fresca preservando sus propiedades de calidad. Se establecieron los siguientes objetivos específicos: 1) evaluar el efecto de diferentes compuestos antimicrobianos en la actividad y crecimiento *in vitro* de microorganismos causantes de deterioro propios de la etapa de poscosecha de uchuva fresca seleccionando el más satisfactorio; 2) determinar la capacidad inhibitoria del compuesto seleccionado bajo diferentes condiciones propias del almacenamiento de los frutos de uchuva y 3) realizar estudios de liberación controlada del compuesto con mejor actividad antimicrobiana en un sistema de empaque típico para uchuva evaluando los cambios en las propiedades de calidad del fruto.

Estructura de la tesis

Este estudio se divide en tres capítulos, además de esta introducción. En el capítulo 1, como revisión de literatura, se abordaron temáticas correspondientes a tecnologías de empaques asociadas a bayas y generalidades del fruto objeto de estudio. En el capítulo 2, se evalúa *in vitro* el efecto en fase de vapor de diferentes compuestos antimicrobianos de origen vegetal contra microorganismos causantes de deterioro en uchuva fresca. En el capítulo 3, se presenta la configuración de un sistema de empaque activo antimicrobiano, con el compuesto de mejor desempeño reportado en el capítulo anterior y midiendo propiedades de calidad fisicoquímica y vida útil de los frutos de uchuva almacenados bajo condiciones de refrigeración (6 °C y 75% HR). Finalmente, se exponen las principales conclusiones y se sugieren recomendaciones para futuros desarrollos.

La información adicional relacionada con las presentaciones en eventos científicos y publicaciones realizadas durante la construcción de esta tesis se encuentra en los anexos.

Este trabajo se desarrolló con recursos y en el marco del proyecto “Evaluación y configuración de un sistema integrado de empaque biodegradable con actividad antifúngica y control de humedad para productos agrícolas frescos” financiado por COLCIENCIAS en la SEGUNDA CONVOCATORIA DE INNOVACIÓN ENTRE ACTORES DEL SISTEMA REGIONAL-DEPARTAMENTO DE BOYACÁ (827-2018).

1. Capítulo I. Uchuva (*Physalis peruviana* L.) y tecnologías de empaque asociados a bayas como fruto fresco.

Resumen

La uchuva es un producto agrícola apetecido no solo en Colombia sino en el mercado de exportación pues además de su sabor característico y sus múltiples posibilidades como alimento, posee propiedades de gran beneficio para el metabolismo y la salud. Sin embargo, es un producto perecedero con una vida útil limitada a 15 días aproximadamente bajo condiciones de refrigeración (0 °C a 4 °C) y muy susceptible al rápido deterioro de sus propiedades de calidad. La conservación de estas propiedades depende de factores como la temperatura, humedad, concentración de oxígeno y carga microbiana externa en el periodo de almacenamiento y empaque. Cuando alguno de estos factores no es controlado de forma adecuada, se favorece al crecimiento y actividad de microorganismos que deterioran el producto y reducen su vida útil. Se encuentra amplia literatura disponible acerca del desarrollo de empaques activos para el control de la actividad microbiana indeseada, por lo que esta opción de empaque es una alternativa idónea para conservar productos como la uchuva y prolongar su vida útil ampliando los tiempos durante el proceso de transporte, comercialización y exportación.

Palabras clave: *Physalis peruviana* L., poscosecha, vida útil, empaque activo, empaque antimicrobiano.

1.1 Preservación y tecnologías de empaques en frutos frescos

Hoy en día los consumidores demandan productos alimenticios más saludables y seguros con beneficios significativos para la salud debido a los cambios en los estilos de vida de las personas asociados a un mundo más globalizado, con mayor interacción tecnológica y con mayor conciencia sobre la importancia de comer sano ante contingencias globales como la aparición de enfermedades masivas y pandemias. Así mismo, la industria alimentaria actual enfrenta enormes desafíos para mejorar la vida útil y mantener la calidad y estabilidad de alimentos como frutas y verduras (Tripathi et al., 2021). Las frutas son productos vivos que respiran y mantienen un metabolismo activo incluso después de la cosecha. Son fácilmente perecederos debido a su alta actividad fisiológica, alta sensibilidad al deterioro microbiano y escasa resistencia a impactos y daños mecánicos, lo que limita el potencial de mercado y el acceso del consumidor (Belay et al., 2019). Más de un tercio de las frutas y verduras se pierden cada año debido al deterioro causado por microorganismos, factores ambientales y condiciones de almacenamiento inapropiadas. Alrededor del 40-50% de las pérdidas de alimentos corresponden a frutas y verduras, lo que da como resultado una pérdida anual total estimada en 750.000 millones de USD (Perumal et al., 2022a).

La contaminación de los alimentos durante el almacenamiento y el transporte se produce principalmente por la acción de microorganismos como bacterias y hongos que repercuten en diferentes características de calidad del alimento como el aspecto visual, el sabor y el olor. Además existe el riesgo de contaminación por microorganismos que pueden causar enfermedades mortales (Mukurumbira et al., 2022; Pandey et al., 2022). La presencia de los agentes patógenos y causantes de deterioro más comunes depende de varios factores como: el pH, niveles de oxígeno, temperatura, humedad relativa y tiempo de almacenamiento (Varghese et al., 2020). Debido a las preferencias de los consumidores hacia la ingesta de alimentos cada vez más inocuos y naturales y la reducción del desperdicio de recursos, el empaque primario de los alimentos representa una actividad muy importante en la cadena de suministro (Alamri et al., 2021). Dicho empaque se utiliza fundamentalmente como barrera protectora para evitar la contaminación o interacción indeseada con agentes externos y mantener la calidad del producto. Sin embargo, el sistema de empaque tradicional solo

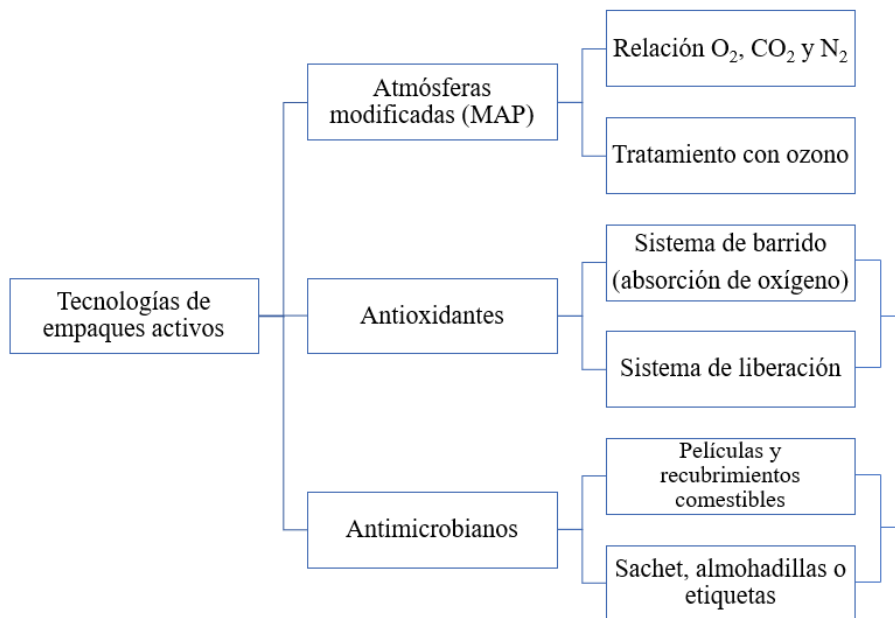
constituye una barrera que separa los alimentos del entorno externo sin proporcionar capacidades adicionales y necesarias para una mejor preservación, tales como: información sobre su frescura a productores, vendedores y consumidores, eliminación de componentes indeseables, liberación de componentes deseables y control microbiano (Shao et al., 2021). En comparación con los "empaques inertes" tradicionales, los empaques activos son una tecnología emergente que combina ingredientes activos como captadores de oxígeno, humedad o etileno, liberadores o fuentes de agentes antioxidantes y antimicrobianos y protección contra otros agentes externos como la luz (Figura 1-1). Estos empaques pueden configurarse para que liberen o absorban todo tipo de sustancias de interés para la preservación del alimento empacado (Yildirim et al., 2017) lo cual resulta en la extensión de su vida útil, la mejora de sus propiedades sensoriales, nutricionales y de inocuidad y en general, la conservación de su calidad (De Souza et al., 2009).

El sistema de empaque activo se compone generalmente de tres partes: sustancia activa, material de empaque y alimento. Se puede dividir entre sistema de contacto directo empaque-alimento y sistemas de empaque-espacio de cabeza-alimento en donde por ejemplo, los componentes activos son liberados inicialmente al espacio de cabeza del empaque para luego entrar en contacto con el alimento empacado (Gómez-Estaca et al., 2014). En los últimos años se vienen desarrollando técnicas como el empaque con atmósfera modificada (MAP), los recubrimientos comestibles, el empaque activo con agentes antioxidantes y el empaque activo antimicrobiano. Estas tecnologías juegan un papel importante en la extensión de la vida útil y el mantenimiento de la calidad de gran variedad de alimentos frescos y procesados para satisfacer la demanda de los consumidores (Sohail et al., 2018). Cabe señalar que el concepto de empaque inteligente está estrechamente relacionado con el de empaque activo; el empaque inteligente es una técnica emergente que está pensado para brindar información al consumidor sobre la condición ambiental a la cual está sometido el alimento empacado o su estado de "frescura" o de calidad en un momento dado. Mientras los empaques activos tienen funciones características preservantes adicionales y específicas más allá de la simple contención y protección pasiva del producto alimenticio, el empaque inteligente enfatiza la capacidad de detectar o medir un atributo o característica del producto empacado relacionados con su calidad, la atmósfera o condiciones dentro del propio empaque o el entorno de envío (Sohail et al., 2018).

Los empaques con atmósferas modificadas de productos frescos consisten en alterar la atmósfera del interior del empaque para obtener niveles favorables de preservación, lo que se consigue por la interacción natural entre la respiración/transpiración del producto y la transferencia de gases a través del sistema de empaque hacia o desde el exterior. La atmósfera deseada se puede crear utilizando MAP activo o pasivo. El MAP activo se basa en el desplazamiento o reemplazo de gases en el empaque, o el uso de captadores o absorbentes de gases para establecer una mezcla deseada de gases, mientras que en el MAP pasivo los niveles de gases son alcanzados a partir únicamente de los procesos de respiración/transpiración y permeación del empaque (M. Oliveira et al., 2015).

Se entiende como “recubrimiento comestible” el uso de ingredientes aptos para consumo como polisacáridos, proteínas o almidones, etc., para formar una capa protectora sobre el alimento de interés. Estos componentes pueden usarse de forma individual o en combinación para de este modo ofrecer mejores prestaciones preservantes. Los recubrimientos comestibles pueden elaborarse incluyendo componentes específicos que confieran propiedades funcionales y medicinales adicionales que mejoran las características propias del alimento (Tripathi et al., 2021).

Figura 1-1: Tecnologías de empaques activos.



Adaptado de: (Zhong et al., 2020; Rangaraj et al., 2021).

La principal divergencia entre recubrimientos y películas es la configuración del material de recubrimiento. Si se preparan en forma de lámina delgada en procesos de extrusión o colado pero independiente del alimento, se conocen como películas comestibles y si se preparan en forma de solución viscosa líquida y luego se aplican por aspersión o inmersión sobre el alimento antes de solidificarse, se habla de recubrimientos. En el caso de los vegetales y frutas en fresco, los recubrimientos comestibles pueden ser aplicados mediante diferentes técnicas, como cepillado, inmersión, pulverización, etc. Hay ciertas desventajas de las películas comestibles, como la protección desigual o susceptibilidad a la rotura, pero estos problemas pueden resolverse a través de un buen control del mecanismo de aplicación de la solución formadora del recubrimiento (Raghav et al., 2012).

Respecto a los empaques activos, estos han sido pensados fundamentalmente para controlar dos problemas fundamentales: los procesos de oxidación indeseados y el deterioro causado por microorganismos (Umaraw et al., 2020). En la investigación de Song et al. (2020) definen como empaques activos antioxidantes, aquellos que pueden ralentizar la oxidación y alargar la vida útil de los alimentos empacados; en su estudio compararon la eficacia de dos empaques activos antioxidantes de tereftalato de polietileno (PET) recubierto con propiedades termosellantes que contienen oleoresina de romero y extracto de té verde; en este caso se emplearon antioxidantes naturales porque el uso de antioxidantes sintéticos en el empaque de alimentos ha sido cuestionado debido a los riesgos potenciales para la salud de los consumidores. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios observando que las películas con extracto de té verde mostraron mayor capacidad antioxidante. Hallazgos similares se describen en otras investigaciones (Contini et al., 2011; Masek et al., 2018; Rangaraj et al., 2021; Wrona et al., 2021).

Los empaques activos con funciones antimicrobianas son aquellos que interactúan directamente con el producto o indirectamente a través del espacio de cabeza de este para restringir el crecimiento de microorganismos y frenar otros procesos de deterioro (Rozenblit et al., 2018). En este tipo de sistema, tanto el empaque, el producto y el entorno interactúan para prolongar la fase de latencia y/o reducir la velocidad de crecimiento de los microorganismos. Mediante esta acción, se prolonga la vida útil del producto y se preserva

mejor su calidad e inocuidad (Sanla-Ead et al., 2011). La presente investigación se enfocará en este tipo de empaques.

Ahora bien, frutas como la uchuva (*Physalis peruviana* L.) consideradas como un producto agrícola de gran interés por los múltiples beneficios para la salud y de sabor particular (Redagrícola Colombia, 2022), presentan cortos tiempos de vida útil durante el periodo poscosecha, por lo que las posibilidades de mercado y crecimiento económico son limitadas. Esto se debe fundamentalmente a que los sistemas disponibles de empaque y almacenamiento no están diseñados para prevenir el deterioro de los productos frescos pues no cuentan con características activas de preservación y de control de microorganismos, lo que conlleva a pérdidas nutricionales, funcionales y sensoriales del producto que pueden prevenirse durante el almacenamiento. Por ello la intención de desarrollar tecnologías de empaques activos para prolongar la vida útil no solo de la uchuva, sino de otros productos hortofrutícolas al reducir su deterioro sin comprometer su calidad.

1.2 Generalidades de la uchuva (*Physalis peruviana* L.)

La uchuva es una baya jugosa, redondeada y de diámetro entre 1,25 y 2,50 cm, de 4 y 10 g de peso de color amarillo hasta anaranjado, cubierta por un cáliz o capacho que la protege de patógenos, insectos y de las condiciones ambientales adversas a lo largo de su desarrollo y maduración (Puente et al., 2011; NTC 4580, 2022). Dicho cultivo herbáceo de frutos comestibles e intenso sabor (Carvalho & Moreno, 2014) es originario del Perú y su cultivo está distribuido en las zonas altas de Suramérica. Pertenece a la familia de las Solanáceas y es la especie más conocida del género *Physalis*, que comprende de 75 a 90 especies (Reyes, 2016). Considerada como una fruta exótica con componentes potenciales que promocionan la salud (Olivares Tenorio, 2017), la uchuva se caracteriza por poseer un alto contenido de compuestos bioactivos como ácido ascórbico (vitamina C), β -caroteno (provitamina A), fenoles, entre otros; capaces de atrapar radicales libres mejorando la defensa antioxidante del organismo y la respuesta antiinflamatoria y anticancerígena (CCI, 2006). Posee propiedades para purificar la sangre, elimina la albúmina de los riñones, reconstituye y fortifica el nervio óptico, limpia las cataratas, trata la diabetes, la artritis incipiente y alivia eficazmente las afecciones de garganta;

es además calcificadora y se recomienda su uso en tratamientos de la próstata (Fischer et al., 2014).

1.2.1 Producción, postcosecha y vida útil

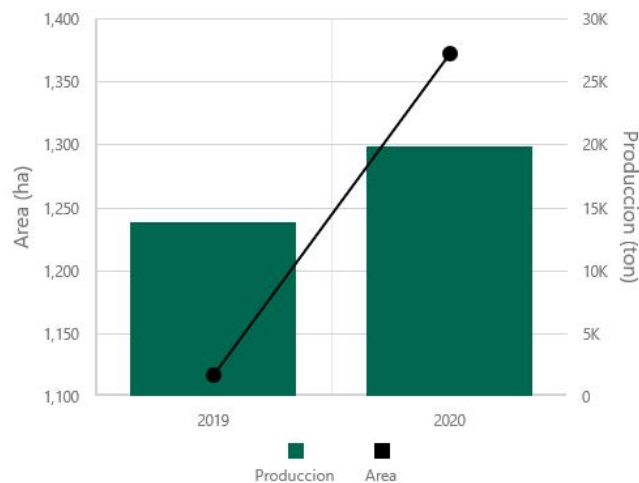
Colombia se posicionó en el año 2021 como el mayor exportador de uchuva (*Physalis peruviana* L.) a nivel mundial alcanzando los US\$37,820,445. Dichas cosechas se caracterizan por poseer un mayor contenido de azúcares y mejor coloración, por esto se ha convertido en una de las variedades más apetecidas en el mundo por encima de las exportadas por Kenia y Sudáfrica (Treid, 2020; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). La uchuva crece en un amplio rango de altitud desde los 3300 m sobre el nivel del mar. Puede soportar bajas temperaturas, pero sufre daños irreparables por debajo de los 0 °C, su crecimiento se ve afectado si las temperaturas se mantienen por debajo de los 10 °C. La temperatura óptima es de 18 °C. Las temperaturas muy altas pueden afectar a la floración y la fructificación. Requiere una alta luminiscencia y debe estar protegida del viento excesivo. Debe tener suficiente agua durante el crecimiento inicial, pero no durante la maduración de los frutos. Es una planta con alto potencial, ya que crece en suelos pobres, pero bien drenados y tiene bajos requerimientos de fertilización. *Physalis peruviana* L. se desarrolla mejor en suelos ligeramente ácidos, aunque tolera bien valores de pH entre 5,5 y 7,3 con buen contenido de materia orgánica y precipitaciones entre 1000 y 2000 mm. No tolera los suelos arcillosos porque tiene raíces superficiales (Puente et al., 2011). El tiempo que transcurre entre el inicio de la germinación y la primera cosecha es de aproximadamente nueve meses. La vida útil de la producción de la planta va de nueve a once meses desde el momento de la primera cosecha porque a partir de entonces disminuyen tanto la productividad como la calidad de los frutos (Tapia & Fries, 2007). La vida útil del fruto con cáliz es de un mes mientras que sin cáliz es de 4 a 5 días aproximadamente (Cedeño & Montenegro, 2004).

1.2.2 Economía

Las exportaciones de uchuva fresca registraron un valor de USD FOB (Incoterm Free On Board) 152,2 millones desde el 2016 hasta el 2020, mostrando un crecimiento promedio de un 9,0% a lo largo de estos últimos años. Así mismo, de enero a agosto de 2021, se registró un

crecimiento del 16,4% alcanzando un valor de USD FOB 25,8 millones (ANALDEX, 2021). La uchuva tiene el potencial para superar los US\$100 millones en exportaciones en 5 años. Países Bajos, Estados Unidos, Alemania, Canadá, Bélgica, Francia y Emiratos Árabes son los principales mercados que compran la fruta colombiana, cuyas exportaciones, de acuerdo con cifras del DANE, crecieron 18% entre enero y julio de 2021, sumando US\$23,6 millones (Procolombia, 2021). Para 2020 los principales departamentos productores de uchuva en Colombia fueron Cundinamarca (8,258.7 ton.), Boyacá (5,767.6 ton.) y Antioquia (1,712.7 ton.); se mantiene además la tendencia hacia el aumento de la producción y áreas de cultivo destinadas para el fruto en mención (Agronet, 2022).

Figura 1-2: Área cosechada y producción de uchuva en Colombia.



Fuente: Agronet (2022).

1.2.3 Patógenos en la poscosecha de la uchuva

La uchuva es un producto altamente perecedero con un periodo limitado de vida útil lo cual hace difícil su comercialización debido a los procesos de deterioro que llevan a una reducción irreversible en sus propiedades de calidad. Una de las causas más relevantes de estos procesos de deterioro es la actividad de microorganismos patógenos para el fruto tales como *Cladosporium sp.*, *Phoma sp.*, *Alternaria sp.*, *Phytium sp.*, *Botrytis ssp.* y *Colletotrichum sp.* *Phoma sp.* por ejemplo, causa lesiones de color amarillo a cobrizo y *Botrytis ssp.* manchas necróticas de color gris. La acción de estos microorganismos resulta en rompimiento de

paredes celulares en el tejido vegetal, actividad bioquímica desfavorable y aceleración del estado de senescencia (Gerhard Fischer et al., 2014; Carvalho & Moreno, 2014; Olivares-Tenorio et al., 2016).

1.2.3.1 *Botrytis cinerea*

Moho gris, causado por *Botrytis cinerea* Pers: Fr. en la forma anamórfica o asexual o *Botryotinia fuckeliana* (de Bary) Whetzel en su forma teleomórfica o sexual, es un patógeno oportunista de ámbito mundial que afecta principalmente a los frutos y plantas de climas mediterráneos (Abarca et al., 2017), tiene una amplia gama de huéspedes y es un hongo necrótrofo que esporula en el tejido muerto o en la superficie de los restos del cultivo. La temperatura óptima para la esporulación del hongo en los restos de hojas es de 17-18 °C, pero también es capaz de infectar a bajas temperaturas, por lo que puede dar lugar a importantes pérdidas económicas en los cultivos de pre o poscosecha (Schumacher, 2017). Los diferentes mecanismos de acción en el tejido del huésped atacado incluyen enzimas hidrolíticas secretadas durante la germinación, enzimas degradantes de la pared celular que tienen una mayor actividad en la fruta madura infectada, y especies activas de oxígeno que inducen la muerte celular. Las epidemias de moho gris suelen comenzar con conidios producidos en restos de cultivos infestados o dispersados por el viento desde otras zonas productoras. Las infecciones incontroladas dan lugar al desarrollo de micelio aéreo que se extiende rápidamente a las bayas adyacentes. Aunque *B. cinerea* puede infectar casi todas las partes aéreas de la planta, las infecciones más dañinas se producen en la floración. La infección comienza en los pétalos, estambres y pistilos, y el hongo puede colonizar los frutos. La infección de los frutos se produce en el campo, pero los síntomas de la enfermedad se observan en la maduración cuando el hongo esporula. La intensidad de la enfermedad en la poscosecha está altamente correlacionada con la duración tanto de la humedad relativa (HR) por encima del 80% como de la temperatura entre 15 y 25 °C en la floración (Cristescu et al., 2002; Valverde et al., 2005; Cota et al., 2008; He et al., 2019).

1.2.4 Empaques para uchuva

Para los consumidores, los frutos se empaquetan en pequeños contenedores de plástico perforados o en pequeñas cestas de plástico con un peso máximo total de fruta de 200 g (con cáliz) y 500 g (sin cáliz). Para la exportación, las especificaciones de empaque dependen del importador y de los requisitos del país de destino, pero normalmente se utilizan pequeñas cestas de plástico con un peso de fruta de 125 a 250 g de uchuvas con cáliz. La fruta empacada en estas cestas suele estar cubierta por una película de plástico de cloruro de polivinilo o polipropileno microperforado (Fischer et al., 2011).

En los mercados locales es común que se utilicen cajas/canastas de plástico con capacidad de 7-8 kg para la venta a granel o mallas tejidas de polipropileno de 1 kg. Se debe considerar que bajo estas condiciones el cáliz tenderá a rehidratarse ya que cuando se exponen al ambiente desprotegido este absorbe humedad. En cuanto a los empaques dosificados (125- 500g) se pueden encontrar la caja de PET o la bandeja recubierta de vinipel o polipropileno microperforado. Para la exportación normalmente se utilizan varios empaques estandarizados que son de plástico y perforados. Por ejemplo, se acomodan 8 canastillas de 125 g en un módulo de dimensiones 60 x 40 cm, que debe ser resistente, de cartón corrugado, madera o combinado (Procomer & BID, 2012).

Por su parte, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación como organismo nacional de normalización, especifica dos normas técnicas asociadas a la uchuva donde la NTC 4580 (2022) declara especificaciones del fruto fresco y la NTC 5166 (2003) especificaciones de su empaque. La primera norma, establece los requisitos que debe cumplir la uchuva (*Physalis peruviana* L.) como suministro fresco al consumidor, después de su preparación y empaque excluyendo las uchuvas destinadas a la elaboración industrial. Además, declara que los frutos de uchuva deben empacarse de tal manera que el producto quede debidamente protegido permitiendo el uso de materiales como papel o sellos, satisfaciendo características de calidad, higiene, ventilación y resistencia para garantizar la adecuada manipulación, transporte y conservación. La segunda norma, establece los requisitos que debe cumplir el empaque utilizado para la recolección y comercialización de la uchuva, tanto para el mercado fresco (nacional o de exportación) como para la agroindustria. Para el mercado nacional, se emplean empaques primarios no dosificados como canastillas plásticas, cajas de madera y cajas de cartón; y como empaques primarios dosificados empaques plásticos en unidades de

0,25 kg y 0,50 kg (Figura 1-3). Para el mercado de exportación el producto se presenta únicamente en empaques dosificados con capacidad máxima de 0,5 kg, de plástico y perforados y su embalaje varía según el país destino.

Figura 1-3: Ejemplo de empaques primarios dosificados para uchuva.



Fuente: NTC 5166 (2003).

Respecto a la especificación del material plástico, indica que en cubetas solidificadas se utilice polipropileno (PP) o tereftalato de polietileno (PET) y para canastillas polietileno de alta densidad.

