

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

**Obtención de una película multifuncional con cáscara de *Persea americana*, CMC y gelatina para la conservación de arándanos**

---

**Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero**  
**Agroindustrial**

**Autoras:**

Bach. Cohaila Aguilar, Dayana Estefanny

Bach. Tinco Cespedes, Claudia Ariana

**Asesor:**

Dr. Castillo Calderón, Augusto

Código ORCID: 0000-0001-9237-8542

**Coasesora:**

Ms. Arevalo Oliva, María de Fátima

Código ORCID: 0000-0003-3432-9843

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente trabajo de tesis titulado “OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL CON CÁSCARA DE *Persea americana*, CMC Y GELATINA PARA LA CONSERVACIÓN DE ARÁNDANOS”, presentado por Bach. COHAILA AGUILAR DAYANA ESTEFANNY y Bach. TINCO CESPEDES, CLAUDIA ARIANA, ha sido revisado y aprobado por el asesor Dr. Augusto Castillo Calderón mediante la resolución decanal N° 261-2024-UNS-FI

A handwritten signature in blue ink, consisting of several fluid, connected strokes, positioned above a horizontal line.

**Dr. Augusto Castillo Calderón**  
**DNI: 32931123**  
**Código ORCID: 0000-0001-9237-8542**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**  
**AGROINDUSTRIAL**



---

**HOJA DE AVAL DE JURADO EVALUADOR**

En el presente trabajo de tesis titulado: "OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL CON CÁSCARA DE *Persea americana*, CMC Y GELATINA PARA LA CONSERVACIÓN DE ARÁNDANOS", para obtener el título profesional de ingeniero agroindustrial, presentado por los bachilleres: COHAILA AGUILAR DAYANA ESTEFANNY y TINCO CESPEDES, CLAUDIA ARIANA, teniendo como asesor al Dr. Augusto Castillo Calderón, designada mediante resolución decanal N° 261-2024-UNS-FI, ha sido revisado y aprobado el día 06 de octubre de 2025 por el siguiente Jurado evaluador, designados mediante resolución N° 341-2025-UNS- CFI.

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Presidente

DNI: 19096335

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

Ms. Any Berenice Córdova Chang  
Secretario

DNI: 43775869

Código ORCID: 0000-0002-2179-0641

Dr. Augusto Castillo Calderón  
Integrante

DNI: 32931123

Código ORCID: 0000-0001-9237-8542



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 17:00 horas del día seis de octubre del año dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N°341-UNS-CFI integrado por los docentes:

- |                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| ➤ Dra. Elza Berta Aguirre Vargas | (Presidente) |
| ➤ Ms. Any Berenice Córdova Chang | (Secretario) |
| ➤ Dr. Augusto Castillo Calderón  | (Integrante) |

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL CON CÁSCARA DE Persea americana, CMC Y GELATINA PARA LA CONSERVACIÓN DE ARÁNDANOS**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- COHAILA AGUILAR DAYANA ESTEFANNY - 0202012021

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Augusto Catillo Calderón** y como coasesora a la **Ing. María de Fátima Arévalo**.

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:


NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
COHAILA AGUILAR DAYANA ESTEFANNY	18	BUENO

Siendo las 18:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 06 de octubre del 2025

  
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Presidente

  
Ms. Any Berenice Córdova Chang  
Secretario

  
Dr. Augusto Castillo Calderón  
Integrante

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 17:00 horas del día seis de octubre del año dos mil veinticinco, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N°341-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Presidente)
- **Ms. Any Berenice Córdova Chang** (Secretario)
- **Dr. Augusto Castillo Calderón** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL CON CÁSCARA DE Persea americana, CMC Y GELATINA PARA LA CONSERVACIÓN DE ARÁNDANOS**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- **TINCO CESPEDES CLAUDIA ARIANA - 0202012028**

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Augusto Catillo Calderón** y como coasesora a la Ing. **María de Fátima Arévalo**.

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
TINCO CESPEDES CLAUDIA ARIANA	18	BUENO

Siendo las 18:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 06 de octubre del 2025

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Any Berenice Córdova Chang  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Augusto Castillo Calderón  
Integrante





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Dayana Estefanny COHAILA AGUILAR
Título del ejercicio:	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL CON CÁSCA...
Título de la entrega:	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL CON CÁSCA...
Nombre del archivo:	TESIS_TERMINADO_NUEVO_11_1.docx
Tamaño del archivo:	9.72M
Total páginas:	133
Total de palabras:	30,569
Total de caracteres:	171,496
Fecha de entrega:	26-sept-2025 10:41a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2762781205

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



---

"OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL.  
CON CÁSCARA DE *Persea americana*, CMC Y GELATINA  
PARA LA CONSERVACIÓN DE ARÁNDANOS"

---

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Agroindustrial

**Autores:**

Bach. Cohaila Aguilar, Dayana Estefanny  
Código ORCID: 0009-0002-7078-3261  
Bach. Tinco Cespedes, Claudia Ariana  
Código ORCID: 0009-0004-9607-5142

**Asesor:**

Dr. Augusto Castillo Calderón  
Código ORCID: 0009-0001-9237-8542

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ 2025

# OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL CON CÁSCARA DE Persea americana, CMC Y GELATINA PARA LA CONSERVACIÓN DE ARÁNDANOS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	4%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a>	4%
	Fuente de Internet	
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a>	1%
	Fuente de Internet	
3	<a href="https://repositorioinstitucional.uabc.mx">repositorioinstitucional.uabc.mx</a>	1%
	Fuente de Internet	
4	<a href="https://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a>	<1%
	Fuente de Internet	
5	<a href="https://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a>	<1%
	Fuente de Internet	
6	<a href="https://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a>	<1%
	Fuente de Internet	
7	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a>	<1%
	Fuente de Internet	
8	<a href="https://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a>	<1%
	Fuente de Internet	

## **DEDICATORIA**

Este proyecto está dedicado, en primer lugar, a Dios, por ser la fuente de mi fortaleza y por guiarme a lo largo de este camino, incluso en los momentos más inciertos.

A mis hermanos, Luis, Naomi y Yacko, por ser mi ejemplo constante de esfuerzo y mi apoyo en los momentos difíciles y en los más felices.

A mis padres, Bertha Beatriz Aguilar Ruiz y Marcos Luis Cohaila Fernández, quienes me brindaron su apoyo incondicional, su amor y sabiduría, siendo la base firme que me permitió llegar hasta aquí.

Finalmente, dedico este trabajo a mis abuelos Santos y Flor que me impulsaron a no rendirme y a creer en mí misma. Así como mi abuelo Santos y Ricardo que me han cuidado y guiado desde el cielo.

**Dayana Estefanny Cohaila Aguilar**



## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por haberme acompañado y sostenido en los momentos de mayor incertidumbre, dándome la sabiduría y el coraje para seguir adelante.

A mis hermanos, Andrea, Fabricio, Maricris e Ian, por su amor, su apoyo constante y por ser mi motivación para seguir mejorando cada día.

A mis padres, Kelly Sarit Cespedes Quiñones y Pedro Jesús Tinco Torres, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional. Ellos han sido mi guía y mi fuente de inspiración a lo largo de este camino, enseñándome con su ejemplo el valor del trabajo arduo y la constancia.

Finalmente, a mis queridas abuelas, Andrea y Maria, por su cariño inagotable y sus consejos sabios, que me han acompañado a lo largo de mi vida y han sido un refugio en los momentos difíciles.

**Claudia Ariana Tinco Cespedes**

## **DEDICATORIA**

Agradecemos a Dios por su guía y fortaleza en cada paso de este proceso. A nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional y su ejemplo de perseverancia.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro asesor, el Dr. Augusto Castillo Calderón, cuya orientación constante ha sido clave para avanzar en cada etapa de nuestra tesis.

A nuestra co-asesora, Ing. María de Fatima Arevalo Oliva, por su conocimiento y valiosas sugerencias, que nos guiaron de manera precisa hacia la culminación de este trabajo.

Asimismo, agradecemos a las ingenieras Melisa y Juanita del IITA, cuya disposición y ayuda han sido fundamentales en nuestra investigación.

También extendemos nuestra gratitud al Lic. Manuel y al técnico Oscar Chauca, cuyas contribuciones nos ayudaron a avanzar varias etapas del proceso.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de esta tesis, dejando una marca importante en este logro académico.

## INDICE

I. INTRODUCCION .....	1
II. MARCO TEORICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES.....	3
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	9
2.2.1. <i>Persea americana</i> .....	9
2.2.2. Metodos de extracción del extracto de la cáscara de palta .....	14
2.2.3. Carboximetilcelulosa .....	17
2.2.4. <i>Gelatina</i> .....	18
2.2.5. Pelicula multifuncional .....	19
2.2.6. Arándano .....	27
III. METODOLOGIA .....	30
3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	30
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	30
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	31
3.4. MÉTODO .....	32
3.4.1. Recolección y preparación del material.....	32
3.4.2. Extraccion polifenolica de cáscara de <i>Persea americana</i> .....	32
3.4.3. Preparacion de las peliculas.....	33
3.4.4. Conservacion de arándanos .....	35
3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
3.5.1. Materiales .....	35
3.5.2. Reactivos .....	35
3.5.3. Equipos.....	35
3.5.4. Materiales de Laboratorio.....	36
3.5.6. Análisis de capacidad antioxidante del extracto de cascara.....	37
3.5.7. Propiedades físicas y quimicas de la pelicula multifuncional.....	38
3.5.8. Evaluacion de la calidad de conservacion del arandano.....	41
3.6. TECNICA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
3.6.2. Análisis estadístico .....	46
IV. RESULTADOS.....	48
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE CÁSCARA DE <i>Persea americana</i> EN TÉRMINOS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	48

4.2. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL .....	50
4.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ARÁNDANO.....	53
4.3.1. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso del arándano .....	53
4.3.2. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la variación acidez del arándano .....	58
4.3.3. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la variación pH del arándano .....	63
4.3.4. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la variación de Brix del arándano .....	67
4.3.5. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la capacidad antioxidante del arándano .....	71
4.4. DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL .....	76
4.5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS QUÍMICAS DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL .....	78
4.6. EVALUACIÓN LA CALIDAD DE CONSERVACIÓN DEL ARÁNDANO CON LA FORMULACIÓN ÓPTIMA DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL EN TÉRMINOS FISICOQUÍMICOS.....	82
4.6.1. Evaluación fisicoquímica del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional.....	82
4.6.2. Evaluación de la capacidad antioxidante del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional.....	84
4.6.3. Evaluación microbiológica del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional.....	85
V. CONCLUSIONES .....	86
VI. RECOMENDACIONES .....	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	89
VIII. ANEXOS .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Producción de Persea americana en América (2020).....	10
<b>Tabla 2.</b> Contenido de polifenoles de las cascara de aguacate Hass y Fuerte ...	12
<b>Tabla 3.</b> Capacidad antioxidante del extracto de la cáscara de Persea americana .....	13
<b>Tabla 4.</b> Actividad microbiana del extracto de la cáscara de Persea americana. ....	14
<b>Tabla 5.</b> Diferentes tipos de métodos de extracción de la cascara de la Persea americana para obtención de TPC, TFC y TAC. ....	16
<b>Tabla 6</b> Producción de Persea Americana en América (2020).....	29
<b>Tabla 7.</b> Operacionalización de variables .....	31
<b>Tabla 8.</b> Numero de tratamientos según Stagraphic.....	44
<b>Tabla 9.</b> Modelo del Diseño Central Compuesto Rotacional 2 <sup>3</sup> .....	45
<b>Tabla 10.</b> Niveles de variables independientes del diseño experimental .....	45
<b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza ANOVA ( $\alpha = 95\%$ ). ....	46
<b>Tabla 12.</b> Capacidad antioxidante en términos de porcentaje de inhibición del radical DPPH y umol trolox/g muestra.....	48
<b>Tabla 13.</b> Propiedades fisicoquímicas de los tratamientos de películas multifuncionales.....	51
<b>Tabla 14.</b> Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso en los arándanos .....	55
<b>Tabla 15.</b> Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de la acidez en los arándanos .....	60
<b>Tabla 16.</b> Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de la pH en los arándanos.....	64
<b>Tabla 17.</b> Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de los Brix en los arándanos.....	68
<b>Tabla 18.</b> Efecto de la película multifuncional en la capacidad antioxidante de los arándanos.....	72
<b>Tabla 19.</b> Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de la capacidad antioxidante en los arándanos.....	73
<b>Tabla 20.</b> Optimización de múltiples respuestas.....	77
<b>Tabla 21.</b> Niveles óptimos del % de Extracto de Persea americana, CMC y gelatina.....	77
<b>Tabla 22.</b> Propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas de la formulación óptima de la película multifuncional.....	78
<b>Tabla 23.</b> Propiedades fisicoquímicas del arándano control y óptimo.....	83
<b>Tabla 24.</b> capacidad antioxidante del arándano control y óptimo.....	84
<b>Tabla 25.</b> Evaluación microbiológica del arándano. ....	85



## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1.</b> Persea americana tipo Hass .....	10
<b>Figura 2.</b> Estructura de la carboximetilcelulosa .....	17
<b>Figura 3.</b> Estructura de la gelatina .....	18
<b>Figura 4.</b> Método de Casting para elaboración de una película.....	23
<b>Figura 5.</b> Método de Extrusión para la elaboración de una película.....	24
<b>Figura 6.</b> Método de moldeo por compresión para la elaboración de una película. .....	25
<b>Figura 7.</b> Método de Electrospinning para la elaboración de una película .....	25
<b>Figura 8.</b> Diagrama de bloques del proceso de la preparación y extracción polifenólica de cascara de Persea americana .....	33
<b>Figura 9.</b> Diagrama de bloques del proceso de preparación de las películas multifuncionales.....	34
<b>Figura 10.</b> Diagrama del proceso de análisis de DPPH del extracto de Persea americana .....	38
<b>Figura 11.</b> Diagrama del proceso de análisis de DPPH de la película multifuncional .....	40
<b>Figura 12.</b> Diagrama del proceso de análisis de capacidad antimicrobiana de la película multifuncional.....	41
<b>Figura 13.</b> Diagrama del proceso de análisis de DPPH del arándano.....	43
<b>Figura 14.</b> Efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso en los arándanos .....	54
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso en los arándanos.....	56
<b>Figura 16.</b> Superficie de respuesta para la pérdida de peso en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina .....	57
<b>Figura 17.</b> Superficie de respuesta para la pérdida de peso en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC. ....	57
<b>Figura 18.</b> Superficie de respuesta para la pérdida de peso en los arándanos en función al CMC y gelatina.....	57
<b>Figura 19.</b> Efecto de la película multifuncional en la acidez en los arándanos.	58
<b>Figura 20.</b> Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional de la variación de la acidez en los arándanos .....	61

<b>Figura 21.</b> Superficie de respuesta de la variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina .....	62
<b>Figura 22.</b> Superficie de respuesta de la variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC. ....	62
<b>Figura 23.</b> Superficie de respuesta de la variación de acidez en los arándanos en función al CMC y gelatina.....	62
<b>Figura 24.</b> Efecto de la película multifuncional del pH en los arándanos .....	63
<b>Figura 25.</b> Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional de la variación de la acidez en los arándanos .....	65
<b>Figura 26.</b> Superficie de respuesta para variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina .....	66
<b>Figura 27.</b> Superficie de respuesta para variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC. ....	66
<b>Figura 28.</b> Superficie de respuesta para variación de acidez en los arándanos en función del CMC y gelatina.....	66
<b>Figura 29.</b> Efecto de la película multifuncional en la variación de Brix en los arándanos .....	67
<b>Figura 30.</b> Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional de la variación del Brix en los arándanos .....	69
<b>Figura 31.</b> Superficie de respuesta para variación de Brix en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina .....	70
<b>Figura 32.</b> Superficie de respuesta para variación de Brix en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC. ....	70
<b>Figura 33.</b> Superficie de respuesta para variación de Brix en los arándanos en función del CMC y gelatina.....	71
<b>Figura 34.</b> Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional en la capacidad antioxidante de los arándanos .....	74
<b>Figura 35.</b> Superficie de respuesta para la capacidad antioxidante en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina.....	75
<b>Figura 36.</b> Superficie de respuesta en la capacidad antioxidante en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC. ....	75
<b>Figura 37.</b> Superficie de respuesta en la capacidad antioxidante en los arándanos en función del CMC y gelatina .....	75

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Preparación del extracto de cáscara de <i>Persea americana</i> en solución de etanol al 49%.....	105
<b>Anexo 2.</b> Maceración del extracto de cáscara de <i>Persea americana</i> .....	105
<b>Anexo 3.</b> Sonicación del extracto de cáscara de <i>Persea americana</i> en el ultrasonido por 60 min. ....	106
<b>Anexo 4.</b> Centrifugación del extracto de cáscara de <i>Persea americana</i> .....	106
<b>Anexo 5.</b> Rota evaporación el extracto de cáscara de <i>Persea americana</i> .....	106
<b>Anexo 6.</b> Pesado de la muestra de CMC, gelatina y agua destilada .....	107
<b>Anexo 7.</b> Agitación de la mezcla en agua destilada a 60°C. ....	107
<b>Anexo 8.</b> Adición y mezclado del extracto de cáscara de <i>Persea americana</i> en la mezcla de CMC y gelatina a 50°C. ....	108
<b>Anexo 9.</b> Eliminación de las burbujas de la mezcla CMC, gelatina y extracto de cáscara de <i>Persea americana</i> por proceso de sonicación.....	108
<b>Anexo 10.</b> Vertido y pesado de la solución a la placa .....	109
<b>Anexo 11.</b> Secado a una temperatura de 40°C por 24 horas .....	109
<b>Anexo 12.</b> Obtención de la película óptima.....	109
<b>Anexo 13.</b> Pesado del Dpph y Trolox para el análisis de capacidad antioxidante (DPPH).....	110
<b>Anexo 14.</b> Aforo de metanol con el dphh y trolox. ....	110
<b>Anexo 15.</b> Calibración del equipo. ....	110
<b>Anexo 16.</b> Adición de la muestra a la microplaca para su previo análisis.....	111
<b>Anexo 17.</b> Muestras para el análisis de humedad y solubilidad. ....	111
<b>Anexo 18.</b> Solubilidad de las muestras.....	111
<b>Anexo 19.</b> Preparación del agar de levadura .....	112
<b>Anexo 20.</b> Esterilización del agar, solución salina y materiales.....	112
<b>Anexo 21.</b> Vaciado del agar en placas Petri .....	112
<b>Anexo 22.</b> Obtención del inóculo bacteriano según la solución patrón.....	113
<b>Anexo 23.</b> Siembra del inóculo en el medio de cultivo. ....	113
<b>Anexo 24.</b> Formación del halo de inhibición en los medios de cultivo con <i>S. Aureus</i> y <i>E.Coli</i> respectivamente .....	113
<b>Anexo 25.</b> Recepción y selección de los arándanos .....	114
<b>Anexo 26.</b> Desinfección de los arándanos en agua hipoclorada a 100 ppm .....	114