1.3 Empaques activos en bayas

Se estima que el comercio mundial de pequeñas bayas, como las moras, los arándanos, las fresas y las frambuesas, aumentará a un ritmo aproximadamente del 5,6% anual, casi 8,000 millones de euros más (8,960 millones de dólares) (Fernandez, 2022) debido a su alto valor nutricional y a los beneficios para la salud asociados a sus compuestos bioactivos (flavonoides, antocianinas, ácidos fenólicos, carotenoides y vitaminas). Sin embargo, la vida útil de este tipo de frutos frescos es corta, incluso bajo condiciones de refrigeración, por lo que el riesgo de pérdida de valor comercial es mayor. En efecto, los daños mecánicos, el deterioro microbiano y la pérdida nutricional y de peso dificultan su transporte desde el lugar de producción/procesamiento. Además, puede observarse una producción limitada en los empaques comerciales de tipo *clamshell* (concha de almeja) que contienen fruta pequeña, como consecuencia de la condensación del vapor de agua resultante del abuso de la

temperatura (Pinto et al., 2020). Por lo general, las bayas no se lavan ni se desinfectan, independientemente de que la cáscara esté adherida o no (Fischer et al., 2011).

Las tecnologías más utilizadas para prolongar la vida útil poscosecha de los arándanos son las atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC) donde se emplean o ajustan diferentes concentraciones de O₂ y CO₂ durante el almacenamiento y el transporte. Para el caso de las bayas, el nivel de O₂ en las atmósferas modificadas se mantiene entre el 5 y el 10% y el de CO₂ por debajo del 9%, mientras que en las atmósferas controladas ocurre lo contrario, el nivel de O₂ es inferior al 2% y el de CO₂ es superior al 10% (Bell et al., 2021). Paulsen et al. (2021) refieren para el caso de las fresas enteras listas para el consumo, que los MAP se aplican siempre en combinación con la refrigeración a baja temperatura y la desinfección donde se puede esperar una vida útil de hasta 10 días o 20 días con el uso de etileno y absorbentes de humedad.

Referente a ingredientes activos en el empaque, son los biopolímeros considerados como excelentes portadores de diferentes antioxidantes, antibióticos, nutrientes, indicadores de pH, secuestrantes de oxígeno, lubricantes, agentes nucleantes, estabilizadores de la luz, agentes espumantes, plastificantes, antiempañantes y antiestáticos (Imran et al., 2010). En el estudio de Bandyopadhyay et al. (2019) analizaron la vida útil de los arándanos con películas de hidrogeles a base de polivinilpirrolidona (PVP) y carboximetilcelulosa (CMC), utilizando componentes de polisacáridos, celulosa bacteriana (BC) y goma guar (GG), y concluyeron que las películas de empaque a base de PVP-CMC-BC-GG tienen la mejor resistencia de permeabilidad al oxígeno y vapor de agua. La restricción de la entrada de oxígeno y la reducción de la pérdida de vapor de agua a través de las películas ayudarán a mantener frescas las frutas empacadas durante más tiempo. Las bayas empacadas en PVP-CMC-BC-GG tuvieron la menor pérdida de peso sin humedad (A_w) en el espacio de cabeza o en el espacio libre del sistema de empaque y estas películas pueden mantener el color y la textura de las frutas durante 15 días, también pueden ser un mejor material de empaque sobre otros, debido a sus menores valores de permeabilidad al vapor de agua y permeabilidad al oxígeno.

En el trabajo de Garavito et al. (2022), se configuró un empaque biodegradable con atmósfera modificada en equilibrio en el que se evaluaron diferentes sistemas utilizando tres tipos de empaques: bandejas de tereftalato de polietileno con película de polipropileno (PET/PP), bandejas de celulosa con película de celulosa (Cel/Cel) y bandejas y película de ácido

poliláctico (PLA/PLA). Se utilizó un modelo de transferencia de gases para predefinir la cantidad de adsorbente de humedad mediante sachets y predecir la concentración de O₂ y CO₂ en los sistemas de EMAP evitando la condensación, así como la pérdida de peso de las muestras. Los montajes se almacenaron a 6 °C y 75% de HR durante 6 semanas donde la configuración con bandejas de PLA/PLA resultó ser la de mejor desempeño con una vida útil de 42 días, mientras que los frutos en Cel/Cel solo alcanzaron los 39 días en comparación con el empaque sintético y el control consiguiendo 35 días y 21 días de vida útil, respectivamente. Se obtuvieron concentraciones de gas de equilibrio similares entre los empaques, la mayor permeabilidad al vapor de agua del PLA evitó la formación de condensación con menor deshidratación en comparación con los empaques Cel/Cel y PET/PP y en esta última configuración, se presentó abundante crecimiento de hongos debido a la condensación de humedad en el interior del empaque, mientras que el uso de películas biodegradables como la celulosa y el PLA mostró una respuesta de inhibición favorable. Los resultados de esta investigación se deben a la mayor concentración de CO₂ y a la menor concentración de O₂ en el espacio de cabeza, así como la menor condensación de agua alcanzada en los empaques biodegradables debido a las bandejas de alta celulosa con la incorporación del sachet absorbente (40 días) que evitó la condensación de humedad en el interior. Sin embargo, en este empaque las pérdidas de peso y firmeza fueron mayores en comparación con las bandejas de PLA y bandejas de celulosa sin sachets. La menor vida útil en los empaques con sachets debe atribuirse al hecho de que se incluyó la mínima cantidad posible de adsorbente para evitar la formación de condensación durante 45 días, pero los frutos duraron menos, y la mayor pérdida de peso se relaciona directamente con un aumento de la pérdida de firmeza y del estrés en las muestras. Estos parámetros suelen ser decisivos en la pérdida de calidad y aceptación del fruto.

Finalmente, los sistemas de empaque propuestos se pueden mejorar incluyendo otras características activas como la adición de elementos para la adsorción de humedad, la liberación controlada de compuestos antioxidantes retardantes de maduración o para el caso del último estudio en mención, compuestos antimicrobianos que inhiban procesos de deterioro por patógenos para aumentar aún más la vida útil de la uchuva.

1.4 Empaques activos antimicrobianos en bayas

Durante la última década, se ha realizado un gran esfuerzo para desarrollar empaques antimicrobianos que puedan mejorar potencialmente la seguridad alimentaria en toda la cadena de suministro. El compuesto o sustancia inmersa en dichos empaques, interactúa con el producto y el espacio de cabeza para restringir el crecimiento de microorganismos y retardar otros procesos de deterioro (Rozenblit et al., 2018). Mediante esta acción, se prolonga la vida útil del producto y se conserva mejor su calidad y seguridad para el consumidor (Sanla-Ead et al., 2011).

El deterioro de las frutas frescas se asocia frecuentemente a procesos fisiológicos y microbiológicos. Como se describió anteriormente, los hongos son los patógenos más comunes en los productos frescos que causan enfermedades poscosecha y para controlar la infección y las enfermedades, los productores de cultivos hortofrutícolas dependen en gran medida de la aplicación de fungicidas convencionales. Sin embargo, el uso de fungicidas sintéticos ha provocado efectos adversos en el medio ambiente y la salud de los seres humanos y puede conducir al desarrollo de resistencia a patógenos. Así, los investigadores se están centrando en el uso de sustancias antimicrobianas naturales de origen vegetal para la conservación de productos frescos (Perumal et al., 2022a). Ejemplo de ello, son los aceites esenciales como uno de los compuestos activos más utilizados en films de empaque para la conservación de frutas y hortalizas (Panahirad et al., 2021).

Recientemente, hay una creciente atención al uso de materiales alternativos ecológicos como materiales de empaque debido a la preocupación por la naturaleza no biodegradable de los productos a base de petróleo y también por la disminución de las reservas del mismo (Ejaz et al., 2018). Aunque la definición del término "bioplástico" es ambigua, se utiliza principalmente para definir plásticos que pueden ser de base biológica, biodegradable o de ambas. Sin embargo, la biodegradabilidad no depende del origen del polímero, sino sólo de su composición química (Guilbert et al., 2011). En la Norma Técnica Colombiana NTC 6302-1 (2018) definen como "bioplástico" al material polimérico de origen biogénico completo o parcial. Ejemplos de dichos recursos son el aceite vegetal, almidón de maíz, almidón de papa, fibra de piña, hojas de yute, hojas de melón y tallos de plátano. La principal fuente de almidón de los bioplásticos es el maíz, aunque hoy en día también se utilizan almidones de papa, trigo,

arroz, cebada, avena y soja. Los bioplásticos también se pueden producir utilizando microorganismos y, a veces, varias nanopartículas, especialmente cadenas de carbohidratos (polisacáridos) (Jabeen et al., 2015). Se reportan también otros materiales vegetales como alginato (Xiang et al., 2022), celulosa (F. Wang et al., 2022), lignina (Yang et al., 2020), zeína (Xueying Huang et al., 2022); así como materiales de origen animal como quitosano (W. Zhao et al., 2022) o aislado de proteína de suero (Montes-de-Oca-Ávalos et al., 2020).

1.5 Bibliografía

- Abarca, R. L., Rodríguez, F. J., Guarda, A., Galotto, M. J., Bruna, J. E., Fávoro Perez, M. A., Ramos Souza Felipe, F., & Padula, M. (2017). Application of β -Cyclodextrin/2-Nonanone Inclusion Complex as Active Agent to Design of Antimicrobial Packaging Films for Control of *Botrytis cinerea*. *Food and Bioprocess Technology*, 10(9), 1585–1594. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1926-z>
- Agronet. (2022). *Reporte:Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Alamri, M. S., Qasem, A. A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G., Alqah, H. A., & Qasha, A. S. (2021). Food packaging's materials: A food safety perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4490–4499. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.04.047>
- Alegbeleye, O., Odeyemi, O. A., Strateva, M., & Stratev, D. (2022). Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. *Applied Food Research*, 100122. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100122>
- ANALDEX. (2021). *Informe exportaciones de uchuva*. <https://www.analdex.org/2021/10/20/informe-exportaciones-de-uchuva/>
- ANALDEX. (2022). *Uchuva colombiana a la conquista: en solo dos meses el país exportó US\$6,5 millones*. <https://www.analdex.org/2022/05/06/uchuva-colombiana-a-la-conquista-en-solo-dos-meses-el-pais-exporto-us65-millones/>
- Asohofrucol, & Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. (2021). *Balance del sector hortofrutícola 2020*.
- Bandyopadhyay, S., Saha, N., Brodnjak, U. V., & Saha, P. (2019). Bacterial cellulose and guar gum based modified PVP-CMC hydrogel films: Characterized for packaging fresh berries. *Food Packaging and Shelf Life*, 22(February). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100402>
- Belay, Z. A., Caleb, O. J., & Opara, U. L. (2019). Influence of initial gas modification on physicochemical quality attributes and molecular changes in fresh and fresh-cut fruit during modified atmosphere packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 21(May). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100359>

- Bell, S. R., Hernández Montiel, L. G., González Estrada, R. R., & Gutiérrez Martínez, P. (2021). Main diseases in postharvest blueberries, conventional and eco-friendly control methods: A review. *Lwt*, 149(January), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112046>
- Carvalho, C. P., & Moreno, D. A. (Eds.). (2014). *Uchuva Physalis peruviana L.: fruta andina para el mundo*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED.
- Castellanos, D. A., Cerisuelo, J. P., Hernandez-Muñoz, P., Herrera, A. O., & Gavara, R. (2016). Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. *Journal of Food Engineering*, 168, 84–95. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.07.019>
- CCI, C. C. I. (2006). *Plan Hortícola Nacional. Capítulo 2: Entorno Nacional*.
- Cedeño, M. M., & Montenegro, D. M. (2004). *Plan exportador, logístico y comercialización de uchuva al mercado de Estados Unidos para FRUTEXPO SCI Ltda*. Pontifica Universidad Javeriana.
- Chen, M., Chen, X., Ray, S., & Yam, K. (2020). Stabilization and controlled release of gaseous/volatile active compounds to improve safety and quality of fresh produce. *Trends in Food Science and Technology*, 95(November 2019), 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.005>
- Contini, C., Katsikogianni, M. G., O'Neill, F. T., O'Sullivan, M., Dowling, D. P., & Monahan, F. J. (2011). Development of active packaging containing natural antioxidants. *Procedia Food Science*, 1, 224–228. <https://doi.org/10.1016/J.PROFOO.2011.09.035>
- Cota, L. V., Maffia, L. A., Mizubuti, E. S. G., Macedo, P. E. F., & Antunes, R. F. (2008). Biological control of strawberry gray mold by *Clonostachys rosea* under field conditions. *Biological Control*, 46(3), 515–522. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.04.023>
- Cristescu, S. M., De Martinis, D., Te Lintel Hekkert, S., Parker, D. H., & Harren, F. J. M. (2002). Ethylene production by *Botrytis cinerea* in vitro and in tomatoes. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(11), 5342–5350. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.11.5342-5350.2002>
- De Souza, A. C., Ditchfield, C., & Tadini, C. (2009). *Biodegradable Films Based on Biopolymers for Food Industries*. 511–537. <https://doi.org/10.1201/9781420086072-c17>
- DNP. (2020). *Estudio de pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia*.
- Ejaz, M., Arfat, Y. A., Mulla, M., & Ahmed, J. (2018). Zinc oxide nanorods/clove essential oil incorporated Type B gelatin composite films and its applicability for shrimp packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 113–121. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2017.12.004>
- Fernandez, I. (2022). *Berries, un consumo imparable*. Mercados. <https://revistamercados.com/berries-un-consumo-imparable/>
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). *Importancia y cultivo de la Uchuva (*

- Physalis peruviana* L.) 1. 1–15.
- Fischer, G., Herrera, A., & Almanza, P. J. (2011). Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.374>
- Garavito, J., Mendoza, S. M., & Castellanos, D. A. (2022). Configuration of biodegradable equilibrium modified atmosphere packages, including a moisture absorber for fresh cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 314(April 2021), 110761. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110761>
- Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 35(1), 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.10.008>
- Guilbert, S., Guillaume, C., & Gontard, N. (2011). New packaging materials based on renewable resources: Properties, applications, and prospects. *Food Engineering Interfaces*, 619–630. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394601-0.00026-6>
- He, C., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., & Tian, S. (2019). Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*—Postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 151(August 2018), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.02.009>
- Huang, X., Ge, X., Zhou, L., & Wang, Y. (2022). Eugenol embedded zein and poly(lactic acid) film as active food packaging: Formation, characterization, and antimicrobial effects. *Food Chemistry*, 384, 132482. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.132482>
- NTC 5166 Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones del empaque, (2003).
- NTC 6302-1 Envases, empaques y embalajes. Vocabulario., (2018).
- NTC 4580 Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones, (2022).
- Imran, M., Revol-Junelles, A. M., Martyn, A., Tehrani, E. A., Jacquot, M., Linder, M., & Desobry, S. (2010). Active food packaging evolution: Transformation from micro- to nanotechnology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 799–821. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.503694>
- Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, G. A. (2015). Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food and Agriculture*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1117749>
- Janjarasskul, T., & Suppakul, P. (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(5), 808–831. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1225278>
- Manso, S., Becerril, R., Nerín, C., & Gómez-Lus, R. (2015). Influence of pH and temperature variations on vapor phase action of an antifungal food packaging against five mold strains. *Food Control*, 47, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.06.014>
- Masek, A., Latos, M., Piotrowska, M., & Zaborski, M. (2018). The potential of quercetin as an effective natural antioxidant and indicator for packaging materials. *Food Packaging and*

Shelf Life, 16, 51–58. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2018.02.001>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Colombia es el mayor productor y exportador de uchuva a nivel mundial*. MADR Noticias. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-es-el-mayor-productor-y-exportador-de-uchuvas-a-nivel-mundial.aspx>
- Montes-de-Oca-Ávalos, J. M., Altamura, D., Herrera, M. L., Huck-Iriart, C., Scattarella, F., Siliqi, D., Giannini, C., & Candal, R. J. (2020). Physical and structural properties of whey protein concentrate - Corn oil - TiO₂ nanocomposite films for edible food-packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100590. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2020.100590>
- Mousavi Khaneghah, A., Hashemi, S. M. B., & Limbo, S. (2018). Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioprocess Processing*, 111, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.05.001>
- Mukurumbira, A. R., Shellie, R. A., Keast, R., Palombo, E. A., & Jadhav, S. R. (2022). Encapsulation of essential oils and their application in antimicrobial active packaging. *Food Control*, 136(October 2021), 108883. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108883>
- Naciones Unidas. (2021). *Un reciente Día Internacional con un difícil punto de partida*. <https://www.un.org/es/observances/end-food-waste-day/background>
- Olivares-Tenorio, M. L., Dekker, M., Verkerk, R., & van Boekel, M. A. J. S. (2016). Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): Review from a supply chain perspective. *Trends in Food Science and Technology*, 57(September), 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.009>
- Olivares Tenorio, M. L. (2017). *Exploring the potential of an Andean fruit: an interdisciplinary study on the cape gooseberry (Physalis peruviana L.) value chain*. <https://doi.org/10.18174/393622>
- Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., & Viñas, I. (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables - A review. *Trends in Food Science and Technology*, 46(1), 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.017>
- Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambardoust, S. H., Soltanzadeh, M., Gullón, B., Alirezalu, K., & Lorenzo, J. M. (2021). Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 663–673. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.025>
- Pandey, S., Sharma, K., & Gundabala, V. (2022). Antimicrobial bio-inspired active packaging materials for shelf life and safety development: A review. *Food Bioscience*, 48, 101730. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101730>
- Paulsen, E., Barrios, S., & Lema, P. (2021). Production of packaged ready – to – eat whole strawberries (cv. San Andreas): Packaging conditions for shelf-life extension. *Food Packaging and Shelf Life*, 29(April), 100696. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100696>

- Perumal, A. B., Huang, L., Nambiar, R. B., He, Y., Li, X., & Sellamuthu, P. S. (2022). Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 375(June 2021), 131810. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131810>
- Pinto, L., Palma, A., Cefola, M., Pace, B., D'Aquino, S., Carboni, C., & Baruzzi, F. (2020). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 26(October), 100573. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100573>
- Procolombia. (2021). *Uchuva tiene el potencial para superar los US\$100 millones en exportaciones en 5 años*. <https://procolombia.co/noticias/uchuva-tiene-el-potencial-para-superar-los-us100-millones-en-exportaciones-en-5-anos>
- Procomer, & BID. (2012). *Poscosecha de uchuva*.
- Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). Physalis peruviana Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>
- Raghav, P. K., Agarwal, N., & Saini, M. (2012). Edible coating of fruits and vegetables: A review. *Education*.
- Rangaraj, V. M., Rambabu, K., Banat, F., & Mittal, V. (2021). Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience*, 43(July), 101251. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>
- Redagráfica Colombia. (2022). *Exportaciones de uchuva colombiana podrían duplicarse tras decisión en EE UU para facilitar su ingreso*. <https://www.redagricola.com/co/exportaciones-de-uchuva-colombiana-podrian-duplicarse-tras-decision-en-ee-uu-para-facilitar-su-ingreso/>
- Reyes, A. J. (2016). *Efecto del cloruro de calcio sobre la calidad del fruto de uchuva (Physalis peruviana L.) Calcium chloride effect on the quality of the cape*. 13(2), 7–17.
- Rozenblit, B., Tenenbaum, G., Shagan, A., Corem Salkmon, E., Shabtay-Orbach, A., & Mizrahi, B. (2018). A new volatile antimicrobial agent-releasing patch for preserving fresh foods. *Food Packaging and Shelf Life*, 18(January), 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.003>
- Sanla-Ead, N., Jangchud, A., Chonhenchob, V., & Suppakul, P. (2011). Antimicrobial Activity of Cinnamaldehyde and Eugenol and Their Activity after Incorporation into Cellulose-based Packaging Films. *Packaging and Technology and Science*, 29(June), 399–412. <https://doi.org/10.1002/pts>
- Schumacher, J. (2017). How light affects the life of Botrytis. *Fungal Genetics and Biology*, 106(June), 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2017.06.002>
- Shao, P., Liu, L., Yu, J., Lin, Y., Gao, H., Chen, H., & Sun, P. (2021). An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring. *Trends in Food Science and Technology*, 118(PA), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.012>

- Snyder, A. B., & Worobo, R. W. (2018). The incidence and impact of microbial spoilage in the production of fruit and vegetable juices as reported by juice manufacturers. *Food Control*, 85, 144–150. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2017.09.025>
- Sohail, M., Sun, D. W., & Zhu, Z. (2018). Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2650–2662. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1449731>
- Song, X. C., Canellas, E., Wrona, M., Becerril, R., & Nerin, C. (2020). Comparison of two antioxidant packaging based on rosemary oleoresin and green tea extract coated on polyethylene terephthalate for extending the shelf life of minced pork meat. *Food Packaging and Shelf Life*, 26(October), 100588. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100588>
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos* (FAO (Ed.)).
- Treid. (2020). *Colombia, líder mundial en la exportación de uchuvas en 2019*. <https://www.treid.co/post/colombia-lider-mundial-en-la-exportacion-de-uchuvas-en-2019>
- Tripathi, A. D., Sharma, R., Agarwal, A., & Haleem, D. R. (2021). Nanoemulsions based edible coatings with potential food applications. *International Journal of Biobased Plastics*, 3(1), 112–125. <https://doi.org/10.1080/24759651.2021.1875615>
- Umaraw, P., Munekata, P. E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P., & Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science and Technology*, 98(August 2019), 10–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.032>
- Valverde, J. M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., & Valero, D. (2005). Improvement of table grapes quality and safety by the combination of modified atmosphere packaging (MAP) and eugenol, menthol, or thymol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(19), 7458–7464. <https://doi.org/10.1021/jf050913i>
- Varghese, S. A., Siengchin, S., & Parameswaranpillai, J. (2020). Essential oils as antimicrobial agents in biopolymer-based food packaging - A comprehensive review. *Food Bioscience*, 38(October), 100785. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100785>
- Wang, F., Wang, L., Zhang, X., Ma, S., & Zhao, Z. (2022). Enhancement of oil resistance of cellulose packaging paper for food application by coating with materials derived from natural polymers. *Journal of Food Engineering*, 111039. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2022.111039>
- Wilbey, A. (2013). *Emerging Food Packaging Technologies*. Woodhead Publishing Ltd.
- Wrona, M., Silva, F., Salafranca, J., Nerín, C., Alfonso, M. J., & Caballero, M. Á. (2021). Design of new natural antioxidant active packaging: Screening flowsheet from pure essential oils and vegetable oils to ex vivo testing in meat samples. *Food Control*, 120(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107536>
- Xiang, Y., Xu, R. G., & Leng, Y. (2022). How alginate monomers contribute to organic fouling on polyamide membrane surfaces? *Journal of Membrane Science*, 643, 120078.

- <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2021.120078>
- Yang, W., Weng, Y., Puglia, D., Qi, G., Dong, W., Kenny, J. M., & Ma, P. (2020). Poly(lactic acid)/lignin films with enhanced toughness and anti-oxidation performance for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 102–110. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.12.085>
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2017). Active packaging applications for food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17 (1).
- Zhao, W., Liang, X., Wang, X., Wang, S., Wang, L., & Jiang, Y. (2022). Chitosan based film reinforced with EGCG loaded melanin-like nanocomposite (EGCG@MNPs) for active food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 290, 119471. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2022.119471>
- Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.002>

2. Capítulo II. Evaluación *in vitro* del efecto de diferentes compuestos antimicrobianos de origen vegetal en fase de vapor contra microorganismos causantes de deterioro en uchuva fresca

Resumen

Se analizaron frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) recién cosechados y provenientes de Ventaquemada, Boyacá para inicialmente identificar el microorganismo preponderante causante de deterioro en estas bayas. Una vez identificado el microorganismo se hicieron pruebas *in vitro* para establecer el efecto antimicrobiano y la concentración mínima inhibitoria (CMI) de tres compuestos naturales: 2-nonanona, cinamaldehído y aceite esencial de orégano; incluyendo temperaturas de almacenamiento de 6 °C para refrigeración y 23 °C para temperatura ambiente. Para determinar la CMI se prepararon contenedores herméticos de 2200 cm³ en los cuales se dispusieron 10 µL de un inóculo de 1 x 10⁶ conidios cm⁻³ del moho objeto de estudio en un cultivo de agar papa dextrosa (PDA) en cajas de Petri. En otra caja de Petri se dispuso cada compuesto antimicrobiano en cantidades entre 0,476 mg/cm³ y 2,38 µg/cm³. De acuerdo con análisis realizados para los microorganismos de la uchuva proveniente de la región de Ventaquemada, el más preponderante es *Botrytis cinerea*. Respecto a las pruebas con los antimicrobianos, la menor concentración inhibitoria fue de 2,38 µg/cm³ de espacio de cabeza para el cinamaldehído durante un periodo de 40 días de almacenamiento a 23 °C. El aceite esencial de orégano mostró resultados favorables con CMI de 23,81 µg/cm³ de espacio de cabeza, mientras que la 2-nonanona solo fue efectiva a concentraciones mayores.

Palabras clave: *Physalis peruviana* L., *Botrytis cinerea*, 2 nonanona, cinamaldehído, aceite esencial de orégano.

2.1 Introducción

La demanda por el uso de aditivos naturales y la necesidad de preservación en alimentos ha generado en los últimos años un aumento en el número de estudios basados en extractos vegetales antimicrobianos. La mayoría de estas alternativas naturales a los conservantes sintéticos investigados en estudios recientes son extractos vegetales en forma cruda o purificada, llamados aceites esenciales (Carolina Villegas et al., 2017; Bouarab Chibane et al., 2019; Mostafidi et al., 2020). Esos extractos pueden servir como una fuente alternativa de compuestos antimicrobianos en términos de migración de volátiles, a partir de los cuales pueden desarrollarse sistemas de empaque con aplicaciones para alimentos altamente porosos, en polvo, triturados, de forma irregular y en partículas (Han, 2005). Fungicidas y compuestos antimicrobianos sintéticos no deseados pueden ser reemplazados con la incorporación de estos agentes naturales sobre la superficie interna del empaque o en elementos de liberación independiente con 'sachets' o almohadillas (Han, 2005; Almenar et al., 2009). Algunos de los compuestos de origen vegetal que más se han estudiado en los últimos años son los extractos vegetales complejos y los aceites esenciales además de compuestos puros como terpenoides, polifenoles y alcaloides (Bouarab Chibane et al., 2019; El-Saber Batiha et al., 2021; Álvarez-Martínez et al., 2021).