<b>Anexo 27.</b> Pesado y posterior sellado de los arándanos en las bolsas formadas por las películas.....	114
<b>Anexo 28.</b> Almacenamiento de los arándanos embolsados en 18 tratamientos de películas .....	115
<b>Anexo 29.</b> Medición de brix, pH y acidez del arándano.....	115
<b>Anexo 30.</b> <i>Envasado del arándano en la película optima y una bolsa control.</i> .....	116
<b>Anexo 31.</b> Caracterización de la materia prima arándano .....	116
<b>Anexo 32.</b> Análisis microbiológico de arándanos conservados en refrigeración y envasados en película óptima tras 7 días.....	116
<b>Anexo 33.</b> Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante del extracto de cáscara de Persea americana. .....	117
<b>Anexo 34.</b> Resultado del análisis de capacidad antioxidante del extracto de cáscara de Persea americana .....	117
<b>Anexo 35.</b> Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante de las 18 películas multifuncionales	118
<b>Anexo 36.</b> Resultados del análisis de capacidad antioxidante de las 18 películas multifuncionales.....	118
<b>Anexo 37.</b> Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante del arándano envasado en los 18 tratamientos de películas.....	119
<b>Anexo 38.</b> Resultados del análisis de capacidad antioxidante del arándano envasado en los 18 tratamientos de películas.....	119
<b>Anexo 39.</b> Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante de la película optima y del arándano envasado en ella.....	120
<b>Anexo 40.</b> Resultados del análisis de capacidad antioxidante de la película optima y del arándano envasado en ella.....	120

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo obtener y evaluar una película multifuncional a base de extracto de cáscara de *Persea americana*, carboximetilcelulosa (CMC) y gelatina, con el fin de mejorar la conservación postcosecha de arándanos (*Vaccinium corymbosum*). Esta propuesta se enmarca en los principios de la economía circular, al plantear una alternativa sostenible al uso de envases plásticos de un solo uso, de los cuales solo se recicla el 10% en el Perú, y al valorizar subproductos agrícolas como las cáscaras de *Persea americana*, que superan las 2,731 toneladas anuales. Se empleó un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) con tres variables independientes: concentración del extracto (2–6 mg/mL), gelatina (1–3%) y CMC (0.5–1.25%), obteniéndose 18 tratamientos. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos en los arándanos tratados, como pérdida de peso, pH, acidez titulable, capacidad antioxidante y propiedades de la película obtenida. La formulación óptima fue de 2.6975 mg/mL de extracto de *Persea americana*, 2.95% de gelatina y 0.24% de CMC, presentando 16.535% de humedad, 21.698% de solubilidad, 42.583% de inhibición DPPH, y actividad antimicrobiana frente a *E. coli* (2.3 cm) y *S. aureus* (2.5 cm). Los arándanos recubiertos con esta formulación presentaron una menor pérdida de peso (5% a 6%), mayor estabilidad en los grados Brix (aumento de 9% frente a 21%), una acidez más conservada (0.153% a 0.176%) y un pH más estable (variación de 4% frente a 6%), además de una mayor capacidad antioxidante (2.38  $\mu\text{mol}$  Trolox/g frente a una disminución de -1.60  $\mu\text{mol}$  Trolox/g en el control), manteniéndose las levaduras y mohos dentro del límite microbiológico aceptable (<100 UFC/g).

**PALABRAS CLAVE:** película multifuncional, *Persea americana*, arándano, gelatina, CMC, conservación postcosecha.



## ABSTRACT

The present study aimed to obtain and evaluate a multifunctional film based on *Persea americana* peel extract, carboxymethylcellulose (CMC), and gelatin, in order to improve the post-harvest preservation of blueberries (*Vaccinium corymbosum*). This proposal is framed within the principles of the circular economy, by proposing a sustainable alternative to the use of plastic containers, of which only 10% is recycled in Peru, and by valorizing agricultural byproducts such as *Persea americana* peels, which exceed 2,731 tons annually. A Rotational Central Composite Design (RCCD) was used with three independent variables: extract concentration (2–6 mg/mL), gelatin (1–3%), and CMC (0.5–1.25%), obtaining 18 treatments. Physicochemical parameters were evaluated in the treated blueberries, such as weight loss, pH, titratable acidity, antioxidant capacity, and properties of the obtained film. The optimal formulation was 2.6975 mg/mL of *Persea americana* extract, 2.95% gelatin and 0.24% CMC, presenting 16.535% moisture, 21.698% solubility, 42.583% DPPH inhibition, and antimicrobial activity against *E. coli* (2.3 cm) and *S. aureus* (2.5 cm). Blueberries coated with this formulation showed less weight loss (5% vs. 6% in the control), greater stability in Brix degrees (increase of 9% vs. 21%), more conserved acidity (0.153% vs. 0.176%) and more stable pH (variation of 4% vs. 6%), in addition to greater antioxidant capacity (2.38  $\mu\text{mol Trolox/g}$  vs. a decrease of -1.60  $\mu\text{mol Trolox/g}$  in the control), with yeasts and molds remaining within the acceptable microbiological limit (<100 CFU/g).