En esta investigación se evaluó el comportamiento de tres compuestos con características antimicrobianas sobre el moho *Botrytis cinerea* el cual es un microorganismo causante de deterioro en uchuva. Los compuestos antimicrobianos fueron cinamaldehído proveniente de la canela (Manso et al., 2015; Suppakul, 2016), 2-nonanona de fuentes vegetales como las fresas, frambuesas o la ruda (Rojas et al., 2015; Abarca et al., 2017) y carvacrol-timol como compuestos mayoritarios en el aceite esencial de orégano (Manso et al., 2015; Pisoschi et al., 2018; Canales et al., 2019). Estos agentes fueron escogidos por ser aditivos generalmente reconocidos como seguros para el consumo humano y por su capacidad de ser volatilizados en el sistema de empaque sin perder sus características antimicrobianas, lo que permite reducir el contacto directo con el producto y de este modo minimizar cambios en la calidad sensorial.

2.1.1 Cinamaldehído

Como aldehído aralifático, el cinamaldehído (3-fenil-2-propenal), C_9H_8O , es uno de los principales componentes de los aceites de canela y casia (Suppakul, 2016). Es un compuesto biológicamente activo presente en el aceite esencial del género *Cinnamomun*, que es responsable del aroma y el sabor característicos de la canela, además de ser un inhibidor activo del crecimiento bacteriano, de las levaduras y de los filamentos (Villegas et al., 2019). Ejerce efectos inhibitorios sobre la actividad de las ATPasas, la biosíntesis de la pared celular y la alteración de la estructura e integridad de la membrana, podría desempeñar un papel fundamental en la inhibición de la bomba de eflujo así como inhibir la producción de toxinas por parte de los microorganismos (Ahmad et al., 2011; Villegas et al., 2017; Doyle & Stephens, 2019). En las bacterias, estudios revelan actividad antimicrobiana bactericida (De Souza et al., 2014) e inhibición de la producción de enzimas esenciales y daños en las paredes celulares (Sanla-Ead et al., 2011). Smid et al. (1996) observaron el daño de la membrana citoplasmática de *Saccharomyces cerevisiae* cuando se trató con cinamaldehído, lo que provocó una fuga excesiva de metabolitos y enzimas de la célula y, finalmente, la pérdida de viabilidad. Los terpenos, como el cinamaldehído, han demostrado la capacidad de modificar el perfil lipídico de la membrana plasmática bacteriana, induciendo un aumento de la presencia de ácidos grasos saturados que da lugar a un incremento de la rigidez, probablemente desencadenado en respuesta a la acción fluidificante del terpeno. Este fenómeno desencadena la despolarización de la membrana, la pérdida de su integridad, la reducción de la actividad respiratoria y la coagulación del material citoplasmático (Álvarez-Martínez et al., 2021).

2.1.2 2-Nonanona

La 2-nonanona (metil heptil cetona) es un compuesto antifúngico con baja toxicidad, de olor agradable, afrutado/floral, con resistencia a la descomposición rápida, volatilidad adecuada, aceptabilidad ambiental y un alto potencial de desarrollo comercial, además de retardar y prevenir la descomposición de la fruta entera (Almenar et al., 2007). Abarca et al. (2017) explican que, la 2-nonanona es un compuesto aromático volátil presente de forma natural en las fresas y frambuesas. Esta cetona es un compuesto antifúngico que ha sido reportado como un compuesto activo para controlar el crecimiento de *B. cinerea*. El estudio de Calvo et al. (2020) demostró que la 2-nonanona inhibió el crecimiento de *B. cinerea* con una CMI de 0,025

mL L⁻¹ de espacio de cabeza. Se podría sugerir que la mayor producción de acetaldehído por parte de la fruta en respuesta a la inserción de 2-nonanona ayuda a controlar la descomposición de *Botrytis*, ya que se ha sugerido que el acetaldehído altera las membranas celulares de *B. cinerea* como primer paso hacia la inhibición de la actividad del hongo inducida por la fuga de electrolitos, azúcares y aminoácidos del hongo (Avisar et al., 1990). Por otra parte, Rojas et al. (2015) indicaron que la 2-nonanona es uno de los principales componentes del aceite esencial de *Ruta graveolens* L., conocido comúnmente como ruda. La ruda y sus componentes han recibido una atención considerable porque ha mostrado actividades fungicidas y fungistáticas sobre varios hongos, aunque no muestra la mayor eficacia en el retraso o la inhibición del crecimiento de los hongos. De este modo, la 2-nonanona tiene varias ventajas que la proponen como un antimicrobiano muy útil para el empaque de alimentos, debido a su baja toxicidad (LD₅₀ = 3200 mg/kg⁻¹), resistencia a la descomposición rápida, olor afrutado agradable y una volatilidad adecuada, que permiten su liberación fiable. Una de las desventajas del compuesto activo 2-nonanona es su alta volatilidad y termo-labilidad, por lo que es necesario un sistema de protección (Abarca et al., 2016).

2.1.3 Aceite esencial de orégano (carvacrol/timol)

El aceite esencial de orégano compuesto principalmente por carvacrol y timol, cuyas cantidades varían según el origen (Burt, 2004), es un fenol monoterpénico que puede encontrarse desde trazas hasta el 80% en diversas especies. Tiene excelentes propiedades antioxidantes y antimicrobianas, dicha actividad antibacteriana se ha atribuido a sus considerables efectos sobre las propiedades estructurales y funcionales de la membrana del citoplasma (Canales et al., 2019). El timol (2-isopropil-5-metilfenol) conocido como "hidroxi cimeno" tiene una baja solubilidad en agua y una baja palatabilidad debido a su desagradable sabor y olor (Nieddu et al., 2014), también es el principal fenol monoterpénico que se encuentra en los aceites esenciales extraídos de plantas pertenecientes a la familia de las lamiáceas. Al poseer una naturaleza hidrofóbica, la solubilidad del timol es bastante baja en el dominio hidrofóbico de la membrana citoplasmática de las células bacterianas, entre las cadenas de acilo de los lípidos (Trombetta et al., 2005). El timol y el carvacrol han sido registrados por la Comisión Europea para su uso como aromatizantes en productos alimenticios debido a la ausencia de riesgo para la salud del consumidor (Marchese et al., 2016). Después de ciertas investigaciones, también se ha demostrado que el aceite esencial de

orégano es eficiente en sus características antidiabéticas, además de poseer propiedad antioxidante eficaz para retardar el proceso de eliminación de radicales libres y la peroxidación lipídica en alimentos grasos. Este gran potencial es suficiente para captar la atención de los investigadores de la tecnología de los alimentos y la medicina. (Leyva-López et al., 2017).

La alta volatilidad de los aceites esenciales puede llegar a representar una desventaja que limite su aplicación en el empaque activo de alimentos. Por ello, la búsqueda de estrategias que eviten la rápida liberación de este tipo de compuestos es una necesidad (Abarca et al., 2017). Al fijar el componente apropiadamente al material de empaque o incluirlo en matrices de liberación que controlen la velocidad de su evaporación desde donde sea contenido, son formas de mediar dicha volatilidad. Debido a la acción inhibidora específica de los agentes antimicrobianos contra determinados microorganismos, es vital determinar la cantidad requerida del agente activo a añadir para conseguir un efecto eficaz. Es decir, es esencial seleccionar por tipo de alimento o matriz un agente antimicrobiano ideal y específico y un empaque con una cantidad ajustada teniendo en cuenta su concentración mínima inhibitoria contra los microorganismos objetivo (Chawla et al., 2021).

2.2 Metodología

2.2.1 Material vegetal

Frutos de uchuva ecotipo Colombia fueron cosechados en su estado de madurez fisiológica de plantas con una edad de 9 meses de la región de Ventaquemada (vereda Siatá). La fase de campo se realizó en el municipio de Ventaquemada, en la vereda del Carmen del departamento de Boyacá-Colombia, ubicada a los 5°21'59"N y 73°31'19"O a 2630 m.s.n.m.

2.2.2 Aislamiento e identificación de microorganismos causantes de deterioro en frutos de uchuva fresca

Se recibieron tres réplicas de uchuva con capacho y se les asignó la denominación réplica 1 como UA, réplica 2 como UB y réplica 3 como UC. Los frutos fueron lavados suavemente con agua destilada estéril durante 1 o 2 minutos para retirar cualquier partícula extraña sin afectar

su capa cerosa. Esto teniendo en cuenta que los lavados concentrados facilitan la susceptibilidad al deterioro de este tipo de frutas pues se retira flora microbiana que suprime el crecimiento de mohos patógenos (Sharma et al., 2019) y para el caso particular de la uchuva, la resina natural que los cubre y protege; además, con esto se acelera la maduración porque se aumenta la velocidad de respiración (Fischer et al., 2014). Una vez lavados, los frutos fueron puestos sobre papel filtro estéril y se dejaron secar al ambiente. Seguidamente, las muestras fueron organizadas para su procesamiento y como diagnóstico inicial, se realizó un análisis microbiológico por siembra en profundidad y duplicado para mesófilos de acuerdo con el método AOAC Ed. 20 2016 966.23-C:2005 en medio de cultivo SPC (Standard Plate Count) (Oxoid, Inglaterra) y mohos y levaduras con el método ICMSF Vol. 1 2000 en tres medios de cultivo: Sabouraud (TM Media, India), PDA (agar papa dextrosa) (Scharlau, España) y OGY (agar oxitetraciclina gentamicina extracto de levadura glucosa) (Oxoid, Inglaterra) reportando los resultados para este último por presentar mejor repetibilidad.

Con algunos frutos se prepararon contramuestras que fueron almacenadas a temperatura ambiente (18 ± 2 °C) para volver a analizar en cuanto se detectaran síntomas de deterioro causado por microorganismos sobre su superficie. Para cuando esto sucedió, se realizó nuevamente el análisis microbiológico por siembra en profundidad para mesófilos en medio de cultivo SPC y mohos y levaduras en OGY por duplicado y dilución hasta 10^{-3} . Así mismo, se caracterizaron los microorganismos aislados microscópicamente mediante la técnica de coloración de Gram para el caso de las bacterias y montaje con azul de lactofenol, microcultivos y correlación con uso de claves dicótomas para el caso de los hongos (previa purificación en caldo tripton de soya (Oxoid, Inglaterra) y agar tripton de soya (Merck, Alemania) en bacterias y pase a agar papa dextrosa (Sharlau, España) en hongos).

Los ensayos anteriores fueron complementados por un análisis molecular para identificar específicamente los microorganismos encontrados en las muestras evaluadas y se realizó sobre tres aislamientos fúngicos y un aislamiento bacteriano. La identificación bacteriana se realizó aislando y purificando el ADN, amplificando el gen ribosomal 16S mediante la técnica de PCR y purificando los fragmentos de PCR y secuenciación mediante método Sanger utilizando los iniciadores 337F, 518F, 800R, y 1100R del gen ribosomal 16S. Al obtener la secuencia problema, se realizó análisis taxonómico mediante la herramienta BLAST del NCBI

(*National Center for Biotechnology Information*). Para el caso de los hongos, se aisló y purificó el DNA, se amplificó por PCR con los iniciadores ITS4 e ITS5 de la región genética denominada ITS (*Internal Transcribed Spacer*) del ADN ribosomal fúngico. Se purificaron dichos fragmentos por PCR y secuenciaron mediante método Sanger con los iniciadores ITS4 e ITS5. Al obtener la secuencia problema, el análisis taxonómico se realizó mediante la herramienta BLAST del NCBI comparando contra la colección de nucleótidos (nr/nt) de la misma organización.

2.2.3 Selección de compuestos antimicrobianos en fase de vapor

Como se mencionó en la introducción, para reducir el deterioro de los frutos de uchuva causado por microorganismos, se consideró el uso de componentes antimicrobianos con capacidad de actuación en fase de vapor, aprobados internacionalmente para su aplicación segura en alimentos, reportados en la literatura y de fácil acceso en el mercado colombiano. Se evaluaron pues cinamaldehído (Sigma-Aldrich, Germany), 2-nonanona (Sigma-Aldrich, Germany), y aceite esencial de orégano (74.2% carvacrol) (doTerra International, USA); sus especificaciones se muestran en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Especificaciones de los compuestos antimicrobianos empleados para el control del deterioro microbiano en uchuva.

ESPECIFICACIONES	COMPUESTO ANTIMICROBIANO		
	Cinamaldehído	2-nonanona	Aceite esencial orégano <i>Origanum vulgare</i>
Fabricante	Sigma-Aldrich	Sigma-Aldrich	doTERRA
Referencia/Lote	W228613/SHBL8033	W278505/MKCG6932	International
Expiración	2024.12	2023.06	171785F/2022.06
Fuente biológica	Natural (aceite de casia)	Sintético	Natural
Pureza	≥95%	>99%	>99%
Grado	Food Grade Halal Kosher	Food Grade Kosher	Food Grade
Cumplimiento de la normativa	EU Regulation 1223/2009 EU Regulation 1334/2008 & 178/2002 FDA 21 CFR 117 FDA 21 CFR 182.60	EU Regulation 1334/2008 & 178/2002 <i>Food Chemicals Codex</i> (FCC) FDA 21 CFR 172.515	Generally Recognized As Safe (GRAS)
Forma	Líquida	Líquida	Líquida
Presentación y costo	Desde 100 g en botella de vidrio por 73.12 USD/EUR	Desde 250 g en botella de polietileno por 120.85 USD/EUR	Frasco por 15 mL 88.834 COP

2.2.4 Ensayos *in vitro* (sistema cerrado y concentración mínima inhibitoria)

2.2.4.1 Estandarización del inóculo

Las suspensiones celulares provenientes del cultivo “moho UB” se prepararon entre 13 y 15 días de incubación a 25 °C en medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA; Scharlau, España). Se adaptaron la técnicas descrita por Vivas & Rodríguez (1998) y Avila-Sosa et al. (2012) al cubrir la caja incubada con 2 cm³ de solución salina estéril (8,5 g/dm³ NaCl) y se frotó la superficie con un asa para desprender el moho. Se extrajo con una pipeta Pasteur estéril, se transfirió a un tubo Eppendorf estéril y se dejó sedimentar por 20 minutos. El sobrenadante se

homogeneizó y con un hemocitómetro o cámara de Neubauer se prepararon suspensiones de trabajo de 1×10^6 conidios cm^{-3} . Dicho rango de suspensión coincide con estudios similares desarrollados con *Botrytis cinerea* (Soylu et al., 2010; Camele et al., 2012; Abbaszadeh et al., 2014; Guerreiro et al., 2015; Manso et al., 2015; Canales et al., 2019).

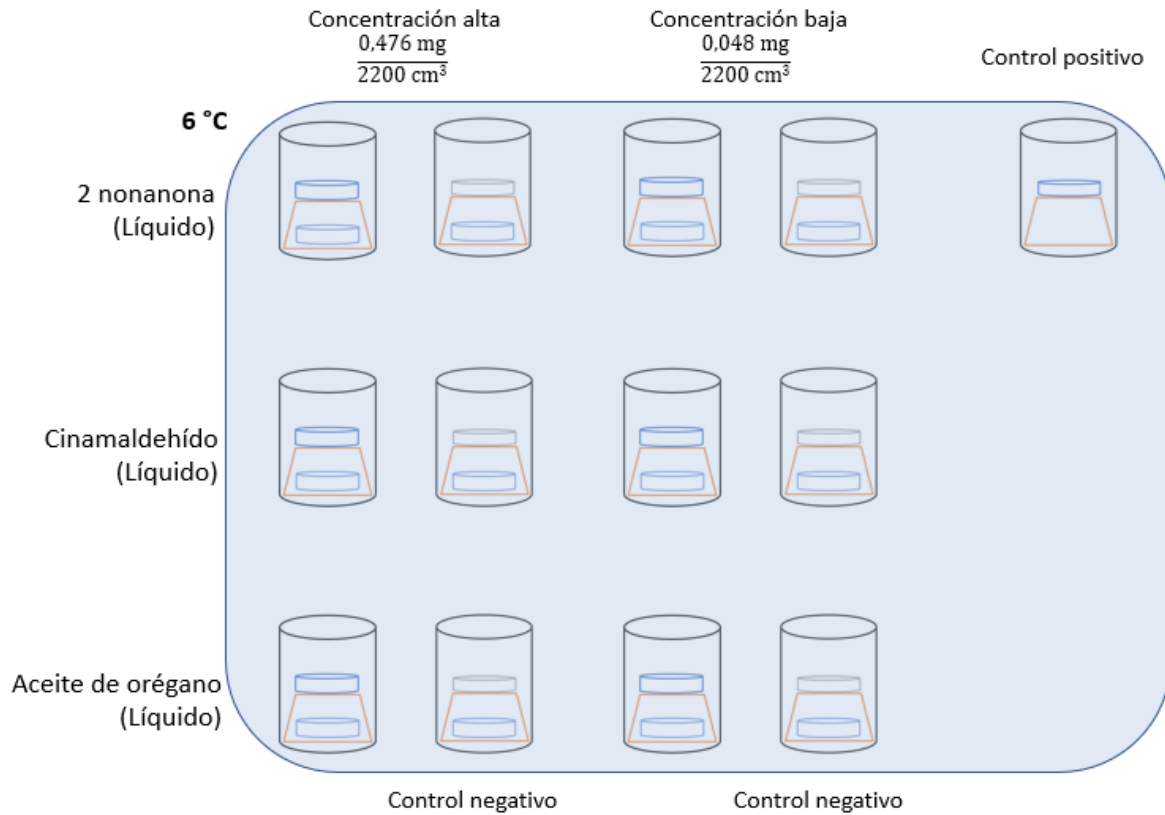
2.2.4.2 Evaluación de la actividad antimicrobiana

2.2.4.2.1 Montaje 1 (dos concentraciones)

Una vez estandarizado el inóculo, se procedió a realizar el primer montaje *in vitro* en un sistema cerrado compuesto por recipientes de material acrílico y herméticos con un volumen interno de 2200 cm^3 (Felli®, Taipei, Taiwán) previamente desinfectados con alcohol al 70%. En cada recipiente se incluyó una etiqueta de platino para hacer el seguimiento de la concentración de O_2 con un analizador óptico portable OpTech-O2 Model P (Mocon Ametek, USA). De este modo fue asegurado que el sistema no alcanzara niveles de anaerobiosis por el agotamiento del O_2 .

En una caja de Petri pequeña (60 x 15 mm) se depositó el compuesto antimicrobiano evaluando dos cantidades inicialmente (alta de 0,476 mg y baja de 0,048 mg) y se introdujo en la parte inferior del recipiente hermético de prueba. En la parte media del recipiente y sostenida por un pedestal plástico en forma de canastilla rígida, se introdujo una caja de Petri grande (100 x 15 mm) con medio de cultivo PDA (Figura 2-1). Para cada compuesto y concentración evaluados se preparó un control negativo (medio de cultivo PDA sin inóculo y con compuesto) y un control positivo (medio de cultivo PDA con 10 μL de inóculo y sin compuesto).

Figura 2-1: Diseño experimental para el ensayo preliminar del control antimicrobiano con 2-nonanona, cinamaldehído y aceite de orégano.



Fuente: Autor.

Una vez dispuestas ambas cajas de Petri (cultivo PDA y compuesto antimicrobiano) en cada recipiente, estas se sellaron herméticamente y se almacenaron en una cámara de almacenamiento a 6 ± 1 °C permitiendo que los compuestos antimicrobianos se pudieran volatilizar completamente dentro del espacio de cabeza de los recipientes (Figura 2-3) obteniendo para este ensayo concentraciones efectivas de 0.476 (alta) y 0.048 (baja) mg/cm³ de espacio de cabeza del sistema cerrado. Se incluyó también un control positivo con inóculo, pero sin compuesto antimicrobiano. Para este ensayo inicial se escogió una temperatura de 6 °C debido a que es la temperatura de refrigeración usual para los frutos de uchuva. El ensayo se mantuvo hasta observar crecimiento de microorganismos en las cajas de Petri con cultivo PDA.

Figura 2-2: Montaje del sistema cerrado de cierre hermético con caja de Petri de vidrio en la base. Contiene el compuesto antimicrobiano y canastilla plástica que sostiene una caja de Petri desechable con medio de cultivo PDA e inóculo del moho objeto de estudio.



Fuente: Autor.

Figura 2-3: Montaje 1 en cámara de refrigeración, evaluación de tres compuestos a dos concentraciones.



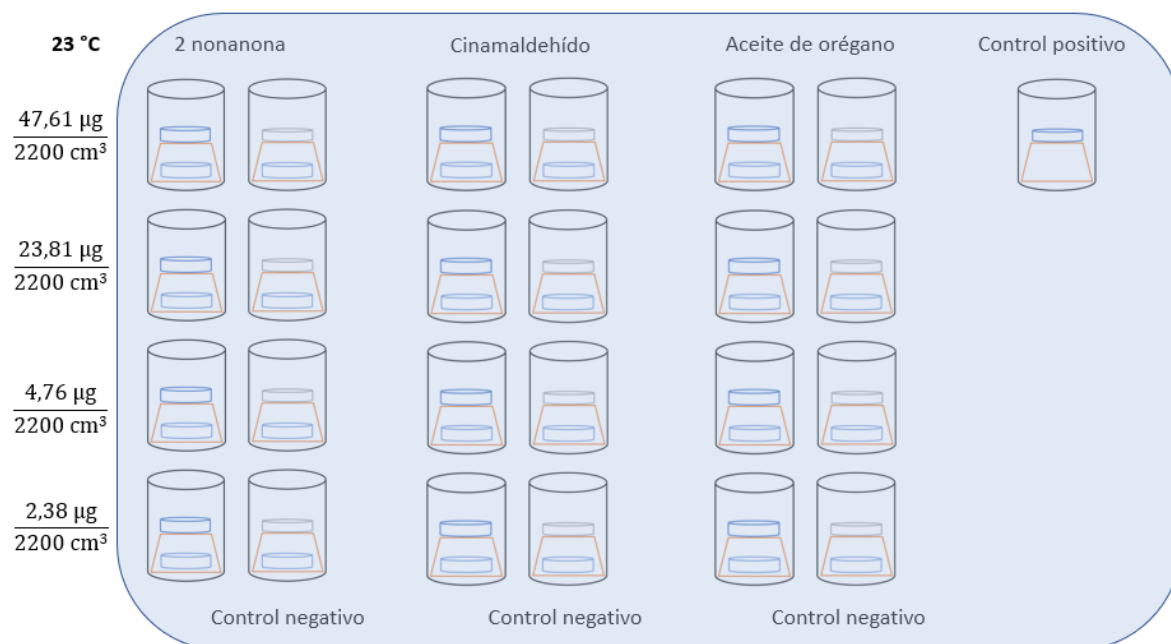
Fuente: Autor.

2.2.4.2.2 Montaje 2 (cuatro concentraciones)

Como en el montaje 1 no se observó crecimiento microbiano alguno y el patógeno objetivo solo se desarrolló en el control positivo, se realizó un segundo ensayo modificando únicamente las variables de temperatura de almacenamiento y concentración de los compuestos. La

temperatura se aumentó a 23 ± 2 °C (temperatura ambiente de referencia) y se evaluaron concentraciones altas de 47,61 y 23,81 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza y concentraciones bajas de 4,76 y 2,38 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza. El arreglo experimental se muestra en las Figuras 2-4 y 2-5.

Figura 2-4: Arreglo experimental para el segundo ensayo de control de antimicrobiano con 2-nonanona, cinamaldehído y aceite de orégano.



Fuente: Autor.

Figura 2-5: Montaje 2 en cámara a 23 ± 2 °C, evaluación de tres compuestos a cuatro concentraciones.



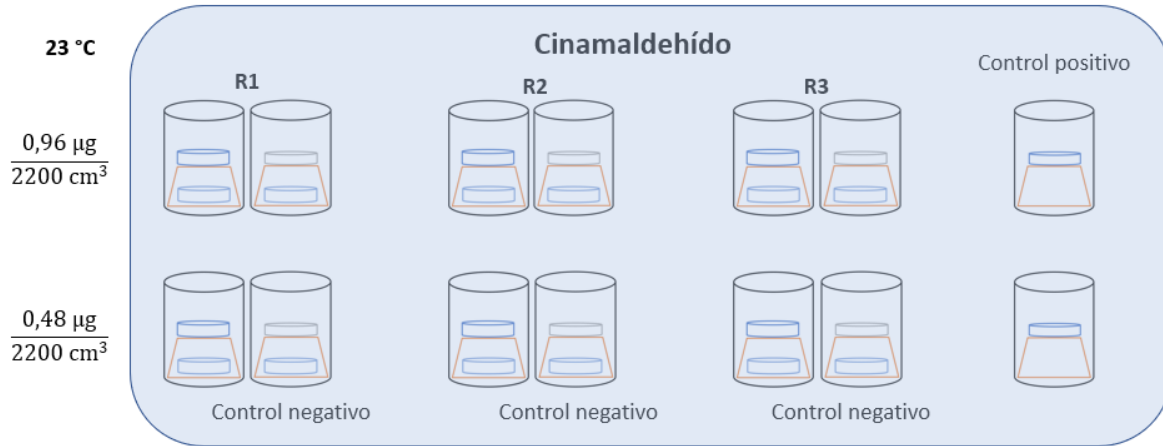
Fuente: Autor.

A partir de los resultados evidenciados, y el tamaño, tipo y cantidad de colonias que crecieron en cada cultivo, se estableció el compuesto con mayor capacidad para controlar el crecimiento del microorganismo preponderante en el deterioro de uchuva (ver sección de resultados).

2.2.4.2.3 Montaje 3

Se realizó un último ensayo cualitativo en el que conservando las mismas características que en el montaje 2, solo se emplearon dos concentraciones inferiores a las estudiadas anteriormente para el compuesto más activo (que resultó ser cinamaldehído como se describe en la discusión de resultados). Las concentraciones empleadas fueron 0,96 y 0,48 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza del recipiente hermético (Figura 2-6).

Figura 2-6: Arreglo experimental para el tercer ensayo de control de antimicrobiano con el compuesto más activo en dos concentraciones bajas.



Fuente: Autor.