**KEY WORDS:** multifunctional film, *Persea americana*, blueberry, gelatin, CMC, postharvest preservation.

## I. INTRODUCCION

Actualmente en el Perú se generan aproximadamente 1,2 millones de toneladas de residuos plásticos al año, lo que equivale a un consumo anual promedio de unos 30 kg de plástico por persona (Romero et al, 2022). Sin embargo, solo el 10% de estos residuos se recicla, mientras que el 90% restante termina en ríos, mares y tierra, provocando contaminación ambiental (Blas & Lavado, 2024). Este problema se ha convertido en un desafío significativo en el país, ya que los plásticos pueden tardar desde más de 150 años hasta incluso 4000 años en degradarse, según la ambientalista Roper (2024). Pero, a pesar de los esfuerzos de concienciación y la implementación de programas para la selección y reducción de residuos plásticos, no se ha logrado minimizar eficazmente este problema. También, la industria agroexportadora, procesa y exporta alrededor de 16,766 toneladas de pulpa de palta congelada, generando aproximadamente 2,731 toneladas de cáscaras como residuos durante este proceso (Ministerio de Producción, 2023). Como consecuencia, estos residuos han aumentado significativamente en los últimos años, teniendo un impacto negativo en el medio ambiente y generando costos adicionales para su eliminación.

Así mismo, es el uso combinado de CMC y gelatina en la formulación de películas comestibles. Aunque ambos biopolímeros son ampliamente utilizados en sistemas de recubrimiento, existe una limitada cantidad de estudios que aborden de manera específica su interacción conjunta dentro de una matriz polimérica. En particular, se ha observado que una alta concentración de CMC puede acelerar la pérdida de las propiedades del fruto cubierto. Esto se debe a que el CMC, al interactuar con extractos activos, puede afectar negativamente su estabilidad y su liberación controlada. Como resultado, la acción protectora de la película se ve comprometida y disminuye rápidamente (Kowalczyk et al., 2021). Por otro lado, las agroexportadoras que procesan y exportan arándano, suelen tener problemas debido a la su corta vida útil del arándano, presentando un problema significativo en la post-cosecha, ya que los productores y consumidores enfrentan dificultades por las pérdidas generadas en este período. Esta problemática resulta especialmente desafiante para la industria agroexportadora, donde los tiempos de transporte prolongados pueden comprometer la calidad del producto, lo que puede generar pérdidas significativas durante este proceso y representa un problema económico grave, tanto para los productores como para los distribuidores (Romero et al, 2022). En este contexto, surge el planteamiento

del problema que orienta esta investigación ¿Cuál será la formulación optima de una película multifuncional con extracto de cascara de *Persea americana*, CMC y gelatina que permita la conservación del arándano? Para responder a esta incógnita, se plantea la siguiente hipótesis La formulación optima de una película multifuncional que permitirá la conservación de arándanos en términos fisicoquímicos y microbiológico será de 1-3 mg/mL de solución de extracto de cascara de *Persea americana*, 2%-3% de gelatina y 0.5%-1% CMC.

Este trabajo experimental se justifica y se centra en el aprovechamiento de las cáscaras de *Persea americana*, para crear películas multifuncionales con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Estas películas representan una alternativa sostenible a los plásticos convencionales, con el potencial de mejorar la conservación de frutas y contribuir a la reducción del desperdicio alimentario (Ramos et al., 2021). En cuanto a la importancia, la investigación busca mitigar las pérdidas post-cosecha y disminuir la contaminación mediante la reutilización de residuos agroindustriales (Li et al., 2024). Por ello se ha planteado como objetivo general:

- Obtener una película multifuncional a base de cascara de *Persea americana*, CMC y gelatina para la conservación de arándanos.

Como objetivos específicos:

- Caracterizar el extracto etanólico de cáscara de *Persea americana* en términos de capacidad antioxidante.
- Obtener una película multifuncional según el diseño experimental DCCR, Evaluar las propiedades fisicoquímicas químicas de la película multifuncional.
- Evaluar el efecto de la película multifuncional en las características fisicoquímicas (pérdida de peso, firmeza, pH, acidez, °Brix y capacidad antioxidante) del arándano durante el almacenamiento.
- Determinar la formulación óptima de la película multifuncional para prolongar la vida útil del arándano.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas químicas de la formulación óptima de la película multifuncional.
- Evaluar la calidad de conservación del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional en términos fisicoquímicos.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES

Sganzerla et al. (2021) en su artículo “Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: A perspective coating material to improve the shelf life of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*)” elaboró películas bioactivas con CMC (2,5%, p/v) y glicerol (1%, v/v) disueltos en agua desionizada que se funcionalizó con 10, 30 y 50% (v/v) de extracto obtenido por extracción sólido-líquido con etanol (70%, v/v) para mejorar la vida útil del tomate cherry. Concluyendo gracias a un análisis estadísticos de chi-cuadrado de Pearson y t de Student que a mayor contenido de extracto sus propiedades físico-químicas son favorables ya que disminuye su solubilidad en agua (<15%) y humedad (<26%), pero aumenta su capacidad de bloqueo UV (transmitancia por debajo del 0,8% y opacidad mayor a 0,71 abs mm<sup>-1</sup>) y tasa de compuestos antioxidantes, además, se comprobó su capacidad como envase activo ya que las películas cambiaron de color según el pH y finalmente en pruebas poscosecha, se observó que las películas mantuvieron la calidad del tomate cherry durante 15 días para los tratamientos 30% y 50%, sin embargo, la concentración de extracto afectó la aceptación visual.

Lupina et al. (2022) en su artículo “Functional Properties and Storage Stability of Astaxanthin-Loaded Polysaccharide/Gelatin Blend Films—A Comparative Study” evaluaron la influencia de los polisacáridos CMC, goma arábiga (GAR), almidón modificado con anhídrido octenil succínico (OSA) y polisacáridos de soja solubles en agua (WSSP) (3,75 % p / p ), GEL de cerdo Tipo A de Bloom 240 (1,25 % p / p ), glicerol (1 % p / p ) y cantidades crecientes de astaxantina AstaSana (AST) (0, 0,25, 0,5, y 1% p / p ) sobre las características funcionales de las películas activas comestibles. Concluyendo gracias a un análisis estadísticos de chi-cuadrado de Pearson y t de Student que las películas con CMC y WSSP fueron los mejores bloqueadores de UV-C, la incorporación de AST al 1% aumento 25% mas la actividad antirradical de las películas en comparación con los controles, donde el CMC y GAR exhibieron el cambio de color más bajo y poder antiradical con valores mas altos. Además, la adición de AST disminuyó su humedad de la película (<15%) y las películas CMC/GEL exhibieron mas del doble de resistencia a la tracción que la de GAR/GEL, WSSP/GEL, y OSA/GEL pero con bajo alargamiento de rotura (22,59-

12,57%) que el AOS y WSSP. Sin embargo, la red más ordenada de la película basada en CMC era susceptible al debilitamiento mecánico en presencia de AST.