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Microorganismos causantes de deterioro en frutos de uchuva fresca

En la prueba inicial para el análisis de mesófilos, la denominación “moho UB” (réplica 2) fue la más abundante con una concentración de 120 UFC/cm³.

Tabla 2-2: Recuento inicial de mesófilos en los frutos de uchuva provenientes de Ventaquemada, Boyacá.

Muestra	Diluciones			Reporte UFC/cm ³
	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	
UA	5	0	0	50
UB	12	0	0	120
UC	6	0	0	60
Control medio	0			<10

Así mismo, se visualizaron las características macroscópicas que se muestran en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Características macroscópicas de los microorganismos detectados en los frutos de uchuva.

Muestra	Características
UA	Colonias entre 1-3 mm de diámetro de color blanco opaco.
UB	Colonias entre 1-4 mm de diámetro de color blanco y aspecto cremoso y 1 colonia de 1 cm de diámetro de color amarillo y cremosa.
UC	Colonias entre 1-4 mm de diámetro blanca cremosa.

Respecto a los mohos y levaduras, se encontraron los recuentos descritos en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Recuento inicial de mohos y levaduras para los frutos de uchuva provenientes de Ventaquemada, Boyacá.

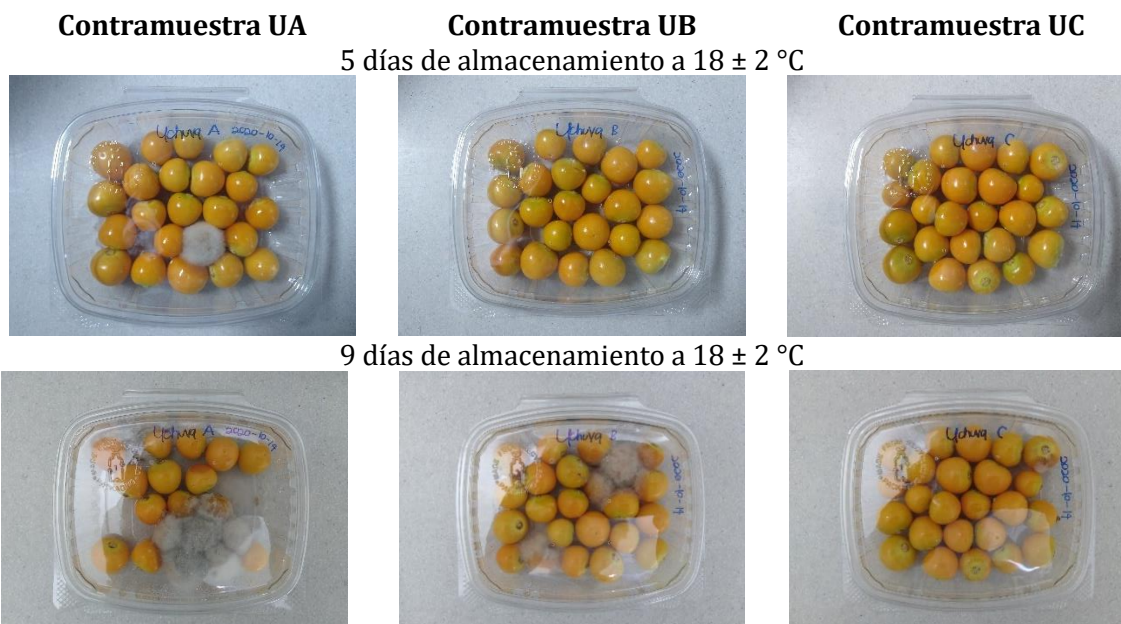
Muestra	Diluciones						Reporte UFC/cm³	
	10 ⁻¹		10 ⁻²		10 ⁻³		Mohos	Levaduras
	M	L	M	L	M	L		
UA	26	30	4	6	0	1	260	300
UB	23	4	5	3	1	2	230	40
UC	12	24	2	3	0	0	120	240
Control medio			0					<10

Y se observaron las características macroscópicas que se muestran en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5: Características macroscópicas de los hongos detectados en el análisis inicial para los frutos de uchuva provenientes de Ventaquemada, Boyacá.

Muestra	Características
UA	Mohos de color blanco algodonoso, blanco arenoso, verde opaco arenoso y verde oscuro arenoso. Colonias de color blanco y rosado de apariencia cremosa.
UB	Mohos de color blanco algodonoso y verde opaco arenoso. Colonias de color blanco y rosado de apariencia cremosa.
UC	Mohos de color blanco algodonoso, verde opaco arenoso y verde oscuro arenoso. Colonias de color blanco y rosado de apariencia cremosa.

A partir del día 5 para la muestra UA y del día 9 para las muestras UB y UC, se detectó evidencia de contaminación fúngica y daño en los frutos de uchuva almacenados en condiciones ambientales, por lo que se procesaron bajo los métodos descritos anteriormente (Figura 2-7).

Figura 2-7: Detección de deterioro en muestras de uchuva fresca.

Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos para el análisis de mesófilos se observan en la Tabla 2-6, donde se evidencia un notable incremento en la concentración de UFC respecto al día inicial. Por otra parte, las características macroscópicas (Tabla 2-7) son similares a las observadas en el primer procesamiento.

Tabla 2-6: Recuento para mesófilos en frutos de uchuva luego de 9 días a temperatura ambiente.

Muestra	Diluciones			Reporte UFC/cm ³
	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	
UA	>300	>300	166	166.000
UB	>300	233	47	47.000
UC	>300	135	8	8.000
Control medio	0			<10

Tabla 2-7: Características macroscópicas en frutos de uchuva después de 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Muestra	Características
UA	Colonias entre 1-2 mm de diámetro de color blanco cremoso.
UB	Colonias entre 1-2 mm de diámetro de color blanco cremoso y 1 colonia de 4 mm de diámetro de color amarillo y cremosa.
UC	Colonias entre 1-2 mm de diámetro de color blanco cremoso.

Dicha tendencia se mantuvo también en el análisis de los hongos, especialmente en la concentración de las levaduras, a excepción de la muestra UA en la que no hubo recuento para mohos (Tabla 2-8).

Tabla 2-8: Recuento de mohos y levaduras para los frutos de uchuva después de 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Muestra	Diluciones						Reporte UFC/cm ³	
	10 ⁻¹		10 ⁻²		10 ⁻³		Mohos	Levaduras
	M	L	M	L	M	L		
UA	0	>300	0	>300	0	>300	<10	>300
UB	28	>300	9	>300	3	128	280	>300
UC	69	>300	40	115	2	18	690	>300
Control medio			0				<10	

A nivel macroscópico, la única diferencia respecto a lo que se había encontrado en el análisis inicial fueron las levaduras de color rosado ausentes en las muestras UA y UB.

Tabla 2-9: Características macroscópicas de los hongos detectados para los frutos de uchuva después de 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Muestra	Características
UA	Colonias de color blanco cremoso y de tamaño pequeño.
UB	Colonias blancas cremosas entre 1-5 mm de diámetro. Dos tipos de moho: uno de centro amarillo verdoso y borde blanco arenoso y algunas colonias con gotas pequeñas de agua “cristales” y otro de color blanco café verde algodonoso.
UC	Colonias de color blanco y cremoso entre 1-4 mm de diámetro y de color beige salmón cremoso entre 1-3 mm de diámetro. Moho de centro amarillo blanquecino y borde verde entre 3-6 mm de diámetro.

Como la microscopía de la muestra UA tanto en bacterias como en hongos coincidió con la de las otras dos muestras, solo se analizaron molecularmente éstas últimas (Tabla 2-10).

Tabla 2-10: Microorganismos principales identificados en los frutos de uchuva provenientes de la región de Ventaquemada, Boyacá.

Tipo de microorganismo	Código interno	Microorganismo	Características microscópicas
Moho	UB	<i>Botrytis cinerea</i>	Hifas dematiáceas septadas, conidias en racimos.
Moho	UC(M)	<i>Penicillium cyclopium</i>	Hifas septadas hialinas, conidióforo ramificado formando cadenas de esporas.
Levadura	UC(L)	<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	Células de gran tamaño ovaladas de color violeta.
Bacteria	U(BA)	<i>Pantoea sp.</i>	Bacilos Gram negativos

Botrytis cinerea causante de la enfermedad del moho gris, es el segundo hongo fitopatógeno más importante del mundo con capacidad de infectar muchas frutas importantes, como la uva, la fresa, la manzana (He et al., 2019b) y la uchuva (Erper et al., 2015; Fischer et al., 2014; Novoa et al., 2006). Este patógeno vegetal causa enfermedad en más de 500 especies de plantas, presenta actividad necrótropa pues provoca la muerte celular del huésped antes de descomponer el tejido de la planta para promover su propio crecimiento y reproducción (Schumacher, 2017) y es difícil de controlar porque tiene una gran variedad de modos de ataque, diversos hospedadores como fuentes de inóculo, y puede sobrevivir como micelio y/o conidios o durante largos periodos como esclerocios en los restos del cultivo (Williamson et

al., 2007). También se describen infecciones sistémicas y asintomáticas indicando comportamientos de tipo endófito (Van Kan et al., 2014). Considerando su relevancia e implicaciones en la agricultura, se decidió continuar la siguiente fase de experimentación evaluando el efecto de los compuestos antimicrobianos seleccionados sobre la cepa identificada de este moho denominada inicialmente como “UB.”

2.3.2 Estudio de los compuestos preseleccionados

2.3.2.1 Montaje 1 (dos concentraciones)

A los ocho días del montaje, es visible la humedad al interior de los frascos y el siguiente comportamiento por compuesto descrito en la Tabla 2-11.

Tabla 2-11: Comportamiento de los compuestos preseleccionados.

Compuesto	Concentración alta 0,476 mg/cm ³	Concentración baja 0,048 mg/cm ³
2 nonanona	Sin crecimiento microbiano, no se visualiza el compuesto en la dosis baja.	
Control negativo		
Cinamaldehído	Sin crecimiento microbiano, sí se visualiza el compuesto en ambas dosis, reducido en la dosis alta.	
Control negativo		
Aceite esencial de orégano	Sin crecimiento microbiano, se visualiza el compuesto en ambas dosis.	
Control negativo		





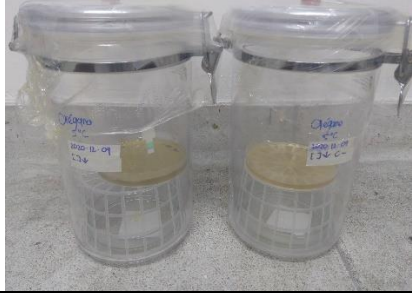
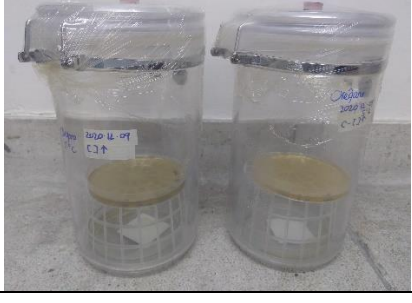
Figura 2-8: Control positivo montaje 1 (sin antimicrobiano con cepa).fgsg



Fuente: Autor.

Transcurridos 37 días del montaje, el único crecimiento visible del patógeno fue en el frasco correspondiente al control positivo, con una colonización completa de la caja de Petri (Figura 2-8). Los frascos con compuestos antimicrobianos y controles negativos al no presentar actividad fúngica evidenciaron para el primer caso que la concentración empleada fue satisfactoria y para el segundo que el medio de cultivo no se contaminó (Figura 2-9). Así mismo, hasta finalizar el estudio se comprobó que el nivel de oxígeno al interior de los frascos era el suficiente para evitar falsos negativos por la carencia de este pues se obtuvieron resultados entre 15,8% y 19,3% de O_2 (en fracción molar) valores favorables para el desarrollo microbiano.

Figura 2-9: Montaje con 2-nonanona, cinamaldehído y aceite esencial de orégano con sus respectivos controles negativos.

Compuesto	Montaje con antimicrobiano y cepa	Montaje con antimicrobiano sin cepa (control negativo)
2-nonanona		
Cinamaldehído		
Aceite esencial de orégano		

Fuente: Autor.

Tabla 2-12: Crecimiento de mohos in vitro en los sistemas herméticos con compuestos antimicrobianos volatilizados a 6 ± 1 °C.

Tratamiento	Compuesto antimicrobiano		
	2-nonanona	Cinamaldehído	Aceite de orégano
0,476 mg/cm ³	-	-	-
Control negativo	-	-	-
0,048 mg/cm ³	-	-	-
Control negativo	-	-	-
Control positivo	+		

2.3.2.2 Montaje 2 (cuatro concentraciones)

A los 5 días del montaje, se observó crecimiento del patógeno no solo en el frasco correspondiente al control positivo (nuevamente con una colonización completa de la caja de Petri), sino también en las concentraciones 2,38 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 4,76 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ y 23,81 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de 2-nonanona cada una con sus respectivos controles negativos sin actividad fúngica. Ninguno de los otros dos compuestos presentó actividad alguna. Sin embargo, a partir del día 8 de almacenamiento, se detectó actividad fúngica en las concentraciones 2,38 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ y 4,76 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de aceite esencial de orégano. La Tabla 2-13 muestra el comportamiento hasta el día 40, día en el que se finalizó el estudio. El nivel de oxígeno al interior de los frascos se midió hasta concluir el ensayo y los resultados oscilaron entre 18,5% y 19,2%.

Tabla 2-13: Crecimiento de mohos in vitro en los sistemas herméticos con compuestos antimicrobianos volatilizados a 23 ± 2 °C.

Compuesto	Concentración $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	Tiempo de almacenamiento (días)				
		5	7	8	12	40
2-nonanona	47,61	-	-	-	+	+
	Control negativo 47,61	-	-	-	-	-
	23,81	+	+	+	+	+
	Control negativo 23,81	-	-	-	-	-
	4,76	+	+	+	+	+
	Control negativo 4,76	-	-	-	-	-
	2,38	+	+	+	+	+
	Control negativo 2,38	-	-	-	-	-
Cinnamaldehído	47,61	-	-	-	-	-
	Control negativo 47,61	-	-	-	-	-
	23,81	-	-	-	-	-
	Control negativo 23,81	-	-	-	-	-
	4,76	-	-	-	-	-
	Control negativo 4,76	-	-	-	-	-
	2,38	-	-	-	-	-
	Control negativo 2,38	-	-	-	-	-
Aceite esencial de orégano	47,61	-	-	-	-	-
	Control negativo 47,61	-	-	-	-	-
	23,81	-	-	-	-	-
	Control negativo 23,81	-	-	-	-	-
	4,76	-	-	+	+	+
	Control negativo 4,76	-	-	-	-	-
	2,38	-	-	+	+	+
	Control negativo 2,38	-	-	-	-	-
Control positivo		+				

El cinamaldehído ejerce efectos inhibitorios mediante la abstención de la actividad de las ATPasas, la biosíntesis de la pared celular y la alteración de la estructura e integridad de la membrana además afecta la biosíntesis del ergosterol y la producción de toxinas fúngicas. Como consecuencia de estos hechos, el cinamaldehído ha demostrado potencial actividad

antifúngica contra diferentes hongos (Shreaz et al., 2016; Qu et al., 2019; Niu et al., 2022). En el estudio de Šernaitė et al. (2020) se evaluó *in vitro* la inhibición de *B. cinerea* con cinamaldehído en hojas de fresa desprendidas y el crecimiento micelial del patógeno se inhibió por completo desde 600 $\mu\text{L L}^{-1}$, valor considerable a comparación del resultado obtenido en la configuración presentada con el montaje 2.

Los datos desfavorables con la 2-nonanona se pueden correlacionar con la investigación de Guo et al. (2019) quienes analizaron *in vitro* 21 monómeros orgánicos volátiles (entre ellos trans-cinamaldehído y 2-nonanona) para evaluar su actividad antifúngica contra *B. cinerea* obteniendo una concentración mínima inhibitoria (CMI) para trans-cinamaldehído de 62,5 $\mu\text{L L}^{-1}$ y para 2-nonanona de 125 $\mu\text{L L}^{-1}$, demostrando que el trans-cinamaldehído siendo al igual que el cinamaldehído compuestos derivados de la canela, presenta mejores resultados que la metil heptil cetona a concentraciones más bajas.

Hou et al. (2020) evaluaron la actividad antifúngica *in vitro* del aceite esencial de orégano (carvacrol 89.98%, β -cariofileno 3.34% y timol 2.39%), y los compuestos carvacrol y timol por separado contra el crecimiento del micelio de *B. cinerea*, donde la EC_{50} correspondió a 140.04, 9,09 y 21,32 mg/mL respectivamente. Por otra parte, el carvacrol y el timol inhibieron completamente la germinación de esporas de *B. cinerea* a la concentración de 300 mg/mL. Sin embargo, con la misma concentración, el aceite esencial de orégano no tuvo un efecto significativo en la tasa de germinación. Estos resultados indican que el carvacrol y el timol, como monómeros fenólicos, fueron los principales componentes fungicidas del aceite esencial de orégano y que el componente único tiene una mayor actividad antifúngica que su mezcla. Pero si hay efectos sinérgicos entre ellos y otros componentes que necesitan de más estudios. Sin embargo, aún en su forma individual, no superan los resultados obtenidos con el cinamaldehído. Ejemplo de ello se presenta en el estudio de Almasaudi et al. (2022) donde examinaron *in vitro* el potencial del aceite esencial de orégano y el aceite esencial de canela para controlar la enfermedad del moho gris en uvas utilizando concentraciones para reducir el crecimiento micelial entre 100 y 1000 $\mu\text{L/L}$ y donde las concentraciones más efectivas para ambos aceites fueron 800 y 1000 $\mu\text{L/L}$. Así mismo, ambos aceites redujeron la germinación de esporas a 800 $\mu\text{L/L}$. Además, minimizaron la gravedad de la enfermedad del moho en un 42% con el aceite de orégano y un 58,9% con el de canela y la concentración mínima inhibitoria fue de 200 y 100 $\mu\text{L/L}$ respectivamente. Por lo anterior, se elige al cinamaldehído como el

compuesto con mejor desempeño a menor cantidad de compuesto para evaluar su comportamiento en frutos frescos de uchuva.

2.3.2.3 Montaje 3

A los 3 días del montaje, se observó crecimiento del patógeno tanto en el control positivo como en las concentraciones 0,96 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ y 0,48 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de cinamaldehído, Para el día 32 de almacenamiento se encontró positiva una de las réplicas del control negativo para la concentración de 0,96 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ por lo que se decidió suspender el estudio hasta dicho tiempo, la Tabla 2-14 resume lo descrito.

Tabla 2-14: Crecimiento de mohos *in vitro* para las concentraciones 0,96 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ y 0,48 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de cinamaldehído volatilizados a 23 ± 2 °C.

Compuesto	Concentración $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	Tiempo de almacenamiento (días)					
		3			32		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3
Cinnamaldehído	0,96	+	+	+	+	+	+
	Control negativo 0,96	-	-	-	-	-	+
	0,48	+	+	+	+	+	+
	Control negativo 0,48	-	-	-	-	-	-
Control positivo		+					

2.3.3 Capacidad inhibitoria del compuesto seleccionado

Los tres montajes descritos anteriormente demostraron que tanto en condiciones de refrigeración (6 °C) como en temperatura moderada (23 °C), se observó crecimiento del microorganismo causante de deterioro para varios de los tratamientos evaluados además del control positivo. La 2-nonanona sería efectiva únicamente empleando la concentración 47,61 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza para un plazo de almacenamiento inferior a los 12 días. Con el aceite esencial de orégano se evidenció que concentraciones entre 23,81 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ y 47,61 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza podrían funcionar para inhibir *B. cinerea* en uchuva. Sin embargo, es el cinamaldehído quien supera al aceite esencial de orégano pues con una concentración de

al menos $2,38 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza, inhibió la totalidad del crecimiento de microorganismos luego de 40 días de almacenamiento en temperatura moderada. Dicha concentración se mantiene por debajo de los valores de ingesta diaria aceptados por la FDA y el Consejo de Europa correspondientes a $1,25 \text{ mg}/\text{kg}$ (Zhu et al., 2017).

En el estudio de (Niu et al., 2022) se evaluó la actividad antifúngica en fase de vapor del cinamaldehído con una concentración de $0,00625\text{-}1,6 \mu\text{L}/\text{mL}$ que mostró efectos antifúngicos contra *Aspergillus niger* HY2 aislado de arrozal. Y en donde la fase de vapor fue más eficaz que la fase líquida del compuesto. Los efectos antifúngicos y los mecanismos implicados en la fase de vapor aún no se conocen bien. Otro caso se muestra en la investigación de Huang et al. (2021) para determinar la actividad inhibidora del gas volátil de cinamaldehído en el aire utilizando placas de dicotomía. Cuando la concentración del gas volátil es de $250 \mu\text{L}/\text{L}$, este ejerció actividad antimicrobiana sobre todas las cepas probadas, en especial contra *Scedosporium apiospermum* con una tasa de inhibición del 100%, y contra *Fusarium solani* con una tasa de inhibición del 45% concluyendo que el cinamaldehído puede liberarse lentamente en un recipiente cerrado para lograr el efecto de una actividad antimicrobiana sostenida. Así mismo, Kardam et al. (2021) evaluaron la actividad antimicrobiana en fase de vapor de películas de poli(alcohol vinílico) (PVOH) cargadas de cinamaldehído (CINN) contra *Bacillus subtilis* y *Escherichia coli*. La retención de CINN en la película se estudió mediante un método basado en la espectroscopia UV-vis y se comprobó que sólo $5,59 \mu\text{L}$ de CINN/g de película retenida en el film eran suficientes para conservar las vainas de las habas hasta 4 días a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Tras la exposición al 55% de humedad relativa, la integridad de la película antimicrobiana de CINN/PVOH no se vio comprometida al cabo de 137 días, lo que permitió utilizar la película en estas condiciones. Estas películas, si bien no pueden utilizarse como materiales de empaque independientes, sí pueden emplearse como componente de los empaques existentes.

Es así como este tipo de estudios demuestran que los empaques activos antimicrobianos en fase de vapor tienen un gran potencial para mejorar la vida útil de los alimentos conservando sus propiedades fisicoquímicas.

2.4 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la identificación de los microorganismos causantes de deterioro en uchuva, predomina el moho *Botrytis cinerea*. Esto se corresponde con hallazgos previos en otras investigaciones.

De los compuestos naturales evaluados, el cinamaldehído demostró la mayor capacidad de inhibición antimicrobiana funcional con la mínima concentración analizada para la configuración del elemento activo con liberación controlada y de aplicación en la preservación de la uchuva fresca por periodos de tiempo superiores a los 40 días en el control de *Botrytis cinerea* para las pruebas *in vitro* realizadas.

Debido a su buena volatilización es posible incluir el cinamaldehído en un sistema de empaque activo para su liberación controlada en el espacio de cabeza del empaque con el fin de preservar frutos de uchuva controlando el deterioro causado por *Botrytis cinerea*. Este tipo de sistema puede aplicarse también en sistemas de empaque para otros frutos y vegetales de interés comercial.