Łupina et al. (2023) en su artículo “Antioxidant polysaccharide/gelatin blend films loaded with curcumin — A comparative study” desarrolló y evaluó como las películas que contenían polisacáridos (3,75 % p/p), GEL con 240 de bloom (1,25 % p/p), glicerol (1 % p/p) y cantidades crecientes de CUR (0, 0,005, 0,01 y 0,02 % p/p) en solución etanoica afectaban las propiedades de una película multinacional. Concluyendo que la incorporación de CUR mejoró las propiedades de barrera a la luz UV/VIS, sin afectar significativamente otras propiedades fisicoquímicas, además, la película CMC75/GEL25 presentó bajo húmedas (<15%), bajo alargamiento de rotura (29,25-30,9 %), lo que indica poca capacidad de estirarse, pero con excelente resistencia mecánica y rigidez. Sin embargo, presentó en su análisis microscópico que la curcumina se distribuyó exclusivamente en microesferas ricas en gelatina debido a su afinidad hidrofóbica, resultando en microesferas más grandes y numerosas cuando se añadió etanol como codisolvente en el sistema CMC75/GEL25 lo cual pudo haber generado un incremento en la permeabilidad al vapor de agua de la matriz a diferencia de los demás ( $59,11 \times 10^{-11} - 55,65 \times 10^{-11} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ) y debido a que la CUR causó reordenación en la estructura de triple hélice de GEL, afectó la velocidad y la completitud de la liberación del compuesto activo, siendo más rápida y completa.

Łupina et al. (2022) en su artículo “Controlled release of water-soluble astaxanthin from carboxymethyl cellulose/gelatin and octenyl succinic anhydride starch/gelatin blend films” tuvo como objetivo examinar el impacto de diversas concentraciones (0, 0,25, 0,5, 1%) de astaxantina (AST) en películas activas comestibles de carboximetilcelulosa/gelatina (CMC75/GEL25) y almidón/gelatina de anhídrido octenil succínico (OSA75/GEL25). Concluyendo que las películas CMC eran más opacas, fuertes y menos elásticas que las basadas en OSA, y la adición de AST intensificó su color rojo y contribuyó a una disminución en la resistencia a la perforación y la permeabilidad al oxígeno ( $174,12-34,06 \text{ cm}^3 \mu\text{m}/(\text{m}^2 \text{ d})$ ). La cinética de liberación de AST, que mostró un comportamiento cuasi-fickiano, fue más lenta en las películas OSA75/GEL25 que en las CMC75/GEL25, correlacionándose positivamente con la actividad antirradical. Las películas OSA75/GEL25 suplementadas con AST al 1% ofrecieron una liberación controlada y maximizaron



el potencial antioxidante de la AST, sugiriendo su viabilidad como envases con antioxidantes activos para aplicaciones específicas.

Adzhieva et al. (2024) en su artículo “Preparation and investigation of the structural and mechanical properties of biodegradable gelatin- based films” desarrollaron películas biodegradables a base de gelatina con aditivos de carboximetilcelulosa (CMC) para aplicaciones en envases de alimentos y portadores de medicamentos. Utilizando microscopía electrónica de barrido, se identificó que las películas de gelatina y CMC presentan una alta rugosidad superficial. La adición de CMC a las películas de gelatina resultó en una disminución significativa de la resistencia y del módulo elástico, haciéndolas menos rígidas, pero más elásticas; aunque la deformación máxima se observó con una relación de masa CMC/gelatina de 0,7 (41,2/58,8). Este comportamiento se atribuye a la formación de biocompuestos mediante enlaces de hidrógeno e interacciones electrostáticas entre los grupos funcionales de la gelatina y las macromoléculas de CMC, estabilizadas por interacciones hidrófobas. Las películas de CMC mostraron una alta permeabilidad al aire y una baja resistencia al agua, características influenciadas por la textura del material. Los datos obtenidos mediante espectroscopia IR revelaron que las películas más estables son aquellas formuladas con una mezcla de CMC y gelatina. Además, se utilizó glicerol para ajustar las propiedades de deformación de las películas.

Vargas-Torrico et al. (2022) en su artículo “Development of gelatin/carboxymethylcellulose active films containing Hass avocado peel extract and their application as a packaging for the preservation of berries” investigó el impacto de los extractos de cáscara de aguacate en películas de gelatina-carboximetilcelulosa (Gel-CMC) para la conservación de bayas. Por ello, elaboro películas con 0,49% de CMC, 0,49% GEL Tipo B, 0,3% glicerina y extractos en concentraciones de (0,02%-0,04%) disueltos en 1 ml de etanol. Concluyendo que la incorporación de los extractos mejoró las propiedades mecánicas de las películas, aumentando su resistencia y elasticidad. Además, se observó una reducción significativa en el contenido de humedad, de 12.48% a 11.02%, y en la solubilidad, de 40.13% a 35.39%, con la adición de extracto a concentraciones de 200, 300 y 400 mg L<sup>-1</sup>. Asimismo, se presentó valores bajos de permeabilidad al vapor con valores de  $2,9 \times 10^{-11}$  –  $4,11 \times 10^{-11}$  g m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>. Además, las películas con extracto de cáscara de aguacate mostraron parámetros colorimétricos, opacidades superiores, un aumento del 39% de

la inhibición de radicales DPPH y actividad antifúngica contra *R. stolonifer* y *A. niger* a diferencia de la película de control, actuando como agentes antioxidantes y de barrera UV, protegiendo y prolongando la vida útil de los alimentos.