2.5 Bibliografía

- Abarca, R. L., Rodríguez, F. J., Guarda, A., Galotto, M. J., & Bruna, J. E. (2016). Characterization of beta-cyclodextrin inclusion complexes containing an essential oil component. *Food Chemistry*, 196, 968–975. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.023>
- Abarca, R. L., Rodríguez, F. J., Guarda, A., Galotto, M. J., Bruna, J. E., Fávoro Perez, M. A., Ramos Souza Felipe, F., & Padula, M. (2017). Application of β -Cyclodextrin/2-Nonanone Inclusion Complex as Active Agent to Design of Antimicrobial Packaging Films for Control of *Botrytis cinerea*. *Food and Bioprocess Technology*, 10(9), 1585–1594. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1926-z>
- Abbaszadeh, S., Sharifzadeh, A., Shokri, H., Khosravi, A. R., & Abbaszadeh, A. (2014). Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. *Journal de Mycologie Medicale*, 24(2), e51–e56. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2014.01.063>
- Ahmad A, Khan A, Kumar P, Bhatt RP, M. N. (2011). Antifungal activity of *Coriaria nepalensis* essential oil by disrupting ergosterol biosynthesis and membrane integrity against *Candida*. *Yeast*, Aug;28(8)(Epub 2011 Jul 13), 611–617. <https://doi.org/10.1002/yea.1890>

- Almasaudi, N. M., Al-Qurashi, A. D., Elsayed, M. I., & Abo-Elyousr, K. A. M. (2022). Essential oils of oregano and cinnamon as an alternative method for control of gray mold disease of table grapes caused by *Botrytis cinerea*. *Journal of Plant Pathology*, *104*(1), 317–328. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-01008-8>
- Almenar, E., Del Valle, V., Catala, R., & Gavara, R. (2007). Active package for wild strawberry fruit (*Fragaria vesca* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(6), 2240–2245. <https://doi.org/10.1021/jf062809m>
- Álvarez-Martínez, F. J., Barraión-Catalán, E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2021). Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*, *90*. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>
- Avila-Sosa, R., Palou, E., Jiménez Munguía, M. T., Nevárez-Moorillón, G. V., Navarro Cruz, A. R., & López-Malo, A. (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International Journal of Food Microbiology*, *153*(1–2), 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.10.017>
- Avisar, I., Droby, S., & Pesis, E. (1990). Characterization of acetaldehyde effect on *Rhizopus stolonifer* and *Botrytis cinerea*. *Annals of Applied Biology*, *116*, 213–220.
- Bouarab Chibane, L., Degraeve, P., Ferhout, H., Bouajila, J., & Oulahal, N. (2019). Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(4), 1457–1474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9357>
- 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>
- Calvo, H., Mendiara, I., Arias, E., Gracia, A. P., Blanco, D., & Venturini, M. E. (2020). Antifungal activity of the volatile organic compounds produced by *Bacillus velezensis* strains against postharvest fungal pathogens. *Postharvest Biology and Technology*, *166*. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111208>
- Camele, I., Altieri, L., de Martino, L., de Feo, V., Mancini, E., & Rana, G. L. (2012). In vitro control of post-harvest fruit rot fungi by some plant essential oil components. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(2), 2290–2300. <https://doi.org/10.3390/ijms13022290>
- Canales, D., Montoille, L., Rivas, L. M., Ortíz, J. A., Yañez-S, M., Rabagliati, F. M., Ulloa, M. T., Alvarez, E., & Zapata, P. A. (2019). Fungicides Films of Low-Density Polyethylene (LDPE)/Inclusion Complexes (Carvacrol and Cinnamaldehyde) Against *Botrytis Cinerea*. *MDPI*, 1–17. <https://doi.org/10.3390/coatings9120795>
- Chawla, R., Sivakumar, S., & Kaur, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements- a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *2*(August 2020), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100024>
- De Souza, A. C., Dias, A. M. A., Sousa, H. C., & Tadini, C. C. (2014). Impregnation of cinnamaldehyde into cassava starch biocomposite films using supercritical fluid

- technology for the development of food active packaging. *Carbohydrate Polymers*, 102(1), 830–837. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.082>
- El-Saber Batiha, G., Hussein, D. E., Algammal, A. M., George, T. T., Jeandet, P., Al-Snafi, A. E., Tiwari, A., Pagnossa, J. P., Lima, C. M., Thorat, N. D., Zahoor, M., El-Esawi, M., Dey, A., Alghamdi, S., Hetta, H. F., & Cruz-Martins, N. (2021). Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views. *Food Control*, 126(March). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108066>
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). *Importancia y cultivo de la Uchuva (Physalis peruviana L.)* 1. 1–15.
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M. L., Faleiro, M. L., Miguel, M. G. C., & Antunes, M. D. C. (2015). The effect of alginate-based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.002>
- Guo, H., Qin, X., Wu, Y., Yu, W., Liu, J., Xi, Y., Dou, G., Wang, L., & Xiao, H. (2019). Biocontrol of Gray Mold of Cherry Tomatoes with the Volatile Organic Monomer from *Hanseniaspora uvarum*, Trans-Cinnamaldehyde. *Food and Bioprocess Technology*, 12(11), 1809–1820. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02319-6>
- Han, J. H. (2005). Antimicrobial packaging system. *Innovations in Food Packaging*, 80–107.
- He, C., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., & Tian, S. (2019). Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*—Postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 151(February), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.02.009>
- Hou, H., Zhang, X., Zhao, T., & Zhou, L. (2020). Effects of *Origanum vulgare* essential oil and its two main components, carvacrol and thymol, on the plant pathogen *Botrytis cinerea*. *PeerJ*, 8, 1–25. <https://doi.org/10.7717/peerj.9626>
- Huang, X., Han, Y., Du, J., Guo, P., Wang, Y., Ma, K., Li, N., Zhang, Z., Li, Y., & Pan, J. (2021). Inhibitory effect of cinnamaldehyde on main destructive microorganisms of Nanhai no. 1 Shipwreck. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115262>
- Kardam, S. K., Kadam, A. A., & Dutt, D. (2021). Retention of cinnamaldehyde in poly(vinyl alcohol) films intended for preservation of faba beans through vapor-phase antimicrobial effect. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100704. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2021.100704>
- Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. B. (2017). Essential oils of oregano: Biological activity beyond their antimicrobial properties. *Molecules*, 22(6). <https://doi.org/10.3390/molecules22060989>
- Manso, S., Becerril, R., Nerín, C., & Gómez-Lus, R. (2015). Influence of pH and temperature variations on vapor phase action of an antifungal food packaging against five mold strains. *Food Control*, 47, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.06.014>

- Marchese, A., Orhan, I. E., Daglia, M., Barbieri, R., Di Lorenzo, A., Nabavi, S. F., Gortzi, O., Izadi, M., & Nabavi, S. M. (2016). Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature. *Food Chemistry*, *210*, 402–414. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.111>
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shirkhan, F., & Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, *103*(April 2019), 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.009>
- Nieddu, M., Rassu, G., Boatto, G., Bosi, P., Trevisi, P., Giunchedi, P., Carta, A., & Gavini, E. (2014). Improvement of thymol properties by complexation with cyclodextrins: In vitro and in vivo studies. *Carbohydrate Polymers*, *102*(1), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.084>
- Niu, A., Wu, H., Ma, F., Tan, S., Wang, G., & Qiu, W. (2022). The antifungal activity of cinnamaldehyde in vapor phase against *Aspergillus niger* isolated from spoiled paddy. *LWT*, *159*, 113181. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113181>
- Pisoschi, A. M., Pop, A., Georgescu, C., Turcuș, V., Olah, N. K., & Mathe, E. (2018). An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry*, *143*, 922–935. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.11.095>
- Qu, S., Yang, K., Chen, L., Liu, M., Geng, Q., He, X., Li, Y., Liu, Y., & Tian, J. (2019). Cinnamaldehyde, a Promising Natural Preservative Against *Aspergillus flavus*. *Frontiers in Microbiology*, *10*(December), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02895>
- Rojas, A., Cerro, D., Torres, A., Galotto, M. J., Guarda, A., & Romero, J. (2015). Supercritical impregnation and kinetic release of 2-nonanone in LLDPE films used for active food packaging. *Journal of Supercritical Fluids*, *104*, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.04.031>
- Sanla-Ead, N., Jangchud, A., Chonhenchob, V., & Suppakul, P. (2011). Antimicrobial Activity of Cinnamaldehyde and Eugenol and Their Activity after Incorporation into Cellulose-based Packaging Films. *Packaging and Technology and Science*, *29*(June), 399–412. <https://doi.org/10.1002/pts>
- Schumacher, J. (2017). How light affects the life of *Botrytis*. *Fungal Genetics and Biology*, *106*(June), 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2017.06.002>
- Šernaitė, L., Rasiukevičiūtė, N., & Valiuškaitė, A. (2020). The extracts of cinnamon and clove as potential biofungicides against strawberry grey mould. *Plants*, *9*(5), 15–20. <https://doi.org/10.3390/plants9050613>
- Sharma, R. R., Singh, D., & Singh, R. (2019). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control*, *50*(3), 205–221. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2009.05.001>
- Shreaz, S., Wani, W. A., Behbehani, J. M., Raja, V., Irshad, M., Karched, M., Ali, I., Siddiqi, W. A., & Hun, L. T. (2016). Cinnamaldehyde and its derivatives, a novel class of antifungal agents. *Fitoterapia*, *112*, 116–131. <https://doi.org/10.1016/J.FITOTE.2016.05.016>
- Smid, E. J., Koeken, J. P. G., & Gorris, L. G. M. (1996). Fungicidal and fungistatic action of the

secondary plant metabolites cinnamaldehyde and carvone. *Modern Fungicides and Antimicrobial Compounds*, 173–180.

- Soylu, E. M., Kurt, Ş., & Soyly, S. (2010). In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*. *International Journal of Food Microbiology*, 143(3), 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.015>
- Suppakul, P. (2016). Cinnamaldehyde and Eugenol: Use in Antimicrobial Packaging. In *Antimicrobial Food Packaging*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800723-5.00039-5>
- Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Venuti, V., Cristani, M., Daniele, C., Saija, A., Mazzanti, G., & Bisignano, G. (2005). Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 49(6), 2474–2478. <https://doi.org/10.1128/AAC.49.6.2474-2478.2005>
- Van Kan, J. A. L., Shaw, M. W., & Grant-Downton, R. T. (2014). *Botrytis* species: Relentless necrotrophic thugs or endophytes gone rogue? *Molecular Plant Pathology*, 15(9), 957–961. <https://doi.org/10.1111/mpp.12148>
- Villegas, C., Arrieta, M. P., Rojas, A., Torres, A., Faba, S., Toledo, M. J., Gutierrez, M. A., Zavalla, E., Romero, J., Galotto, M. J., & Valenzuela, X. (2019). PLA/organoclay bionanocomposites impregnated with thymol and cinnamaldehyde by supercritical impregnation for active and sustainable food packaging. *Composites Part B: Engineering*, 176(August), 107336. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107336>
- Villegas, Carolina, Torres, A., Rios, M., Rojas, A., Romero, J., de Dicastillo, C. L., Valenzuela, X., Galotto, M. J., & Guarda, A. (2017). Supercritical impregnation of cinnamaldehyde into polylactic acid as a route to develop antibacterial food packaging materials. *Food Research International*, 99(June), 650–659. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.031>
- Vivas, J. R. C., & Rodríguez, J. M. T. (1998). Método espectrofotométrico en la preparación del inóculo de hongos dematiáceos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 15(3), 155–157.
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J. A. L. (2007). *Botrytis cinerea*: The cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 561–580. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x>
- Zhu, R., Liu, H., Liu, C., Wang, L., Ma, R., Chen, B., Li, L., Niu, J., Fu, M., Zhang, D., & Gao, S. (2017). Cinnamaldehyde in diabetes: A review of pharmacology, pharmacokinetics and safety. *Pharmacological Research*, 122, 78–89. <https://doi.org/10.1016/J.PHRS.2017.05.019>

3. Capítulo III. Configuración del empaque activo antimicrobiano en frutos frescos de uchuva

Resumen

Se evaluó la configuración y el efecto de un empaque tipo bandeja con una película de ácido poliláctico (PLA), en un sistema de empaque con atmósferas modificadas (MAP) y con un elemento activo antimicrobiano en forma de sachet compuesto de una matriz de bentonita saturada de cinamaldehído para preservar frutos de uchuva frescos a 6 °C y 75% de HR. La cantidad de cinamaldehído usada se estimó de acuerdo con el espacio de cabeza del empaque obteniendo una concentración de $7,14 \pm 0,1 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza. Para el experimento, algunos de los frutos de uchuva previamente fueron inoculados con *Botrytis cinerea*. Se evaluaron los siguientes tratamientos de empaque: sin sachet sin moho (SS), sin sachet con moho (SC), con sachet sin moho (CS) y con sachet con moho (CC) para evaluar su liberación en fase de vapor. La calidad de los frutos se determinó midiendo el deterioro causado por el moho y evaluando la evolución de propiedades como el color, la firmeza y el peso. Con el sistema de empaque activo/MAP se alcanzó un tiempo de vida útil de las uchucas de 43 días a 6 °C.

Palabras clave: *Physalis peruviana* L., atmósferas modificadas, liberación controlada, bentonita, cinamaldehído.

3.1 Introducción

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es un fruto en forma de baya con amplias perspectivas de mercado pero con una vida útil escasa a condiciones ambientales (1-2 semanas a 10-20 °C) lo cual limita su comercialización e incrementa los costos y el uso de recursos (Olivares Tenorio, 2017). Para este tipo de productos se han realizado diferentes trabajos en empaques con atmósferas modificadas (Hernández-González, 2003; Lancho et al., 2007; Garavito et al., 2021; Garavito et al., 2022) limitando la disponibilidad de O₂ para extender la vida útil retrasando los procesos de maduración y limitando en alguna medida la acción de microorganismos (Moreno Guerrero et al., 2012). Sin embargo, en este tipo de sistemas de empaque la humedad siempre se conserva alta (80-90 % de humedad relativa) y no se puede eliminar el O₂ por completo (Garavito et al., 2022), por tal razón es necesario incluir componentes o elementos activos adicionales para minimizar el crecimiento y actividad de microorganismos causantes de deterioro (Wyrwa & Barska, 2017). En el caso de la uchuva, el deterioro causado por mohos como *Botrytis cinerea* es muy frecuente resultando en destrucción de tejidos y pérdida de calidad. Sin embargo, estos procesos de deterioro pueden ser minimizados de forma efectiva con la aplicación de compuestos antimicrobianos como el cinamaldehído tal y como se describió en el capítulo anterior.

Los empaques antimicrobianos pueden clasificarse en dos tipos: los antimicrobianos de liberación controlada que se consiguen por contacto directo o por difusión indirecta en fase gaseosa, y los antimicrobianos no migratorios de contacto directo en los cuales los componentes activos son inmovilizados en la superficie de las paredes del empaque o de un elemento activo independiente (Y. Zhao et al., 2022). En el caso de los sistemas migratorios de contacto directo, el componente activo en fase líquida o sólida migrará por difusión hacia el alimento que estará en contacto directo con alguna parte del empaque. En este tipo de sistema debe tenerse mucho cuidado con la interacción entre el componente activo y el alimento para no degradar las propiedades sensoriales o nutricionales de este último (Kuorwel et al., 2015). En los sistemas migratorios de contacto indirecto, las sustancias antimicrobianas se liberan por evaporación hacia el espacio de cabeza del empaque para obtener una atmósfera modificada activa que reduzca la viabilidad de los microorganismos indeseados. Los compuestos activos se mezclan inicialmente en una matriz de liberación la cual puede venir en

varios formatos, como por ejemplo materiales porosos como arcillas o zeolitas, materiales de encapsulación en polvo, sales, polímeros, etc. (L. H. de Oliveira et al., 2022). Estas matrices saturadas con el componente activo se disponen en bolsitas (sachets), almohadillas, etiquetas o se pueden insertar directamente en el material de empaque (Mousavi Khaneghah et al., 2018; Varghese et al., 2020).

Cuando se aplica un antimicrobiano natural volátil, se espera que se evapore dentro del espacio de cabeza del empaque para que entre en contacto con la superficie del alimento ejerciendo su función antimicrobiana sin afectar excesivamente las propiedades de este último. Por consiguiente, antes de desarrollar y comercializar un empaque activo antimicrobiano empleando elementos activos de liberación, es crucial controlar el perfil de volatilización y migración del antimicrobiano aplicado (Kapetanakou & Skandamis, 2016). Sin embargo, muchos de estos compuestos naturales presentan desafíos para su incorporación en materiales de empaque debido a su alta velocidad de volatilización, oxidación a la luz, baja estabilidad térmica y dificultad de inclusión en los materiales de empaque mayormente utilizados actualmente (Wrona et al., 2021). Para el caso de los extractos naturales, aceites esenciales o los componentes activos obtenidos a partir de estos, se deben considerar las siguientes desventajas inherentes a los sistemas de empaque comúnmente usados en alimentos: 1) el empaque debe ajustarse a la condición antimicrobiana y ambiental específica; 2) el componente activo debe ser seguro para su consumo y debe cumplir la reglamentación vigente y 3) la incorporación de agentes antimicrobianos en el empaque puede afectar las propiedades químicas, mecánicas y de transporte de este (por ejemplo, los aceites esenciales pueden reducir la rigidez del material de empaque debido a sus propiedades plastificantes naturales). Sin embargo, estos componentes resultan ser muy atractivos para su incorporación en sistemas de empaque activos debido a sus propiedades biológicas antibacterianas, antifúngicas, antivirales e insecticidas y su origen natural ya que son biomoléculas y metabolitos secundarios sintetizados por plantas aromáticas y medicinales que presentan una inmensa bioactividad y relativa seguridad para el consumo a bajas concentraciones además de su biodegradabilidad (L. H. de Oliveira et al., 2022).

Respecto a las matrices de liberación, hay muchos materiales disponibles que se han probado en nanocompuestos poliméricos, algunos con aplicaciones en empaques. Existen aproximadamente 30 nanoarcillas diferentes, que se clasifican en función de su composición

mineralógica. La literatura reporta estudios de diferentes clases de nanoarcillas naturales, como la caolinita, hectorita, halloysita, vermiculita, sepiolita, laponita y bentonita (Holešová et al., 2016; Bernardos et al., 2019; Q. Li et al., 2021; X. Li et al., 2021; Nath et al., 2022). Arcillas como la bentonita que pertenece a la familia de los filosilicatos tienen gran potencial de uso como matrices de liberación de componentes activos debido a su alta porosidad, no toxicidad, amplia disponibilidad en la naturaleza, bajo costo y posibilidad de ser modificada estructuralmente para aplicaciones específicas. Dado lo anterior, la bentonita representa un sustrato ideal para incorporar y controlar la liberación de compuestos antimicrobianos (Clegg et al., 2019; Cerdán, 2022; de Oliveira et al., 2022; Nath et al., 2022).

En el estudio del presente capítulo, se describe la evaluación experimental de un sistema de empaque activo con atmósferas modificadas y con la inclusión de un componente antimicrobiano de cinamaldehído en una matriz de bentonita para la preservación de frutos de uchuva en fresco a 6 °C y 75% HR. Se evaluó específicamente el efecto del sistema en el control del deterioro causado por *Botrytis cinerea* sobre el producto.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Material vegetal

Frutos de uchuva ecotipo Colombia fueron cosechados en su estado de madurez fisiológica, de plantas con una edad de 9 meses de la región de Ventaquemada (Departamento de Boyacá, Colombia), ubicada a los 5°21'59"N y 73°31'19"O a 2630 m.s.n.m. Los frutos fueron transportados bajo refrigeración a 8 °C y protegidos de daños mecánicos hacia las instalaciones del Laboratorio de Calidad y Poscosecha de Productos Agrícolas de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, al día siguiente de la cosecha. En este lugar los frutos fueron seleccionados descartando aquellos con evidencias de daño mecánico, pudrición, rajaduras o presencia de microorganismos. Seguidamente se retiró el cáliz y los frutos fueron lavados muy suavemente con agua corriente a temperatura ambiente (17-20 °C) para retirar suciedad sin llegar a eliminar la capa de cera en su superficie, luego tratados con una solución de hipoclorito de sodio 0,1 g kg⁻¹ sumergiéndolos durante 60 s y posteriormente nuevamente

lavados con agua corriente. Finalmente, los frutos fueron dejados secar al ambiente durante 2 h y luego distribuidos para las pruebas de empaque.

3.2.2 Material de empaque

Se emplearon bandejas cuadrada rígidas de ácido poliláctico (PLA) de dimensiones 18 x 12 x 3.8 cm y $0,36 \pm 0,01$ mm de espesor (Envaseko, Areso, Spain) cubiertas y selladas con una película de PLA de $0,035 \pm 0,002$ mm de espesor (ClearBags, El Dorado Hills, CA, USA) y con un área de transferencia aproximada de 214,2 cm². El volumen interno de la bandeja sellada con la película fue de aproximadamente 820,8 cm³.

3.2.3 *Botrytis cinerea*

En el capítulo anterior, se obtuvo como microorganismo patógeno preponderante al moho *Botrytis cinerea*, por lo que se empleó la misma cepa obtenida durante dicho análisis microbiológico y se estandarizó el inóculo preparando de igual forma una concentración de 1×10^6 conidios cm⁻³ y dicha solución fue posteriormente envasada en un atomizador con capacidad de 60 cm³ para asperjarla posteriormente sobre la superficie de algunas frutas en dos de las configuraciones del empaque activo antimicrobiano como se describe más adelante en el numeral 3.2.5.

3.2.4 Preparación del elemento activo

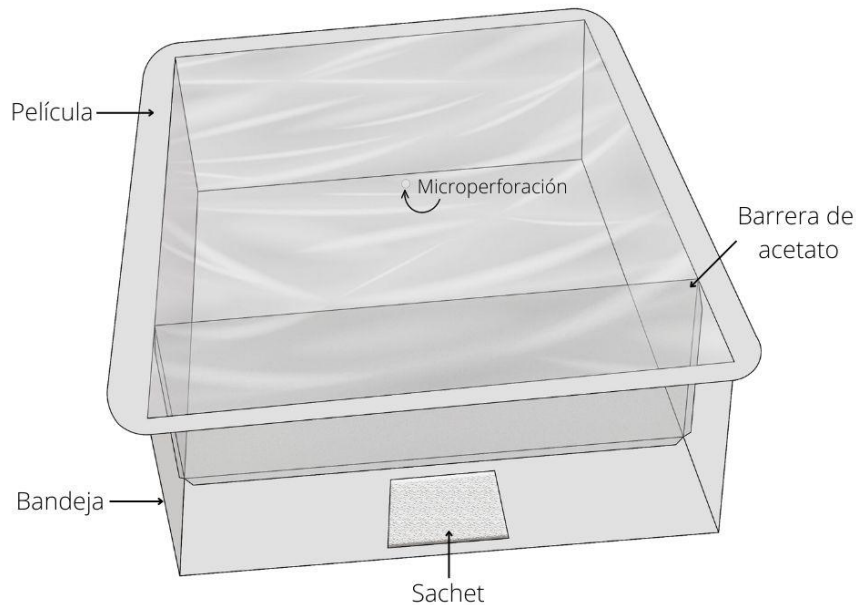
El elemento activo fue preparado mezclando cinamaldehído líquido en una matriz de bentonita en polvo (Compañía Colombiana de Cerámica, S.A., Bogotá Colombia) hasta la saturación. La mezcla fue dispuesta en sachets de 5 x 5 cm de papel vegetal poroso permeable. Los sachets fueron sellados con calor después de introducir la bentonita saturada evitando su salida dentro del empaque con las frutas. La cantidad de cinamaldehído en cada sachet fue estimada de acuerdo con los resultados de inhibición obtenidos en las pruebas *in vitro* descritas en el Capítulo 2. Para las pruebas *in vitro* se estimó una mínima concentración inhibitoria de 2,38 µg de cinamaldehído líquido volatilizado por cm³ de espacio de cabeza (2,38 µg/cm³) para un periodo de 40 días a $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$. Para los empaques activos se intentó obtener una concentración similar teniendo en cuenta el espacio de cabeza disponible en el empaque (599,8 cm³), descontando el volumen ocupado por las uchuvas y por el elemento activo.

En este experimento, la cantidad de cinamaldehído requerida se preparó para obtener una concentración del triple de la CMI estimada en las pruebas *in vitro*. Este factor de sobre-diseño fue pensado para compensar la pérdida de cinamaldehído permeado a través del empaque, la menor volatilización debido a estar mezclado con la bentonita y las condiciones reales *in vivo* planteadas en el empaque con uchuvas. Teniendo en cuenta lo anterior, para 599,8 cm³ de espacio de cabeza se estimó necesario 7,14 µg de cinamaldehído.

El cinamaldehído fue mezclado con la bentonita a 20 °C hasta obtener un sólido aglomerado consistente. Luego se molió el aglomerado con mortero hasta obtener gránulos finos los cuales fueron depositados en los sachets sin dejar volumen de espacio de cabeza interno. Los sachets fueron conservados en un sobre metalizado sellado para evitar la pérdida de cinamaldehído antes de los ensayos. Después de hacer ensayos preliminares para determinar la mejor relación de mezcla cinamaldehído y bentonita, en los sachets se incluyeron 7,14 ± 0,1 µg/cm³ de cinamaldehído al 0,5% (p/p) en bentonita. La cantidad y fracción de antimicrobiano adsorbida en la bentonita se verificó tomando 1 g de mezcla y secándolo a 150 °C durante doce horas para desorber todo el compuesto, registrando finalmente el peso seco de la bentonita. El peso total de cinamaldehído y bentonita fue de 0,86 ± 0,01 g y el peso total de los sachets que se emplearon fue de 1,49 ± 0,02 g.

3.2.5 Configuración del empaque activo antimicrobiano

Para evaluar el efecto del empaque y la inclusión del elemento activo antimicrobiano en la calidad y vida útil de los frutos de uchuva, inicialmente se introdujeron 100 ± 1 g de frutos en las bandejas de PLA preparando cuatro configuraciones: 1) sin elemento activo y sin inóculo de *Botrytis* (SS), 2) sin elemento activo y con inóculo (SC), 3) con elemento activo y sin inóculo (CS) y 4) con elemento activo y con inóculo (CC) (Figura 3-1). Para los tratamientos en donde se inoculó *Botrytis*, se aplicaron por aspersión 100 µL aproximadamente sobre la superficie de los frutos (Sun et al., 2018; Wang et al., 2022).

Figura 3-1: Prototipo de empaque antimicrobiano para frutos de uchuva.

Fuente: Autor.

Las películas de PLA se sellaron por calor a la parte superior de la bandeja para crear un empaque con atmósfera modificada (MAP). En cada una de las bandejas se hizo una única perforación en la película de PLA de 0,058 mm con una aguja delgada para incrementar la transferencia de gases y evitar el agotamiento de O_2 en el interior de forma similar a lo planteado por Garavito et al. (2022).

Los diferentes tratamientos de empaque fueron entonces almacenados en una cámara climática modelo C240 (DiEs, Medellín, Colombia) a $6,0 \pm 0,5$ °C y $75 \pm 2\%$ HR durante seis semanas midiendo la evolución en las concentraciones de O_2 y CO_2 dentro del empaque y la calidad visual, presencia y daño causado por microorganismos, pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales (% SST) y acidez titulable (% ATT) de los frutos empacados una vez a la semana hasta el deterioro de las muestras.

La fracción molar de O_2 y CO_2 dentro del empaque se determinó con un analizador Dansensor CheckPoint 3S Premium (Mocon Ametek, USA) tomando muestras de gas de 5 cm^3 desde el

interior de las bandejas selladas antes de abrirlas para medir las propiedades de calidad de los frutos.

3.2.6 Evaluación del deterioro y propiedades de calidad

Aceptabilidad visual. Para determinar la aceptabilidad visual se estimó un índice de deterioro (ID) con base en una evaluación de presencia de microorganismos y/o deterioro a partir del número de frutos con contaminación microbiana o que presentaron pudrición respecto al número total de frutos en el empaque (Hernández-Muñoz et al., 2006; Sierra et al., 2019).

$$ID = \frac{\text{Numero de frutos contaminados o deteriorados}}{\text{Numero total de frutos}} \times 100 \quad (1)$$

El índice de deterioro se consideró como el criterio de vida útil de las muestras. Cuando el índice de deterioro excedió el umbral de daño de $ID \geq 30\%$ (ASTM, 2013; Pérez et al., 2020), finalizaba la utilidad del servicio del empaque.

Pérdida de peso. El cambio en el peso de los frutos se midió utilizando una balanza analítica PA-3102 Ohaus (OHAUS Corp. Pine Brook, NJ, EE. UU.), con una precisión de $\pm 0,01$ gramos (Olivares Tenorio, 2017).

Se empleó la ecuación:

$$\%PP = ((P_i - P_f) / P_i) * 100 \quad (2)$$

En donde: P_i : peso inicial de un fruto; P_f : peso obtenido por fecha de muestreo.

Color. El color de los frutos se midió en el centro del área ecuatorial. La medición se realizó usando un colorímetro 3nh modelo ys3020 (Shenzhen 3nh Technology Co., Ltd., Shenzhen, China) y reportando las coordenadas de color CIELAB L^* , a^* y b^* . Se consideró "Daylight 65" como el iluminante estándar y para cada medición se realizaron tres repeticiones reportando el valor medio de cada repetición (Pérez et al., 2020)

Firmeza. La firmeza se midió en el área ecuatorial del fruto (sometida a punción transversal) utilizando una máquina de prueba universal LLOYD® LS 1 (Ametek Inc., Berwyn, PA, USA) con

una sonda de punta plana de 2 mm a una velocidad de carga desde 15 N min⁻¹ 0.3 N y a una velocidad de penetración de 2 mm s⁻¹. La firmeza se tomó como la fuerza máxima (N) necesaria para penetrar el fruto a una profundidad de 4 mm (Balaguera-López et al., 2015).

Sólidos solubles totales (SST % w/w). Los sólidos solubles (%) se midieron en el jugo de los frutos utilizando un refractómetro Hanna HI 968011 de rango 0 a 85% con precisión 0,1 % (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, EE. UU.) expresando el resultado en °Brix.

Acidez titulable (ATT %) y pH. La acidez total titulable (%) se determinó en el jugo del fruto utilizando un titulador automático Metrohm 916 Ti-Touch (Metrohm AG, Herisau, Suiza). Se valoraron 3 cm³ de jugo diluidos hasta 50 cm³ con una solución estandarizada de NaOH 0,1 N (Sigma-Aldrich, Dublín, Irlanda) hasta un punto final de pH 8,1. La acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico presente en cada muestra (Lanchero et al., 2007; Pérez et al., 2020). El pH fue medido con el electrodo del titulador automático antes de iniciar la titulación para determinar la ATT.

Todas las mediciones se hicieron por triplicado reportando el valor medio y la desviación estándar. Basándose en los cambios en las propiedades de calidad descritas anteriormente, se determinó el sistema de empaque con la mayor capacidad para la preservación de los frutos de uchuva.

3.2.7 Análisis estadístico

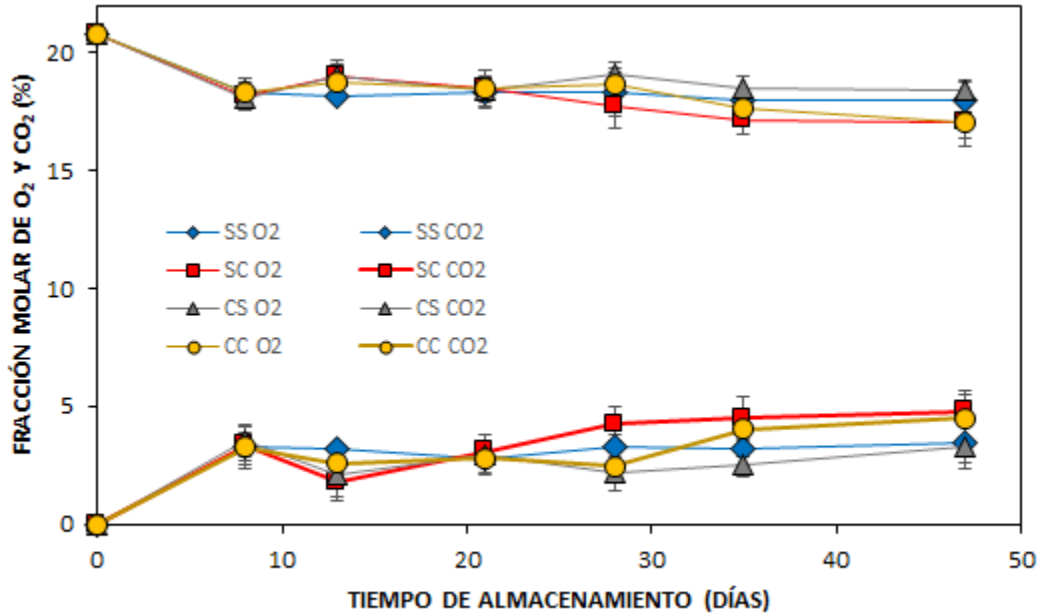
Las diferencias entre las configuraciones de empaque se establecieron comparando los valores medidos de las propiedades de calidad de los frutos empacados realizando un análisis de varianza (ANOVA) y determinando las diferencias significativas entre configuraciones ($p < 0,05$) con la prueba HSD de Tukey. A partir de esta comparación y de acuerdo con la estimación de la vida útil, se estableció la mejor configuración de empaque entre aquellas que fueron evaluadas.

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Concentración de los gases

Se consiguió una atmósfera modificada ligera (Figura 3-2) consecuente con el estudio de Garavito et al. (2022). La concentración alcanzada para todos los tratamientos es similar dado que esto depende de la permeación de gases a través del empaque y de la respiración de los frutos. De ahí que se alcanzaran niveles de O₂ de 17-18% y de CO₂ de 3.5-4.8%. Si bien, los procesos de maduración se retrasan al disminuir la concentración de oxígeno, evitando el deterioro y ataque de patógenos (Hernández-González, 2003), algunos estudios han sugerido que niveles de oxígeno más elevados podrían ser más eficaces para prolongar la vida útil de los productos al inhibir el crecimiento de microorganismos propios de deterioro, imposibilitando procesos de respiración anóxica y retrasando la aparición de la putrefacción (Fang & Wakisaka, 2021) y en consecuencia, se ha reconsiderado en gran medida el MAP convencional en la que se utiliza O₂ de moderado a bajo y CO₂ elevado. Para inhibir o minimizar la tasa de deterioro microbiano y preservar la calidad y la seguridad del producto fresco, la atmósfera modificada con alto nivel de oxígeno puede ser más ventajosa (Conesa et al., 2007; Perumal et al., 2022).

Figura 3-2: Fracción molar de O₂ y CO₂ (%) en el espacio de cabeza para las configuraciones SS (sin sachet y sin inóculo), SC (sin sachet y con inóculo), CS (con sachet y sin inóculo) y CC (con sachet y con inóculo) con frutos de uchuva almacenados a 6 °C y 75% HR.



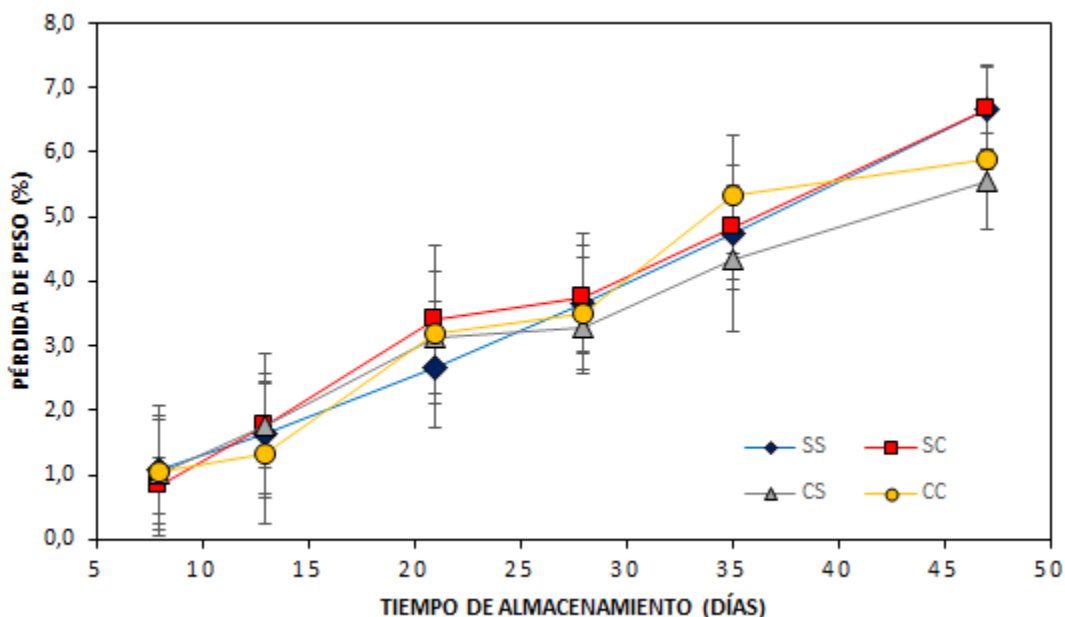
3.3.2 Propiedades de calidad durante el almacenamiento

La Figura 3-3 muestra la pérdida de peso de los frutos durante el almacenamiento bajo las diferentes configuraciones. Los tratamientos sin sachet pierden peso a un ritmo ligeramente superior que aquellos en donde se emplea el elemento activo. Lo anterior consecuente con la degradación del tejido vegetal pues, a mayor contaminación por hongos, mayor el rompimiento de la corteza de la fruta; por lo que su capacidad de retención de agua disminuye (Lufu et al., 2020; Liu et al., 2021). Desde el día 21 se hace notoria la pérdida en aquellos tratamientos contaminados con *Botrytis cinerea* (SC y CC). Sin embargo, hasta el día 35 solo el tratamiento CC superaba el 5% pero para el día 47 los tratamientos SS y SC superaron con 6,7% a los tratamientos CC con 5,9% y CS con 5,5% respectivamente.

A pesar de ello, ningún tratamiento superó la pérdida del 10% y se debe principalmente al sellado del empaque donde la permeabilidad del vapor de agua fue baja. Sin embargo, en este caso el peso no es la variable de calidad principal sino la contaminación microbiana, considerada como criterio de no aceptabilidad del producto, aunque variables como el índice de color se mantengan en los rangos establecidos (Muñoz et al., 2017), contrario a lo que se

evidenció en frutos de uchuva almacenados sin empaque (es decir, sin bandeja termosellada con película) con una pérdida de peso equivalente a 13,4% a los 21 días de almacenamiento (Garavito et al., 2022).

Figura 3-3: Pérdida de peso acumulada (símbolos) en los tratamientos de empaque SS, SC, CS y CC para frutos frescos de uchuva a 6 °C y 75% HR. Desviación estándar incluida para n = 3.



En la Tabla 3-1 se observa la evolución de las características fisicoquímicas de los frutos frescos de uchuva almacenados bajo los diferentes tratamientos. Los frutos de uchuva pueden alcanzar una concentración entre 10 y 17 °Brix después de la cosecha. El aumento de los sólidos solubles totales depende del proceso de degradación de polisacáridos a disacáridos o monosacáridos mediante hidrólisis de la pared celular. Estos procesos son dependientes de la actividad enzimática y ésta a su vez, es dependiente de la temperatura (Pinzón et al., 2015). Aunque se encontraron diferencias significativas con el tratamiento “CS” en el día 13 y con los tratamientos “CS” y “CC” en el día 28 (aquellos frutos contaminados con el patógeno), se observa que la actividad del hongo al disminuir el contenido de azúcar es consecuente a través del tiempo. Con la medición del pH no se presentaron diferencias significativas para ningún tratamiento, se evidencian rangos entre 3.6 a 4.1 desde el día inicial hasta el final del montaje

que van aumentando ligeramente con el paso de los días y coinciden con lo reportado por Puente et al. (2011). Es válido recordar que la mayoría de los microorganismos de deterioro, especialmente las bacterias, se desarrollan mejor a un pH casi neutro (\geq pH 4,5) (Hoagland et al., 2018); sin embargo los conidios de *Botrytis spp.* germinan en un rango de pH de 3-7 con un óptimo de 4 (Ramírez, 2017). Respecto a la acidez total, no se presentaron diferencias estadísticas y su disminución representa un comportamiento característico durante la maduración del fruto de uchuva (Pinzón et al., 2015). Los valores coinciden con lo reportando por Puente et al. (2011).

De los tres análisis se puede concluir que no se presentaron diferencias significativas con los cuatro tratamientos. Es decir, las propiedades fisicoquímicas tanto con el empaque activo como sin este, no se verían afectadas por lo que agregar elementos como el sachet no representaría cambios en las propiedades de sabor y demás características de la uchuva.

Tabla 3-15: Evolución de las propiedades de calidad de los frutos de uchuva bajo los diferentes tratamientos a 6 °C y 75% HR.

Análisis	Tratamiento	Día 0	Día 13	Día 21	Día 28	Día 35	Día 47
TSS (%)	SS	13,60	14,27±0,15 a*	13,57±0,15 a	14,07±0,38 a	14,13±0,15 a	13,50±0,36 a
	SC		14,33±0,06 a	13,60±0,53 a	14,30±0,10 a	14,00±0,20 a	13,53±0,25 a
	CS		14,73±0,21 b	13,83±0,93 a	13,17±0,25 bc	13,93±0,25 a	13,03±0,21 a
	CC		14,13±0,06 a	13,43±0,12 a	13,53±0,23 ac	13,47±0,21 a	13,53±0,35 a
pH	SS	3,65±0,04	3,65±0,12 a	3,77±0,04 a	3,92±0,01 a	4,04±0,10 a	4,03±0,07 a
	SC		3,70±0,02 a	3,83±0,02 a	3,90±0,02 a	4,11±0,18 a	4,01±0,11 a
	CS		3,64±0,05 a	3,83±0,13 a	3,90±0,08 a	4,06±0,11 a	4,15±0,15 a
	CC		3,64±0,03 a	3,79±0,02 a	3,87±0,01 a	4,00±0,18 a	4,17±0,03 a
TA (%)	SS	2,20±0,02	2,40±0,09 a	2,68±0,06 a	1,74±1,51 a	2,21±0,10 a	1,76±0,00 a
	SC		2,40±0,15 a	1,78±1,54 a	2,67±0,15 a	2,25±0,03 a	1,78±0,04 a
	CS		2,38±0,07 a	2,48±0,21 a	2,71±0,19 a	2,12±0,25 a	1,88±0,19 a
	CC		2,39±0,07 a	2,69±0,18 a	2,75±0,29 a	2,06±0,02 a	1,76±0,00 a

* Valores con letra diferente son significativamente distintos ($p < 0,05$) en el mismo día de medición de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

La medición del color se mantuvo estable en todos los tratamientos durante los 47 días de almacenamiento (Tabla 3-2) posiblemente debido a un balance adecuado en la composición

de gases dentro del espacio de cabeza de los empaques liberando los carotenos de forma regulada y gradual (Balaguera-López et al., 2015).

Tabla 3-2: Evolución de las propiedades de color de los frutos de uchuva bajo los diferentes tratamientos a 6 °C y 75% HR.

Propiedad	Tratamiento	Día 0	Día 13	Día 21	Día 28	Día 35	Día 47
Lightness (L*)	SS	59,45±1,01	61,48±2,24 a*	61,77±1,91 a	61,72±1,48 a	59,72±3,66 a	59,74±2,29 a
	SC		60,67±1,92 a	59,94±3,53 a	61,42±2,13 a	61,62±1,84 a	61,33±1,04 a
	CS		62,28±1,15 a	62,97±0,96 a	62,37±1,14 a	61,21±1,67 a	60,36±0,97 a
	CC		61,53±2,68 a	62,04±1,60 a	62,26±1,47 a	59,07±2,74 a	61,30±1,13 a
Chromatic coordinate (a*)	SS	23,52±1,68	22,47±1,74 a	23,32±1,32 a	24,10±1,02 a	23,47±2,17 a	24,74±1,97 a
	SC		22,60±2,18 a	25,13±2,19 a	24,61±1,52 a	23,92±1,32 a	24,81±2,10 a
	CS		23,14±0,77 a	23,49±1,48 a	23,82±1,89 a	22,93±1,99 a	24,29±1,81 a
	CC		22,29±2,62 a	23,27±1,48 a	22,84±2,20 a	23,83±1,28 a	24,19±2,31 a
Chromatic coordinate (b*)	SS	46,28±1,00	45,71±1,32 a	48,39±1,75 a	48,33±1,30 a	48,37±4,15 a	46,95±2,73 a
	SC		47,07±2,35 a	48,56±3,46 a	49,16±2,67 a	47,60±2,30 a	48,98±2,63 a
	CS		47,93±0,83 a	48,54±3,39 a	47,10±2,23 a	46,61±2,76 a	48,08±2,77 a
	CC		47,33±2,87 a	50,29±1,85 a	47,66±2,13 a	47,15±3,68 a	48,39±1,14 a

* Valores con letra diferente son significativamente distintos ($p < 0,05$) en el mismo día de medición de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

Finalmente, la firmeza solo fue estadísticamente significativa hasta el día 47 en los tratamientos inoculados con *Botrytis*, consecuente con su efecto patógeno. Dicha propiedad física, junto con el color, representan parámetros importantes de calidad, especialmente en frutas susceptibles a daño mecánico y de corta vida en anaquel (Ciro et al., 2007).

Tabla 3-3: Evolución de la firmeza de los frutos de uchuva bajo los diferentes tratamientos a 6 °C y 75% HR.

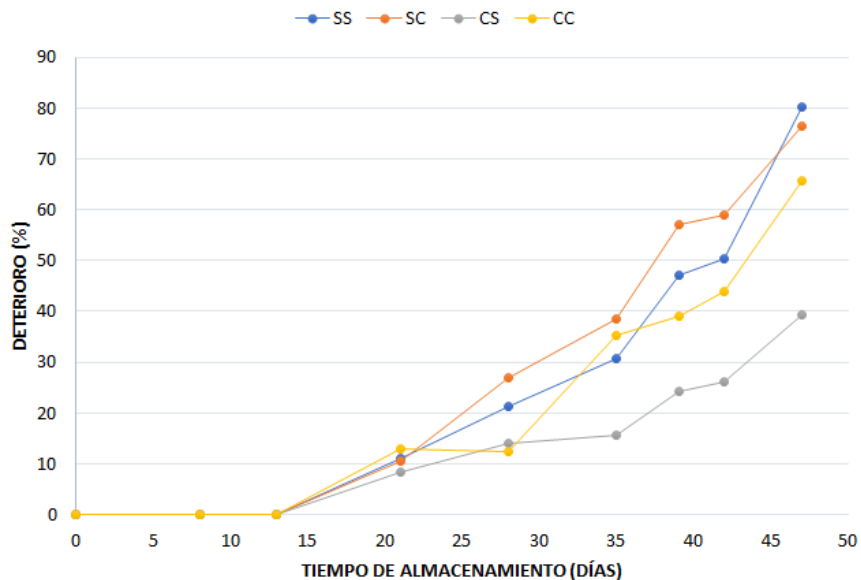
Propiedad	Tratamiento	Día 0	Día 13	Día 21	Día 28	Día 35	Día 47
Firmeza (N)	SS	4,22±0,26	5,43±0,52 a*	4,13±0,49 a	5,55±0,06 a	5,71±0,07 a	4,82±0,30 a
	SC		4,94±0,62 a	5,37±0,75 a	4,20±0,83 a	4,90±0,25 a	5,64±0,16 b
	CS		5,37±0,37 a	4,20±0,51 a	5,00±1,01 a	4,80±0,78 a	5,27±0,26 ab
	CC		4,44±0,47 a	5,45±0,09 a	5,09±0,83 a	5,69±0,17 a	4,70±0,08 ac

* Valores con letra diferente son significativamente distintos ($p < 0,05$) en el mismo día de medición de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

3.3.3 Vida útil del fruto y configuración con mejor desempeño

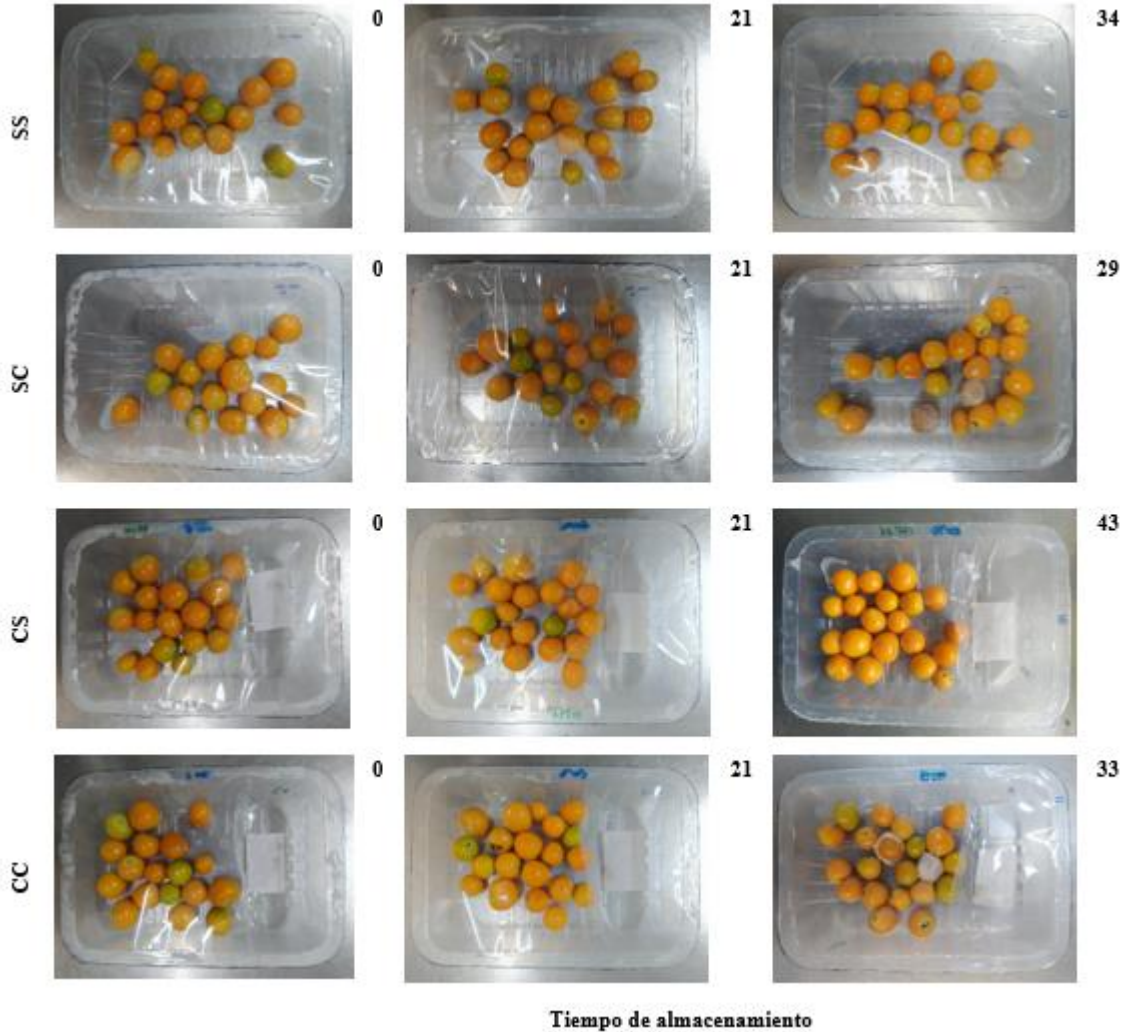
La Figura 3-4 presenta el deterioro de frutos frescos de uchuva durante los 47 días del ensayo. Los resultados obtenidos fueron favorables y directamente proporcionales de acuerdo con los tiempos de almacenamiento de los tratamientos SS, SC, CS y CC equivalentes a 34, 29, 43 y 33 días respectivamente por debajo del índice de deterioro aceptable. La configuración CS que es la que se plantea como configuración para un empaque activo antimicrobiano aplicado a frutos frescos de uchuva o productos similares presentó resultados parecidos a los expuestos por (Garavito et al., 2022).

Figura 3-4: Porcentaje de deterioro de los frutos de uchuva en los diferentes tratamientos SS, SC, CS y CC a 6 °C y 75% HR. Desviación estándar incluida para n = 3.



A continuación, con la Figura 3-5 se correlaciona de forma visual las características físicas de los frutos frescos de uchuva y el efecto de la liberación controlada del cinamaldehído a lo largo del montaje.

Figura 3-5: Seguimiento visual de los tratamientos SS (sin sachet y sin inóculo), SC (sin sachet y con inóculo), CS (con sachet y sin inóculo) y CC (con sachet y con inóculo) almacenados a 6 °C y 75% HR.



Fuente: Autor.

La configuración propuesta se puede mejorar incluyendo otras características activas como la adición de elementos para la adsorción de humedad, la liberación controlada de compuestos, antioxidantes o retardantes de maduración para prolongar aún más la vida útil de la fruta y otras alternativas de empaque biodegradable.

3.4 Conclusiones

El sistema de empaque activo incluyendo el sachet con $7,14 \pm 0,1 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de cinamaldehído al 0,5% (p/p) de bentonita demostró capacidad inhibitoria en el desarrollo de *Botrytis cinerea* hasta por 43 días bajo condiciones de refrigeración a $6,0 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ y $75 \pm 2\%$ HR.

Las propiedades fisicoquímicas de calidad evaluadas en general no mostraron diferencias entre los diferentes tratamientos empleados (con sachet y sin sachet). Esto implica que no hay afectación en la calidad fisicoquímica de la fruta por la inclusión del elemento activo, excepto la propia inhibición del desarrollo del patógeno.

Se propuso un sistema novedoso fabricado a partir de bentonita como arcilla absorbente de uso alimentario, que puede cargarse con aceites antimicrobianos volátiles, y que resultó eficaz para prolongar la vida útil de frutos frescos de uchuva siendo ejemplo de aplicación para otras frutas y verduras frescas. La obtención de la arcilla es de fácil acceso y el hecho de que se presente en forma de sachet para que evite el contacto directo con el alimento y la eficacia aquí demostrada, hacen de este sistema una alternativa atractiva a los sistemas de empaque que liberan antimicrobianos volátiles.

Se espera que los resultados obtenidos en este proyecto, y el sistema de empaque configurado para la uchuva en fresco puedan ser aprovechados en el corto y mediano plazo por las cadenas productivas de este fruto en Boyacá para la reducción de pérdidas de producto de sus procesos de almacenamiento, transporte y distribución, incrementando las posibilidades de mercado.