Rawdkuen et al. (2020) en su artículo “Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films” se exploró el uso de extractos de antocianinas de diversas fuentes vegetales, como col lombarda, batatas, roselle y guisantes mariposa, para la fabricación de películas de gelatina inteligentes. La antocianina del guisante mariposa mostró una notable sensibilidad al pH, sugiriendo su idoneidad como indicador de color en estas películas. Utilizando un método de fundición, se prepararon películas con extractos de gelatina tipo B (3%), glicerol (25%) y antocianinas (2%), manteniendo un pH de 6 durante el proceso. Se observaron diferencias significativas en propiedades clave, como resistencia a la tracción baja (0,7MPa) y permeabilidad al vapor de agua relativamente alto ( $8 \times 10^{-11} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ) para el extracto de guisante mariposa a diferencia de los demás. Estas películas demostraron una actividad antioxidante destacada y una mayor sensibilidad al pH, lo que las convierte en candidatas prometedoras para envases inteligentes. Sin embargo, se reconoce la necesidad de investigaciones adicionales para evaluar su desempeño en aplicaciones alimentarias reales, subrayando la importancia de continuar la investigación en este campo emergente.

Ferreira & Santos (2022) en su artículo “From by-product to functional ingredient: Incorporation of avocado peel extract as an antioxidant and antibacterial agent” investigó el potencial de los extractos de cáscara de aguacate por soxhlet como sustitutos de conservantes sintéticos en la mayonesa. Los extractos mostraron un valor de IC<sub>50</sub> de  $38,23 \pm 2,33 \text{ } \mu\text{g extract} \cdot \text{mL}^{-1}$  en la inhibición del 50% del DPPH y una capacidad superior para inhibir el crecimiento de bacterias Gram positivas en comparación con el ácido ascórbico. Se produjeron cinco tipos de mayonesa y se almacenaron a 4 °C, donde ninguna mostró crecimiento microbiano y todas inhibieron el crecimiento de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, indicando su potencial como sustitutos de conservantes. La estabilidad oxidativa demostró resultados similares a los antioxidantes sintéticos, respaldando la posibilidad de que los extractos reemplacen a estos últimos. La incorporación de los extractos no afectó las propiedades físicas y químicas de la mayonesa durante el almacenamiento, mientras

que el análisis sensorial reveló puntuaciones ligeramente inferiores en algunos parámetros.

Ahmed & Janaswamy (2023) en su artículo “Strong and biodegradable films from avocado peel fiber” expresó que los plásticos, ampliamente utilizados por su versatilidad y bajo costo, presentan un problema ambiental significativo debido a su lenta biodegradación, que puede tardar cientos de años. Esta acumulación provoca riesgos para la salud humana y la vida silvestre debido a la lixiviación de sustancias químicas. Por ello, en la búsqueda de alternativas sostenibles, se ha investigado el uso de extractos de celulosa de subproductos agrícolas, como la cáscara de aguacate. Encontrando que las películas de extracto de cáscara de aguacate (APE), solubilizadas en  $\text{ZnCl}_2$  y reticuladas con iones  $\text{Ca}^{2+}$ , tienen una menor absorción de agua y permeabilidad al vapor, y una mayor resistencia a la tracción, con valores superiores al plástico de polietileno comercial. Las películas APE con más  $\text{Ca}^{2+}$  mostraron una menor solubilidad en agua y menor contenido de humedad. Además, estas películas biodegradan en aproximadamente 30 días en suelo con 22% de humedad, con una vida media de 3,19 a 4,63 días, demostrando su potencial como material de embalaje biodegradable.

Bof et al. (2021) en su artículo “Bio-Packaging Material Impact on Blueberries Quality Attributes under Transport and Marketing Conditions”, elaboraron películas biodegradables para estudiar los efectos del envasado en la conservación del arándano. Realizaron una simulación de las condiciones de transporte para su exportación mediante una cámara de enfriamiento con una temperatura de  $1 \pm 0,5^\circ\text{C}$  y una humedad relativa controlada de  $\text{HR} > 85\%$  durante 30 días. Posteriormente, las muestras se mantuvieron durante 7 días a  $20^\circ\text{C}$  para simular las condiciones de almacenamiento y comercialización, en las que se llenaron 25 bayas con aproximadamente 55 g. Determinaron que, al estar refrigeradas durante 30 días, no se encontró crecimiento de moho al final del periodo de almacenamiento; sin embargo, cuando la fruta estuvo expuesta a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , se manifestaron microorganismos. Asimismo, los frutos envasados con bolsas biodegradables mostraron una menor incidencia de pudrición en comparación con los envasados con envases comerciales, perdiendo solo el 8% de su peso. Después de los 30 días de almacenamiento, se encontraron en buen estado. Además, los arándanos conservados con películas biodegradables solo perdieron el 16,7% de compuestos fenólicos y el

15,2% de su capacidad antioxidante, mientras que los envasados con bolsas comerciales perdieron el 63,7% y el 72,4% de su capacidad antioxidante, respectivamente.

Xiquan et al. (2024), en su artículo titulado “Development of starch-based films reinforced with curcumin-loaded nanocomplexes: Characterization and application in the preservation of blueberries”, desarrollaron una película biodegradable a base de almidón y curcumina para la conservación de arándanos, dividiéndolos en dos grupos: uno de control y otro envuelto con la película. Ambos grupos fueron almacenados durante 24 días a  $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . El grupo de control mostró una pérdida de peso del  $13,44\% \pm 27\%$ , mientras que el grupo envuelto con la película solo perdió un  $9,19\% \pm 0,41\%$ . Además, la firmeza de la muestra control disminuyó rápidamente después de 8 días de almacenamiento, mientras que la muestra tratada mantuvo su firmeza, indicando que el embalaje con la película podría retrasar la pérdida de peso y el ablandamiento de la fruta. A partir del día 12, la muestra de control presentaba arrugas, mientras que la muestra tratada no mostró alteraciones evidentes durante todo el período de almacenamiento. En cuanto al contenido de sólidos solubles, ambas muestras presentaron un aumento: el control alcanzó un  $13,07\% \pm 0,35\%$  y el tratamiento un  $14,67\% \pm 0,21\%$ . Durante los días 8 a 20, el contenido de sólidos solubles del control disminuyó rápidamente. La acidez disminuyó en ambos tratamientos. Finalmente, evaluaron el contenido de antocianinas y, después de 24 días de almacenamiento, el control tuvo  $1,11 \pm 0,14$  mg/g, mientras que el tratamiento alcanzó  $1,65 \pm 0,09$  mg/g, siendo relativamente alto. El contenido fenólico fue de  $4,46 \pm 0,20$  mg/g en el control y de  $5,79 \pm 0,21$  mg/g en el tratamiento.