3.5 Bibliografía

- ASTM. (2013). *G21-09 Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi*.
- Balaguera-López, H. E., Martínez, C. A., & Aníbal Herrera, A. (2015). Refrigeration affects the postharvest behavior of 1-methylcyclopropene-treated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits with the calyx. *Agronomía Colombiana*, 33(3), 356–364. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n3.51896>
- Bernardos, A., Bozik, M., Alvarez, S., Saskova, M., Perez-Esteve, E., Kloucek, P., Lhotka, M., Frankova, A., & Martinez-Manez, R. (2019). The efficacy of essential oil components loaded into montmorillonite against *Aspergillus niger* and *Staphylococcus aureus*. *Flavour and Fragrance Journal*, 34(3), 151–162. <https://doi.org/10.1002/ffj.3488>
- Cerdán, M. (2022). *Arcillas en cosmética natural: origen, tipos, usos y aplicaciones*. Mentactiva. <https://www.mentactiva.com/arcillas-en-cosmetica-natural/>
- Ciro, H., Buitrago, O., & Pérez, S. (2007). Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*.
- Clegg, F., Breen, C., Muranyi, P., & Schönweitz, C. (2019). Antimicrobial, starch based barrier coatings prepared using mixed silver/sodium exchanged bentonite. *Applied Clay Science*, 179(May), 105144. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105144>
- Conesa, A., Artés-Hernández, F., Geysen, S., Nicolai, B., & Artés, F. (2007). High oxygen combined with high carbon dioxide improves microbial and sensory quality of fresh-cut peppers. *Postharvest Biology and Technology*, 43(2), 230–237. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2006.08.016>
- de Oliveira, L. H., Trigueiro, P., Souza, J. S. N., de Carvalho, M. S., Osajima, J. A., da Silva-Filho, E. C., & Fonseca, M. G. (2022). Montmorillonite with essential oils as antimicrobial agents, packaging, repellents, and insecticides: an overview. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 209(October 2021). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.112186>
- Fang, Y., & Wakisaka, M. (2021). A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies. *Agriculture (Switzerland)*, 11(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100992>
- Garavito, J., Herrera, A. O., & Castellanos, D. A. (2021). A combined mathematical model to represent transpiration, respiration, and water activity changes in fresh cape gooseberry (*Physalis peruviana*) fruits. *Biosystems Engineering*, 208, 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.05.015>
- Garavito, J., Mendoza, S. M., & Castellanos, D. A. (2022). Configuration of biodegradable equilibrium modified atmosphere packages, including a moisture absorber for fresh cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 314(April 2021), 110761. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110761>

- Hernández-González, G. (2003). *Empacado de uchuva (Physalis peruviana L.) en películas poliméricas con atmósferas modificadas*. [Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/290
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. J., & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 247–253. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2005.11.006>
- Hoagland, L., Ximenes, E., Ku, S., & Ladisch, M. (2018). Foodborne pathogens in horticultural production systems: Ecology and mitigation. *Scientia Horticulturae*, 236, 192–206. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.03.040>
- Holešová, S., Hundáková, M., & Pazdziora, E. (2016). Antibacterial Kaolinite Based Nanocomposites. *Procedia Materials Science*, 12, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2016.03.022>
- Kapetanakou, A. E., & Skandamis, P. N. (2016). Applications of active packaging for increasing microbial stability in foods: Natural volatile antimicrobial compounds. *Current Opinion in Food Science*, 12, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.06.001>
- Kuorwel, K. K., Cran, M. J., Orbell, J. D., Buddhadasa, S., & Bigger, S. W. (2015). Review of Mechanical Properties, Migration, and Potential Applications in Active Food Packaging Systems Containing Nanoclays and Nanosilver. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), 411–430. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12139>
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N. C., & García, H. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 61–68. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:84
- Li, Q., Ren, T., Perkins, P., Hu, X., & Wang, X. (2021). Applications of halloysite nanotubes in food packaging for improving film performance and food preservation. *Food Control*, 124(August 2020), 107876. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107876>
- Li, X., Xiao, N., Xiao, G., Bai, W., Zhang, X. Q., & Zhao, W. (2021). Lemon essential oil/vermiculite encapsulated in electrospun konjac glucomannan-grafted-poly (acrylic acid)/polyvinyl alcohol bacteriostatic pad: Sustained control release and its application in food preservation. *Food Chemistry*, 348(December 2020), 129021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129021>
- Liu, B., Xue, W. wen, Guo, Z. li, Liu, S. yu, Zhu, Q. nan, Pang, X. qun, Zhang, Z. qi, & Fang, F. (2021). Water loss and pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis*) and longan (*Dimocarpus longan*) fruit maintain seed vigor. *Scientia Horticulturae*, 290, 110519. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110519>
- Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109519>
- Moreno Guerrero, C., Andrade Cuvi, M. J., & Concellón, A. (2012). Efecto del uso combinado de la radiación UV-C y atmósfera modificada sobre el tiempo de vida útil de uvilla (*Physalis*

peruviana L.) orgánica. *Tsafiqui - Revista Científica En Ciencias Sociales*, 3, 43–51.
<https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i3.220>

Mousavi Khaneghah, A., Hashemi, S. M. B., & Limbo, S. (2018). Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioproducts Processing*, 111, 1–19.
<https://doi.org/10.1016/J.FBP.2018.05.001>

Muñoz, A., Barbosa, A., Bustos, D., Ramírez, Y., Vásquez, Y., García, J., & Guancha, M. (2017). Conservación de uchuva (*Physalis peruviana*) mediante la aplicación de un recubrimiento a base de quitosano y aloe vera, utilizando el método de aspersión. *Informador Técnico*, 81(1), 86. <https://doi.org/10.23850/22565035.722>

Nath, D., R, S., Pal, K., & Sarkar, P. (2022). Nanoclay-based active food packaging systems: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 31(May 2021), 100803.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100803>

Olivares Tenorio, M. L. (2017). *Exploring the potential of an Andean fruit: an interdisciplinary study on the cape gooseberry (Physalis peruviana L.) value chain*.
<https://doi.org/10.18174/393622>

Pérez, D. A., Gómez, J. M., & Castellanos, D. A. (2020). Combined modified atmosphere packaging and guar gum edible coatings to preserve blackberry (*Rubus glaucus* Benth). *Food Science and Technology International*, 27(4), 353–365.
<https://doi.org/10.1177/1082013220959511>

Perumal, A. B., Huang, L., Nambiar, R. B., He, Y., Li, X., & Sellamuthu, P. S. (2022). Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 375, 131810.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131810>

Pinzón, E. H., Reyes, A. J., Álvarez-herrera, J. G., Leguizamo, M. F., & Joya, J. G. (2015). Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L., bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 26–35.

Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>

Ramírez, P. (2017). Consideraciones para el manejo de Botrytis. *Mercoflor-Agro*.
<https://www.metroflorcolombia.com/consideraciones-para-el-manejo-de-botrytis/>

Sierra, N. M., Londoño, A., Gómez, J. M., Herrera, A. O., & Castellanos, D. A. (2019). Evaluation and modeling of changes in shelf life, firmness and color of ‘Hass’ avocado depending on storage temperature. *Food Science and Technology International*, 25(5), 370–384.
<https://doi.org/10.1177/1082013219826825>

Sun, G., Yang, Q., Zhang, A., Guo, J., Liu, X., Wang, Y., & Ma, Q. (2018). Synergistic effect of the combined bio-fungicides ϵ -poly-l-lysine and chitoooligosaccharide in controlling grey mould (*Botrytis cinerea*) in tomatoes. *International Journal of Food Microbiology*, 276, 46–53. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2018.04.006>

- Varghese, S. A., Siengchin, S., & Parameswaranpillai, J. (2020). Essential oils as antimicrobial agents in biopolymer-based food packaging - A comprehensive review. *Food Bioscience*, *38*(October), 100785. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100785>
- Wang, L., Hu, J., Li, D., Reymick, O. O., Tan, X., & Tao, N. (2022). Isolation and control of *Botrytis cinerea* in postharvest green pepper fruit. *Scientia Horticulturae*, *302*, 111159. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111159>
- Wrona, M., Silva, F., Salafranca, J., Nerín, C., Alfonso, M. J., & Caballero, M. Á. (2021). Design of new natural antioxidant active packaging: Screening flowsheet from pure essential oils and vegetable oils to ex vivo testing in meat samples. *Food Control*, *120*(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107536>
- Wyrwa, J., & Barska, A. (2017). Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology*, *243*(10), 1681–1692. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2878-2>
- Zhao, Y., An, J., Su, H., Li, B., Liang, D., & Huang, C. (2022). Antimicrobial food packaging integrating polysaccharide-based substrates with green antimicrobial agents: A sustainable path. *Food Research International*, *155*, 111096. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111096>

4. Conclusiones y futuros desarrollos

4.1 Conclusiones

Se planteó la configuración de un sistema de empaque activo antimicrobiano para frutos frescos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en los que se identificó al moho *Botrytis cinerea* como el microorganismo preponderante causante de su deterioro. Se hicieron pruebas *in vitro* para establecer el efecto antimicrobiano y la concentración mínima inhibitoria (CMI) en fase de vapor de 2-nonanona, cinamaldehído y aceite esencial de orégano donde el cinamaldehído obtuvo la menor CMI correspondiente a 2,38 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ de espacio de cabeza por 40 días de almacenamiento a 23 °C. Por último, se evaluó *in vivo* un sistema de empaque activo con atmósferas modificadas (MAP) y con la inclusión del elemento activo de cinamaldehído contenido en la matriz de bentonita que permitió la liberación controlada del compuesto activo en el espacio de cabeza del empaque y con ello la preservación del producto empacado alcanzando un tiempo de vida útil de 43 días comparado a 34 días para el tratamiento sin elemento activo.

4.2 Futuros desarrollos

Es necesario cuantificar la cantidad de componente activo en la fase gaseosa del espacio de cabeza del empaque con precisión. Para esto se requiere saber cuánto componente se trasfiere hacia el exterior del sistema y qué cantidad de componente es adsorbido por el material de empaque y el propio alimento. Así mismo evaluar otros mecanismos de liberación en lámina o panel. Considerar la ubicación del cinamaldehído en la película de empaque y evaluar otros compuestos antimicrobianos como el eugenol, timol y citral. Este tipo de configuración puede extenderse y aplicarse a otras variedades de uchuva y a otros productos similares.

Para evitar el aumento del deterioro causado por microorganismos como *Botrytis* mediante la liberación controlada de compuestos volátiles como el cinamaldehído, se requieren materiales con alta porosidad y capacidad de desorción. Es necesario seguir investigando en este tipo de materiales, en lo posible buscando compuestos de origen natural.

Anexo A: Clasificación genética *Botrytis cinerea*

Resultado de la comparación de la secuencia problema contra la base de datos UNITE

```
# BLASTN 2.8.1+
# Database: /opt/analysis/BLAST/data/unite_all
# Mode: ultra condensed output

Query - The name of the query (input) sequence
Reference - The name of the reference sequence
Score - The BLAST score
E-value - The BLAST E-value
Pcent - Percent identity over the BLAST alignment
MisM - The number of mismatches over the BLAST alignment
Qstart - The position in the query sequence where the BLAST alignment starts
Qend - The position in the query sequence where the BLAST alignment ends
Rstart - The position in the reference sequence where the BLAST alignment starts
Rend - The position in the reference sequence where the BLAST alignment ends

Query 1 of 1: seq_5518_562_bp
Reference
XU992693 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1029 0.0 99.822 0000 1 561 560 1
MK744899 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1026 0.0 99.643 0001 1 561 562 3
XU992699 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1024 0.0 99.643 0000 1 561 559 1
XU992696 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1024 0.0 99.643 0000 1 561 559 1
XU992692 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1024 0.0 99.643 0000 1 561 559 1
MK558026 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1020 0.0 99.466 0002 1 562 585 25
XU992695 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1020 0.0 99.465 0001 1 561 559 1
XU992694 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1018 0.0 99.642 0000 4 561 556 1
XR055050 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1018 0.0 99.642 0001 1 558 557 1
XN016533 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1018 0.0 99.642 0001 1 558 557 1
XFR82809 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1018 0.0 99.642 0001 1 558 557 1
XUR21471 SH1570090.08FU Botrytis fabae 1018 0.0 99.642 0000 2 559 556 1
XFP207415 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1018 0.0 99.642 0000 1 558 556 1
XFP207414 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1018 0.0 99.642 0000 1 558 556 1
XFP207413 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1018 0.0 99.642 0000 1 558 556 1
MH871883 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1016 0.0 99.641 0000 1 557 642 88
MH860108 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1016 0.0 99.641 0000 1 557 642 88
MH782039 SH1570090.08FU Botrytis cinerea 1016 0.0 99.641 0000 1 557 560 6
```

Classifier :: Hierarchy View

Classifier: RDP Naive Bayesian rRNA Classifier Version 2.11, September 2015
 Taxonomical Hierarchy: Warcup Fungal ITS trainset 2
 Query File: classifier_seq_upload7158644741101226637.FASTA
 Query Submit Date:

Display depth:

Confidence threshold:

domain	%	Library
Fungi	100.0	

Hierarchy View (click a node to make it the root -- only show sequences assigned to that node with confidence above the threshold):

norank Root (1 sequences) [[show assignment detail for Root only](#)] [[download entire hierarchy as text file](#)]

- » » domain Fungi (1)
- » » » phylum Ascomycota (1)
- » » » » subphylum Pezizomycotina (1)
- » » » » » class Leotiomycetes (1)
- » » » » » » subclass Leotiomycetidae (1)
- » » » » » » » order Helotiales (1)
- » » » » » » » » family Sclerotiniaceae (1)
- » » » » » » » » » genus Botryotinia (1)
- » » » » » » » » » » species Botryotinia fuckeliana (1)

SECUENCIA ENSAMBLADA – AISLAMIENTO 26-1

5`

TTATTGATATGCTTAAGTTCAGCGGGTATCCCTACCTGATCCGAGGTCAACCA
TAGAAAAATTTGGGTTTTGGCAGAAGCACACCCGAGAACCTGTAACGAGAGAT
ATTACTACGTTCAGGACCCAGCGGCGCCGCACTGATTTTAGAGCCTGCCATT
ACTGACATAGACTCAATACCAAGCTAAGCTTGAGGGTTGAAATGACGCTCGAA
CAGGCATGCCCCCGGAATACCAAGGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGATTCTGA
TGATTCACTGAATTCTGCAATTCACATTACTTATCGCATTTCGCTGCGTTCTTC
ATCGATGCCAGAACCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGTTTTAACTATTATATAGTA
CTCAGACGACATTAATAAAAAGAGTTTTGGTATTCTCTGGCGAGCATACAAGG
CCCGAAGGCAGCTCGCCAAAGCAACAAAGTAATAATACACAAGGGTGGGAGG
TCTACCCTTTCGGGCATGAACTCTGTAATGATCCTCCGCAGGTTACCTACG
GAAACCTTGTTACGACTTTTTAACTTCCAAAA

3`

Anexo B: Seminario universitario. Tunja 2020



Juan de Castellanos
Fundación Universitaria

Personería Jurídica: RES. 2085 de 1987 del MEN
RES. 1904 del MEN, 5 de Agosto de 2002
NIT: 800.057.330-3

VIGILATA MPROTECCIÓN

LA VICERRECTORÍA ACADÉMICA

CERTIFICA QUE:

La Bacterióloga, **LESLEY ANDREA CORTÉS JAIMES**, identificada con C.C N° 1.032.442.136 de Bogotá, participó como ponente en el Seminario Sistema Integrado de Empaque para la Preservación de Uchuva (*Physalis Peruviana*), con el tema "**PROPIEDADES ANTIFUNGICAS**", dirigido a Graduados, Estudiantes, Docentes, y personas externas de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos, con una intensidad de ocho (8) horas, el 24 y 25 de noviembre de 2020, mediante la plataforma de Meet y Facebook Live.

Se expide la presente certificación por solicitud de la interesada, en la ciudad de Tunja, a los treinta (30) días del mes de noviembre del año dos mil veinte (2020).


P. OSWALDO MARTÍNEZ MENDOZA PhD.
Vicerrector Académico
Fundación Universitaria Juan de Castellanos

Cultivamos ciencia, sabiduría y amor

www.jdc.edu.co

Carrera 11 No. 11-44 Tunja - Boyacá • PBX: 7458676 • Email: info@jdc.edu.co



Anexo C: Ponencia oral. Congreso IICTA 2021



VICEDECANATURA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SEDE MANIZALES

CERTIFICAN QUE

**Lesley Andrea Cortés Jaimes, Diego Alberto Castellanos
Espinosa**

PRESENTARON EN EL

**V CONGRESO INTERNACIONAL EN INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN
INGENIERÍA, CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS- IICTA 2021**

Aprobado según Resolución 0854 de 30/07/2021 de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

LA PONENCIA ORAL TITULADA "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES COMPUESTOS
ANTIMICROBIANOS EN MICROORGANISMOS CAUSANTES DE DETERIORO EN FRUTOS FRESCOS DE UCHUVA".

REALIZADO DEL 13 AL 15 DE OCTUBRE DE 2021 - MODALIDAD ONLINE
CON UNA INTENSIDAD DE 8 HORAS DIARIAS

MANIZALES, 15 DE OCTUBRE DE 2021

SANTIAGO RUIZ HERRERA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES

CARLOS EDUARDO ORREGO ALZATE
DIRECTOR IICTA 2021
PROFESOR TITULAR
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES

Anexo D: Artículos científicos 2022

1. Artículo de revisión publicado.



REVIEW ARTICLE

Natural plant-based compounds applied in antimicrobial active packaging and storage of berries

Lesley A. Cortés, Aníbal O. Herrera, Diego A. Castellanos ✉

First published: 10 August 2022 | <https://doi.org/10.1111/jfpp.16995>

This article has been accepted for publication and undergone full peer review but has not been through the copyediting, typesetting, pagination and proofreading process, which may lead to differences between this version and the Version of Record. Please cite this article as doi:10.1111/jfpp.16995

2. Artículo de investigación, se está preparando un borrador de artículo basado en los capítulos 2 y 3 titulado "*Development and configuration of an antimicrobial modified atmosphere packaging for the preservation of cape gooseberry*" para someterlo a una revista categoría A1 del Publindex de Minciencias.

Anexo E: Participación “10th Shelf Life International Meeting Bogotá, Colombia X SLIM 2022”



10^o Shelf Life
International Meeting
28th Nov - 1st Dec 2022
Bogotá, Colombia

Bogotá, August 20th, 2022

Researchers

LESLEY A. CORTÉS, ANIBAL O. HERRERA , DIEGO A. CASTELLANOS
Colombia

Subject: Letter of Acceptance of Abstract to SLIM 2022, Bogotá

Dear Authors,

We are pleased to inform you that, after the peer reviewing process, the work submitted under the title "*Development of an antimicrobial active packaging system for fresh cape gooseberry (Physalis peruviana L.) fruits*" has been accepted by the Scientific Committee to be presented at the 10th Shelf Life International Meeting – SLIM 2022, Bogotá.

For more information about the event, please visit our website <https://slim.gsica.net/> or contact us at slimicta_bog@unal.edu.co. We look forward to seeing you in Bogotá in November 2022. Your presence will significantly contribute to the aim and the success of SLIM 2022!

Sincerely,

Carlos Alberto Fuenmayor, ICTA, Universidad Nacional de Colombia
Diego Alberto Castellanos, ICTA, Universidad Nacional de Colombia
Carlos Mario Zuluaga, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia
Heidy Tatiana Jiménez, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle

The chairs of SLIM 2022

Más información en: <https://slim.gsica.net/> | Contacto: slimicta_bog@unal.edu.co

Apoyan:

Facultad de Ciencias Agrarias
Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos - ICTA
Sede Bogotá

Organizan:



Bibliografía

- Abarca, R. L., Rodríguez, F. J., Guarda, A., Galotto, M. J., & Bruna, J. E. (2016). Characterization of beta-cyclodextrin inclusion complexes containing an essential oil component. *Food Chemistry*, *196*, 968–975. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.023>
- Abarca, R. L., Rodríguez, F. J., Guarda, A., Galotto, M. J., Bruna, J. E., Fávoro Perez, M. A., Ramos Souza Felipe, F., & Padula, M. (2017). Application of β -Cyclodextrin/2-Nonanone Inclusion Complex as Active Agent to Design of Antimicrobial Packaging Films for Control of *Botrytis cinerea*. *Food and Bioprocess Technology*, *10*(9), 1585–1594. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1926-z>
- Abbaszadeh, S., Sharifzadeh, A., Shokri, H., Khosravi, A. R., & Abbaszadeh, A. (2014). Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. *Journal de Mycologie Medicale*, *24*(2), e51–e56. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2014.01.063>
- Agronet. (2022). *Reporte:Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Ahmad A, Khan A, Kumar P, Bhatt RP, M. N. (2011). Antifungal activity of *Coriaria nepalensis* essential oil by disrupting ergosterol biosynthesis and membrane integrity against *Candida*. *Yeast*, *Aug;28*(8)(Epub 2011 Jul 13), 611–617. <https://doi.org/10.1002/yea.1890>
- Alamri, M. S., Qasem, A. A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G., Alqah, H. A., & Qasha, A. S. (2021). Food packaging's materials: A food safety perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(8), 4490–4499. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.04.047>
- Alegbeleye, O., Odeyemi, O. A., Strateva, M., & Stratev, D. (2022). Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. *Applied Food Research*, 100122. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100122>
- Almasaudi, N. M., Al-Qurashi, A. D., Elsayed, M. I., & Abo-Elyousr, K. A. M. (2022). Essential oils of oregano and cinnamon as an alternative method for control of gray mold disease of table grapes caused by *Botrytis cinerea*. *Journal of Plant Pathology*, *104*(1), 317–328. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-01008-8>
- Almenar, E., Del Valle, V., Catala, R., & Gavara, R. (2007). Active package for wild strawberry fruit (*Fragaria vesca* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(6), 2240–2245. <https://doi.org/10.1021/jf062809m>
- Álvarez-Martínez, F. J., Barrajon-Catalán, E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2021). Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*, *90*. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>

- ANALDEX. (2021). *Informe exportaciones de uchuva*.
<https://www.analdex.org/2021/10/20/informe-exportaciones-de-uchuva/>
- ANALDEX. (2022). *Uchuva colombiana a la conquista: en solo dos meses el país exportó US\$6,5 millones*. <https://www.analdex.org/2022/05/06/uchuva-colombiana-a-la-conquista-en-solo-dos-meses-el-pais-exporto-us65-millones/>
- Asohofrucol, & Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. (2021). *Balance del sector hortofrutícola 2020*.
- ASTM. (2013). *G21-09 Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi*.
- Avila-Sosa, R., Palou, E., Jiménez Munguía, M. T., Nevárez-Moorillón, G. V., Navarro Cruz, A. R., & López-Malo, A. (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International Journal of Food Microbiology*, 153(1–2), 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.10.017>
- Avisar, I., Droby, S., & Pesis, E. (1990). Characterization of acetaldehyde effect on *Rhizopus stolonifer* and *Botrytis cinerea*. *Annals of Applied Biology*, 116, 213–220.
- Balaguera-López, H. E., Martínez, C. A., & Aníbal Herrera, A. (2015). Refrigeration affects the postharvest behavior of 1-methylcyclopropene-treated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits with the calyx. *Agronomía Colombiana*, 33(3), 356–364. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n3.51896>
- Bandyopadhyay, S., Saha, N., Brodnjak, U. V., & Saha, P. (2019). Bacterial cellulose and guar gum based modified PVP-CMC hydrogel films: Characterized for packaging fresh berries. *Food Packaging and Shelf Life*, 22(February). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100402>
- Belay, Z. A., Caleb, O. J., & Opara, U. L. (2019). Influence of initial gas modification on physicochemical quality attributes and molecular changes in fresh and fresh-cut fruit during modified atmosphere packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 21(May). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100359>
- Bell, S. R., Hernández Montiel, L. G., González Estrada, R. R., & Gutiérrez Martínez, P. (2021). Main diseases in postharvest blueberries, conventional and eco-friendly control methods: A review. *Lwt*, 149(January), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112046>
- Bernardos, A., Bozik, M., Alvarez, S., Saskova, M., Perez-Esteve, E., Kloucek, P., Lhotka, M., Frankova, A., & Martinez-Manez, R. (2019). The efficacy of essential oil components loaded into montmorillonite against *Aspergillus niger* and *Staphylococcus aureus*. *Flavour and Fragrance Journal*, 34(3), 151–162. <https://doi.org/10.1002/ffj.3488>
- Bouarab Chibane, L., Degraeve, P., Ferhout, H., Bouajila, J., & Oulahal, N. (2019). Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1457–1474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9357>
- 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>
- Calvo, H., Mendiara, I., Arias, E., Gracia, A. P., Blanco, D., & Venturini, M. E. (2020). Antifungal activity of the volatile organic compounds produced by *Bacillus velezensis* strains against postharvest fungal pathogens. *Postharvest Biology and Technology*, 166.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111208>
- Camele, I., Altieri, L., de Martino, L., de Feo, V., Mancini, E., & Rana, G. L. (2012). In vitro control of post-harvest fruit rot fungi by some plant essential oil components. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(2), 2290–2300.
<https://doi.org/10.3390/ijms13022290>
- Canales, D., Montoille, L., Rivas, L. M., Ortíz, J. A., Yañez-S, M., Rabagliati, F. M., Ulloa, M. T., Alvarez, E., & Zapata, P. A. (2019). Fungicides Films of Low-Density Polyethylene (LDPE)/Inclusion Complexes (Carvacrol and Cinnamaldehyde) Against *Botrytis Cinerea*. *MDPI*, 1–17. <https://doi.org/10.3390/coatings9120795>
- Carvalho, C. P., & Moreno, D. A. (Eds.). (2014). *Uchuva Physalis peruviana L.: fruta andina para el mundo*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED.
- Castellanos, D. A., Cerisuelo, J. P., Hernandez-Muñoz, P., Herrera, A. O., & Gavara, R. (2016). Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. *Journal of Food Engineering*, 168, 84–95.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.07.019>
- CCI, C. C. I. (2006). *Plan Hortícola Nacional. Capítulo 2: Entorno Nacional*.
- Cedeño, M. M., & Montenegro, D. M. (2004). *Plan exportador, logístico y comercialización de uchuva al mercado de Estados Unidos para FRUTEXPO SCI Ltda*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Cerdán, M. (2022). *Arcillas en cosmética natural: origen, tipos, usos y aplicaciones*. Mentactiva.
<https://www.mentactiva.com/arcillas-en-cosmetica-natural/>
- Chawla, R., Sivakumar, S., & Kaur, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements- a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2(August 2020), 100024.
<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100024>
- Chen, M., Chen, X., Ray, S., & Yam, K. (2020). Stabilization and controlled release of gaseous/volatile active compounds to improve safety and quality of fresh produce. *Trends in Food Science and Technology*, 95(November 2019), 33–44.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.005>
- Ciro, H., Buitrago, O., & Pérez, S. (2007). Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*.

- Clegg, F., Breen, C., Muranyi, P., & Schönweitz, C. (2019). Antimicrobial, starch based barrier coatings prepared using mixed silver/sodium exchanged bentonite. *Applied Clay Science*, 179(May), 105144. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105144>
- Conesa, A., Artés-Hernández, F., Geysen, S., Nicolai, B., & Artés, F. (2007). High oxygen combined with high carbon dioxide improves microbial and sensory quality of fresh-cut peppers. *Postharvest Biology and Technology*, 43(2), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.08.016>
- Contini, C., Katsikogianni, M. G., O'Neill, F. T., O'Sullivan, M., Dowling, D. P., & Monahan, F. J. (2011). Development of active packaging containing natural antioxidants. *Procedia Food Science*, 1, 224–228. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.035>
- Cota, L. V., Maffia, L. A., Mizubuti, E. S. G., Macedo, P. E. F., & Antunes, R. F. (2008). Biological control of strawberry gray mold by *Clonostachys rosea* under field conditions. *Biological Control*, 46(3), 515–522. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.04.023>
- Cristescu, S. M., De Martinis, D., Te Lintel Hekkert, S., Parker, D. H., & Harren, F. J. M. (2002). Ethylene production by *Botrytis cinerea* in vitro and in tomatoes. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(11), 5342–5350. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.11.5342-5350.2002>
- de Oliveira, L. H., Trigueiro, P., Souza, J. S. N., de Carvalho, M. S., Osajima, J. A., da Silva-Filho, E. C., & Fonseca, M. G. (2022). Montmorillonite with essential oils as antimicrobial agents, packaging, repellents, and insecticides: an overview. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 209(October 2021). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.112186>
- De Souza, A. C., Dias, A. M. A., Sousa, H. C., & Tadini, C. C. (2014). Impregnation of cinnamaldehyde into cassava starch biocomposite films using supercritical fluid technology for the development of food active packaging. *Carbohydrate Polymers*, 102(1), 830–837. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.082>
- De Souza, A. C., Ditchfield, C., & Tadini, C. (2009). *Biodegradable Films Based on Biopolymers for Food Industries*. 511–537. <https://doi.org/10.1201/9781420086072-c17>
- DNP. (2020). *Estudio de pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia*.
- Ejaz, M., Arfat, Y. A., Mulla, M., & Ahmed, J. (2018). Zinc oxide nanorods/clove essential oil incorporated Type B gelatin composite films and its applicability for shrimp packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2017.12.004>
- El-Saber Batiha, G., Hussein, D. E., Algammal, A. M., George, T. T., Jeandet, P., Al-Snafi, A. E., Tiwari, A., Pagnossa, J. P., Lima, C. M., Thorat, N. D., Zahoor, M., El-Esawi, M., Dey, A., Alghamdi, S., Hetta, H. F., & Cruz-Martins, N. (2021). Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views. *Food Control*, 126(March). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108066>
- Fang, Y., & Wakisaka, M. (2021). A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies. *Agriculture (Switzerland)*, 11(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100992>

- Fernandez, I. (2022). *Berries, un consumo imparabile*. Mercados. <https://revistamercados.com/berries-un-consumo-imparabile/>
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). *Importancia y cultivo de la Uchuva (Physalis peruviana L.)* 1. 1–15.
- Fischer, G., Herrera, A., & Almanza, P. J. (2011). Cape gooseberry (Physalis peruviana L.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.374>
- Garavito, J., Herrera, A. O., & Castellanos, D. A. (2021). A combined mathematical model to represent transpiration, respiration, and water activity changes in fresh cape gooseberry (Physalis peruviana) fruits. *Biosystems Engineering*, 208, 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.05.015>
- Garavito, J., Mendoza, S. M., & Castellanos, D. A. (2022). Configuration of biodegradable equilibrium modified atmosphere packages, including a moisture absorber for fresh cape gooseberry (Physalis peruviana L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 314(April 2021), 110761. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110761>
- Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 35(1), 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.10.008>
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M. L., Faleiro, M. L., Miguel, M. G. C., & Antunes, M. D. C. (2015). The effect of alginate-based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.002>
- Guilbert, S., Guillaume, C., & Gontard, N. (2011). New packaging materials based on renewable resources: Properties, applications, and prospects. *Food Engineering Interfaces*, 619–630. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394601-0.00026-6>
- Guo, H., Qin, X., Wu, Y., Yu, W., Liu, J., Xi, Y., Dou, G., Wang, L., & Xiao, H. (2019). Biocontrol of Gray Mold of Cherry Tomatoes with the Volatile Organic Monomer from *Hanseniaspora uvarum*, Trans-Cinnamaldehyde. *Food and Bioprocess Technology*, 12(11), 1809–1820. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02319-6>
- Han, J. H. (2005). Antimicrobial packaging system. *Innovations in Food Packaging*, 80–107.
- He, C., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., & Tian, S. (2019a). Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*—Postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 151(August 2018), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.02.009>
- He, C., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., & Tian, S. (2019b). Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*—Postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 151(February), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.02.009>

- Hernández-González, G. (2003). *Empacado de uchuva (Physalis peruviana L.) en películas poliméricas con atmósferas modificadas*. [Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/290
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. J., & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 247–253. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2005.11.006>
- Hoagland, L., Ximenes, E., Ku, S., & Ladisch, M. (2018). Foodborne pathogens in horticultural production systems: Ecology and mitigation. *Scientia Horticulturae*, 236, 192–206. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.03.040>
- Holešová, S., Hundáková, M., & Pazdziora, E. (2016). Antibacterial Kaolinite Based Nanocomposites. *Procedia Materials Science*, 12, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2016.03.022>
- Hou, H., Zhang, X., Zhao, T., & Zhou, L. (2020). Effects of *Origanum vulgare* essential oil and its two main components, carvacrol and thymol, on the plant pathogen *Botrytis cinerea*. *PeerJ*, 8, 1–25. <https://doi.org/10.7717/peerj.9626>
- Huang, Xinduo, Han, Y., Du, J., Guo, P., Wang, Y., Ma, K., Li, N., Zhang, Z., Li, Y., & Pan, J. (2021). Inhibitory effect of cinnamaldehyde on main destructive microorganisms of Nanhai no. 1 Shipwreck. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115262>
- Huang, Xueying, Ge, X., Zhou, L., & Wang, Y. (2022). Eugenol embedded zein and poly(lactic acid) film as active food packaging: Formation, characterization, and antimicrobial effects. *Food Chemistry*, 384, 132482. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.132482>
- NTC 5166 Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones del empaque, (2003).
- NTC 6302-1 Envases, empaques y embalajes. Vocabulario., (2018).
- NTC 4580 Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones, (2022).
- Imran, M., Revol-Junelles, A. M., Martyn, A., Tehrany, E. A., Jacquot, M., Linder, M., & Desobry, S. (2010). Active food packaging evolution: Transformation from micro- to nanotechnology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 799–821. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.503694>
- Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, G. A. (2015). Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food and Agriculture*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1117749>
- Janjarasskul, T., & Suppakul, P. (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(5), 808–831. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1225278>
- Kapetanakou, A. E., & Skandamis, P. N. (2016). Applications of active packaging for increasing microbial stability in foods: Natural volatile antimicrobial compounds. *Current Opinion in Food Science*, 12, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.06.001>

- Kardam, S. K., Kadam, A. A., & Dutt, D. (2021). Retention of cinnamaldehyde in poly(vinyl alcohol) films intended for preservation of faba beans through vapor-phase antimicrobial effect. *Food Packaging and Shelf Life*, *29*, 100704. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2021.100704>
- Kuorwel, K. K., Cran, M. J., Orbell, J. D., Buddhadasa, S., & Bigger, S. W. (2015). Review of Mechanical Properties, Migration, and Potential Applications in Active Food Packaging Systems Containing Nanoclays and Nanosilver. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *14*(4), 411–430. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12139>
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N. C., & García, H. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, *8*(1), 61–68. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:84
- Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. B. (2017). Essential oils of oregano: Biological activity beyond their antimicrobial properties. *Molecules*, *22*(6). <https://doi.org/10.3390/molecules22060989>
- Li, Q., Ren, T., Perkins, P., Hu, X., & Wang, X. (2021). Applications of halloysite nanotubes in food packaging for improving film performance and food preservation. *Food Control*, *124*(August 2020), 107876. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107876>
- Li, X., Xiao, N., Xiao, G., Bai, W., Zhang, X. Q., & Zhao, W. (2021). Lemon essential oil/vermiculite encapsulated in electrospun konjac glucomannan-grafted-poly (acrylic acid)/polyvinyl alcohol bacteriostatic pad: Sustained control release and its application in food preservation. *Food Chemistry*, *348*(December 2020), 129021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129021>
- Liu, B., Xue, W. wen, Guo, Z. li, Liu, S. yu, Zhu, Q. nan, Pang, X. qun, Zhang, Z. qi, & Fang, F. (2021). Water loss and pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis*) and longan (*Dimocarpus longan*) fruit maintain seed vigor. *Scientia Horticulturae*, *290*, 110519. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110519>
- Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, *272*, 109519. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109519>
- Manso, S., Becerril, R., Nerín, C., & Gómez-Lus, R. (2015). Influence of pH and temperature variations on vapor phase action of an antifungal food packaging against five mold strains. *Food Control*, *47*, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.06.014>
- Marchese, A., Orhan, I. E., Daglia, M., Barbieri, R., Di Lorenzo, A., Nabavi, S. F., Gortzi, O., Izadi, M., & Nabavi, S. M. (2016). Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature. *Food Chemistry*, *210*, 402–414. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.111>
- Masek, A., Latos, M., Piotrowska, M., & Zaborski, M. (2018). The potential of quercetin as an effective natural antioxidant and indicator for packaging materials. *Food Packaging and Shelf Life*, *16*, 51–58. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2018.02.001>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Colombia es el mayor productor y exportador de uchuva a nivel mundial*. MADR Noticias. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-es-el-mayor-productor-y-exportador-de-uchuva-a-nivel-mundial.aspx>
- Montes-de-Oca-Ávalos, J. M., Altamura, D., Herrera, M. L., Huck-Iriart, C., Scattarella, F., Siliqi, D., Giannini, C., & Candal, R. J. (2020). Physical and structural properties of whey protein concentrate - Corn oil - TiO₂ nanocomposite films for edible food-packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100590. <https://doi.org/10.1016/j.FPSL.2020.100590>
- Moreno Guerrero, C., Andrade Cuvi, M. J., & Concellón, A. (2012). Efecto del uso combinado de la radiación UV-C y atmósfera modificada sobre el tiempo de vida útil de uvilla (*Physalis peruviana* L.) orgánica. *Tsafiqui - Revista Científica En Ciencias Sociales*, 3, 43–51. <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i3.220>
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shirkhan, F., & Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 103(April 2019), 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.009>
- Mousavi Khaneghah, A., Hashemi, S. M. B., & Limbo, S. (2018a). Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioprocess Processing*, 111, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.05.001>
- Mousavi Khaneghah, A., Hashemi, S. M. B., & Limbo, S. (2018b). Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food and Bioprocess Processing*, 111, 1–19. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2018.05.001>
- Mukurumbira, A. R., Shellie, R. A., Keast, R., Palombo, E. A., & Jadhav, S. R. (2022). Encapsulation of essential oils and their application in antimicrobial active packaging. *Food Control*, 136(October 2021), 108883. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108883>
- Muñoz, A., Barbosa, A., Bustos, D., Ramírez, Y., Vásquez, Y., García, J., & Guancha, M. (2017). Conservación de uchuva (*Physalis peruviana*) mediante la aplicación de un recubrimiento a base de quitosano y aloe vera, utilizando el método de aspersión. *Informador Técnico*, 81(1), 86. <https://doi.org/10.23850/22565035.722>
- Naciones Unidas. (2021). *Un reciente Día Internacional con un difícil punto de partida*. <https://www.un.org/es/observances/end-food-waste-day/background>
- Nath, D., R. S., Pal, K., & Sarkar, P. (2022). Nanoclay-based active food packaging systems: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 31(May 2021), 100803. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100803>
- Nieddu, M., Rassu, G., Boatto, G., Bosi, P., Trevisi, P., Giunchedi, P., Carta, A., & Gavini, E. (2014). Improvement of thymol properties by complexation with cyclodextrins: In vitro and in vivo studies. *Carbohydrate Polymers*, 102(1), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.084>

- Niu, A., Wu, H., Ma, F., Tan, S., Wang, G., & Qiu, W. (2022). The antifungal activity of cinnamaldehyde in vapor phase against *Aspergillus niger* isolated from spoiled paddy. *LWT*, *159*, 113181. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113181>
- Olivares-Tenorio, M. L., Dekker, M., Verkerk, R., & van Boekel, M. A. J. S. (2016). Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): Review from a supply chain perspective. *Trends in Food Science and Technology*, *57*(September), 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.009>
- Olivares Tenorio, M. L. (2017). *Exploring the potential of an Andean fruit: an interdisciplinary study on the cape gooseberry (Physalis peruviana L.) value chain*. <https://doi.org/10.18174/393622>
- Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., & Viñas, I. (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables - A review. *Trends in Food Science and Technology*, *46*(1), 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.017>
- Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambardoust, S. H., Soltanzadeh, M., Gullón, B., Alirezalu, K., & Lorenzo, J. M. (2021). Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *110*, 663–673. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.025>
- Pandey, S., Sharma, K., & Gundabala, V. (2022). Antimicrobial bio-inspired active packaging materials for shelf life and safety development: A review. *Food Bioscience*, *48*, 101730. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101730>
- Paulsen, E., Barrios, S., & Lema, P. (2021). Production of packaged ready – to – eat whole strawberries (cv. San Andreas): Packaging conditions for shelf-life extension. *Food Packaging and Shelf Life*, *29*(April), 100696. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100696>
- Pérez, D. A., Gómez, J. M., & Castellanos, D. A. (2020). Combined modified atmosphere packaging and guar gum edible coatings to preserve blackberry (*Rubus glaucus* Benth). *Food Science and Technology International*, *27*(4), 353–365. <https://doi.org/10.1177/1082013220959511>
- Perumal, A. B., Huang, L., Nambiar, R. B., He, Y., Li, X., & Sellamuthu, P. S. (2022a). Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, *375*(June 2021), 131810. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131810>
- Perumal, A. B., Huang, L., Nambiar, R. B., He, Y., Li, X., & Sellamuthu, P. S. (2022b). Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, *375*, 131810. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131810>
- Pinto, L., Palma, A., Cefola, M., Pace, B., D'Aquino, S., Carboni, C., & Baruzzi, F. (2020). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit. *Food*

- Packaging and Shelf Life*, 26(October), 100573.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100573>
- Pinzón, E. H., Reyes, A. J., Álvarez-herrera, J. G., Leguizamo, M. F., & Joya, J. G. (2015). Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L., bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 26–35.
- Pisoschi, A. M., Pop, A., Georgescu, C., Turcuș, V., Olah, N. K., & Mathe, E. (2018). An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 143, 922–935. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.11.095>
- Procolombia. (2021). *Uchuva tiene el potencial para superar los US\$100 millones en exportaciones en 5 años*. <https://procolombia.co/noticias/uchuva-tiene-el-potencial-para-superar-los-us100-millones-en-exportaciones-en-5-anos>
- Procomer, & BID. (2012). *Poscosecha de uchuva*.
- Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>
- Qu, S., Yang, K., Chen, L., Liu, M., Geng, Q., He, X., Li, Y., Liu, Y., & Tian, J. (2019). Cinnamaldehyde, a Promising Natural Preservative Against *Aspergillus flavus*. *Frontiers in Microbiology*, 10(December), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02895>
- Raghav, P. K., Agarwal, N., & Saini, M. (2012). Edible coating of fruits and vegetables: A review. *Education*.
- Ramírez, P. (2017). Consideraciones para el manejo de *Botrytis*. *Mercoflor-Agro*. <https://www.metroflorcolombia.com/consideraciones-para-el-manejo-de-botrytis/>
- Rangaraj, V. M., Rambabu, K., Banat, F., & Mittal, V. (2021). Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience*, 43(July), 101251. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>
- Redagráfica Colombia. (2022). *Exportaciones de uchuva colombiana podrían duplicarse tras decisión en EE UU para facilitar su ingreso*. <https://www.redagricola.com/co/exportaciones-de-uchuva-colombiana-podrian-duplicarse-tras-decision-en-ee-uu-para-facilitar-su-ingreso/>
- Reyes, A. J. (2016). Efecto del cloruro de calcio sobre la calidad del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) Calcium chloride effect on the quality of the cape. 13(2), 7–17.
- Rojas, A., Cerro, D., Torres, A., Galotto, M. J., Guarda, A., & Romero, J. (2015). Supercritical impregnation and kinetic release of 2-nonanone in LLDPE films used for active food packaging. *Journal of Supercritical Fluids*, 104, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.04.031>
- Rozenblit, B., Tenenbaum, G., Shagan, A., Corem Salkmon, E., Shabtay-Orbach, A., & Mizrahi, B. (2018). A new volatile antimicrobial agent-releasing patch for preserving fresh foods. *Food Packaging and Shelf Life*, 18(January), 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.003>

- Sanla-Ead, N., Jangchud, A., Chonhenchob, V., & Suppakul, P. (2011). Antimicrobial Activity of Cinnamaldehyde and Eugenol and Their Activity after Incorporation into Cellulose-based Packaging Films. *Packaging and Technology and Science*, 29(June), 399–412. <https://doi.org/10.1002/pts>
- Schumacher, J. (2017). How light affects the life of Botrytis. *Fungal Genetics and Biology*, 106(June), 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2017.06.002>
- Šernaitė, L., Rasiukevičiūtė, N., & Valiuškaitė, A. (2020). The extracts of cinnamon and clove as potential biofungicides against strawberry grey mould. *Plants*, 9(5), 15–20. <https://doi.org/10.3390/plants9050613>
- Shao, P., Liu, L., Yu, J., Lin, Y., Gao, H., Chen, H., & Sun, P. (2021). An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring. *Trends in Food Science and Technology*, 118(PA), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.012>
- Sharma, R. R., Singh, D., & Singh, R. (2019). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control*, 50(3), 205–221. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2009.05.001>
- Shreaz, S., Wani, W. A., Behbehani, J. M., Raja, V., Irshad, M., Karched, M., Ali, I., Siddiqi, W. A., & Hun, L. T. (2016). Cinnamaldehyde and its derivatives, a novel class of antifungal agents. *Fitoterapia*, 112, 116–131. <https://doi.org/10.1016/J.FITOTE.2016.05.016>
- Sierra, N. M., Londoño, A., Gómez, J. M., Herrera, A. O., & Castellanos, D. A. (2019). Evaluation and modeling of changes in shelf life, firmness and color of 'Hass' avocado depending on storage temperature. *Food Science and Technology International*, 25(5), 370–384. <https://doi.org/10.1177/1082013219826825>
- Smid, E. J., Koeken, J. P. G., & Gorris, L. G. M. (1996). Fungicidal and fungistatic action of the secondary plant metabolites cinnamaldehyde and carvone. *Modern Fungicides and Antimicrobial Compounds*, 173–180.
- Snyder, A. B., & Worobo, R. W. (2018). The incidence and impact of microbial spoilage in the production of fruit and vegetable juices as reported by juice manufacturers. *Food Control*, 85, 144–150. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2017.09.025>
- Sohail, M., Sun, D. W., & Zhu, Z. (2018). Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2650–2662. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1449731>
- Song, X. C., Canellas, E., Wrona, M., Becerril, R., & Nerin, C. (2020). Comparison of two antioxidant packaging based on rosemary oleoresin and green tea extract coated on polyethylene terephthalate for extending the shelf life of minced pork meat. *Food Packaging and Shelf Life*, 26(October), 100588. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100588>
- Soylu, E. M., Kurt, Ş., & Soyly, S. (2010). In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent Botrytis cinerea. *International Journal of Food Microbiology*, 143(3), 183–189.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.015>

- Sun, G., Yang, Q., Zhang, A., Guo, J., Liu, X., Wang, Y., & Ma, Q. (2018). Synergistic effect of the combined bio-fungicides ϵ -poly-l-lysine and chitoooligosaccharide in controlling grey mould (*Botrytis cinerea*) in tomatoes. *International Journal of Food Microbiology*, 276, 46–53. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2018.04.006>
- Suppakul, P. (2016). Cinnamaldehyde and Eugenol: Use in Antimicrobial Packaging. In *Antimicrobial Food Packaging*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800723-5.00039-5>
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos* (FAO (Ed.)).
- Treid. (2020). *Colombia, líder mundial en la exportación de uchuvas en 2019*. <https://www.treid.co/post/colombia-lider-mundial-en-la-exportacion-de-uchuvas-en-2019>
- Tripathi, A. D., Sharma, R., Agarwal, A., & Haleem, D. R. (2021). Nanoemulsions based edible coatings with potential food applications. *International Journal of Biobased Plastics*, 3(1), 112–125. <https://doi.org/10.1080/24759651.2021.1875615>
- Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Venuti, V., Cristani, M., Daniele, C., Saija, A., Mazzanti, G., & Bisignano, G. (2005). Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 49(6), 2474–2478. <https://doi.org/10.1128/AAC.49.6.2474-2478.2005>
- Umaraw, P., Munekata, P. E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P., & Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science and Technology*, 98(August 2019), 10–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.032>
- Valverde, J. M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., & Valero, D. (2005). Improvement of table grapes quality and safety by the combination of modified atmosphere packaging (MAP) and eugenol, menthol, or thymol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(19), 7458–7464. <https://doi.org/10.1021/jf050913i>
- Van Kan, J. A. L., Shaw, M. W., & Grant-Downton, R. T. (2014). *Botrytis* species: Relentless necrotrophic thugs or endophytes gone rogue? *Molecular Plant Pathology*, 15(9), 957–961. <https://doi.org/10.1111/mpp.12148>
- Varghese, S. A., Siengchin, S., & Parameswaranpillai, J. (2020). Essential oils as antimicrobial agents in biopolymer-based food packaging - A comprehensive review. *Food Bioscience*, 38(October), 100785. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100785>
- Villegas, C., Arrieta, M. P., Rojas, A., Torres, A., Faba, S., Toledo, M. J., Gutierrez, M. A., Zavalla, E., Romero, J., Galotto, M. J., & Valenzuela, X. (2019). PLA/organoclay bionanocomposites impregnated with thymol and cinnamaldehyde by supercritical impregnation for active and sustainable food packaging. *Composites Part B: Engineering*, 176(August), 107336. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107336>
- Villegas, Carolina, Torres, A., Rios, M., Rojas, A., Romero, J., de Dicastillo, C. L., Valenzuela, X.,

- Galotto, M. J., & Guarda, A. (2017). Supercritical impregnation of cinnamaldehyde into polylactic acid as a route to develop antibacterial food packaging materials. *Food Research International*, 99(June), 650–659.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.031>
- Vivas, J. R. C., & Rodríguez, J. M. T. (1998). Método espectrofotométrico en la preparación del inóculo de hongos dematiáceos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 15(3), 155–157.
- Wang, F., Wang, L., Zhang, X., Ma, S., & Zhao, Z. (2022). Enhancement of oil resistance of cellulose packaging paper for food application by coating with materials derived from natural polymers. *Journal of Food Engineering*, 111039.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2022.111039>
- Wang, L., Hu, J., Li, D., Reymick, O. O., Tan, X., & Tao, N. (2022). Isolation and control of *Botrytis cinerea* in postharvest green pepper fruit. *Scientia Horticulturae*, 302, 111159.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111159>
- Wilbey, A. (2013). *Emerging Food Packaging Technologies*. Woodhead Publishing Ltd.
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J. A. L. (2007). *Botrytis cinerea*: The cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 561–580.
<https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x>
- Wrona, M., Silva, F., Salafranca, J., Nerín, C., Alfonso, M. J., & Caballero, M. Á. (2021). Design of new natural antioxidant active packaging: Screening flowsheet from pure essential oils and vegetable oils to ex vivo testing in meat samples. *Food Control*, 120(June 2020).
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107536>
- Wyrwa, J., & Barska, A. (2017). Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology*, 243(10), 1681–1692.
<https://doi.org/10.1007/s00217-017-2878-2>
- Xiang, Y., Xu, R. G., & Leng, Y. (2022). How alginate monomers contribute to organic fouling on polyamide membrane surfaces? *Journal of Membrane Science*, 643, 120078.
<https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2021.120078>
- Yang, W., Weng, Y., Puglia, D., Qi, G., Dong, W., Kenny, J. M., & Ma, P. (2020). Poly(lactic acid)/lignin films with enhanced toughness and anti-oxidation performance for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144, 102–110.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.12.085>
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2017). Active packaging applications for food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17 (1).
- Zhao, W., Liang, X., Wang, X., Wang, S., Wang, L., & Jiang, Y. (2022). Chitosan based film reinforced with EGCG loaded melanin-like nanocomposite (EGCG@MNPs) for active food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 290, 119471.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2022.119471>

- Zhao, Y., An, J., Su, H., Li, B., Liang, D., & Huang, C. (2022). Antimicrobial food packaging integrating polysaccharide-based substrates with green antimicrobial agents: A sustainable path. *Food Research International*, *155*, 111096. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111096>
- Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, *3*(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.002>
- Zhu, R., Liu, H., Liu, C., Wang, L., Ma, R., Chen, B., Li, L., Niu, J., Fu, M., Zhang, D., & Gao, S. (2017). Cinnamaldehyde in diabetes: A review of pharmacology, pharmacokinetics and safety. *Pharmacological Research*, *122*, 78–89. <https://doi.org/10.1016/J.PHRS.2017.05.019>