Xiaoxue et al. (2020), en su estudio "Changes of the Aroma Composition and Other Quality Traits of Blueberry ‘Garden Blue’ during the Cold Storage and Subsequent Shelf Life", investigaron los cambios en la calidad del arándano durante su almacenamiento, en donde se envasaron los arándanos en recipientes ventilados y se almacenaron a  $0^{\circ}\text{C}$  durante 0, 15 y 60 días, y a  $25^{\circ}\text{C}$  durante 8 días. Los valores de pérdida de peso al finalizar el almacenamiento fueron del 2,4% a los 15 días y del 10,3% a los 60 días mientras que la incidencia de descomposición aumentó significativamente durante el período de almacenamiento a  $25^{\circ}\text{C}$ , principalmente debido a la fuga de jugo que tuvo el arándano, con alrededor del 10% de las bayas pudriéndose después de 8 días. En comparación, las bayas almacenadas a  $0^{\circ}\text{C}$

presentaron una descomposición más severa, con aproximadamente el 20% de las bayas pudriéndose al final del periodo de los 60 días experimental. En cuanto al pH, no cambió después de 15 días de almacenamiento a 0°C en comparación con la muestra fresca en el momento de la cosecha (pH = 2,94). Sin embargo, el pH aumentó a 3,21 después de 60 días de almacenamiento a 0°C. El mal olor se desarrolló más rápidamente a temperaturas de almacenamiento más altas, siendo perceptible después de solo 4 días a 25°C, mientras que a 0°C se conservó el buen olor.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1. *Persea americana***

La Palta llamada también *Persea Americana* es una fruta muy nutritiva y sabrosa. Actualmente, el procesamiento del aguacate es responsable de generar grandes cantidades de residuos, cuya disposición y tratamiento inadecuado genera problemas y problemáticas ambientales (Ramos et al., 2021). La piel, las semillas, la pulpa gastada y las hojas forman parte de los residuos resultantes, que representan aproximadamente el 21-30% del peso total del fruto, mientras que las pieles pueden representar aproximadamente el 11-17% (Figueroa et al., 2017 ; Rodríguez et al., 2021). Sus características en cuanto a forma y tamaño dependen de la variedad, y suele tener un peso promedio de 181 g cuyas proporciones son pulpa (66,71%), cáscara (13,48%) y semilla (18,29%), siendo las cáscaras y semillas descartadas como residuos agroindustriales durante el consumo o procesamiento de la pulpa. Sin embargo, su cáscara contiene grandes cantidades de compuestos bioactivos que contienen compuestos fenólicos con buenas propiedades antioxidantes y antimicrobianas (De Dios et al, 2022; Navarrete et al., 2023).

El aguacate se suele cultivar principalmente en los países de Latinoamérica y se espera que el mercado del aguacate procesado crezca de 1.700 millones de dólares registrados en 2018 a 2.700 millones de dólares en 2024 (Ramos et al., 2021). El procesamiento del aguacate genera aproximadamente 2,42 millones de toneladas de subproductos (cáscaras y semillas) que se liberan al medio ambiente. Según Araujo et al. (2021), estos subproductos representan aproximadamente el 30% del peso fresco del fruto del aguacate, por lo que la producción y procesamiento del aguacate generan grandes cantidades de residuos que plantean problemas ambientales.



### 2.2.1.1. Variedades de la palta

La producción de aguacate en Perú se ha triplicado en la última década, alcanzando las 550.000 toneladas en 2020 (FAOSTAT, 2023). Las principales variedades que se cultivan en el país son Hass y Fuerte. Más del 95 % de la producción de Hass se exporta, mientras que la variedad Fuerte se destina al consumo interno. La producción se concentra en la costa desértica, proviniendo más del 40% del total de las regiones de La Libertad y Lima. La mayoría de los productores utilizan agua andina suministrada a través de canales federales para regar sus jardines. La principal temporada de producción va de abril a junio, similar a otros países del hemisferio sur como Chile y Sudáfrica (Ahmed y Janaswamy, 2023).

#### Figura 1.

*Persea americana tipo Hass.*



**Fuente:** Ahmed y Janaswamy (2023)

### 2.2.1.2. Tendencias de la producción de la palta

Según FAOSTAT (2023), estos son los 8 principales países en exportar producir *Persea Americana*, siendo México es el principal productor de aguacates en América, mientras que Perú ocupa el tercer lugar en producción y exportación de *Persea americana* en el continente, con un total anual de 672,232.24 toneladas.

**Tabla 1**

*Producción de Persea americana en América (2020).*

Países	Producción (Tn)
Mexico	2393848.57
Colombia	829146.66
Perú	672232.24
Republica Dominicana	620086.96
Brazil	267059

Fuente: FOASTAT (2023).

### 2.2.1.3. Compuestos fenólicos de la cáscara de palta

Los compuestos fenólicos son todas aquellas que engloban sustancias que poseen varias funciones fenol la cual se encuentran unidas a estructuras aromáticas o alifáticas la cual suelen a contribuir en la pigmentación de muchas partes de plantas y pueden ayudar a prevenir diversas enfermedades, además juegan un papel importante y fundamental en el metabolismo, crecimiento, reproducción y protección frente a microorganismo patógenos (Tremocoldi, 2020). De acuerdo con Kemadjou et al. (2021), la presencia de compuestos fenólicos, como la procianidina B2 y la epicatequina, que son particularmente abundantes le confieren a la cascara propiedades microbianas; en cuanto a la epicatequina que contiene la cascara de la *Persea americana*, es la causante de inhibir el crecimiento del hongo tipo C gloesporoides. Por otro lado, en cuanto a su color externo, las antocianinas del tipo 3-O-glucósido son las causantes de dar este color morado/negro a la cascara durante a su maduración, mientras que la clorofila es la causante de dar el color verde durante su crecimiento (Ramos et al., 2021).

Por otro lado, Jimenez et al. (2020) nos dice que la cascara de aguacate contiene grandes cantidades de compuestos fenólicos de hasta 527 mgGA/g, la cual le da un efecto foto protector contra los daños inducidos por los rayos UV. Así mismo, Nyakang'i et al. (2023) nos dice que el contenido fenólico total de las cáscaras de aguacate oscila entre 0,6 y 6,8 mg de equivalente de ácido gálico por gramo de muestra (mg GAE/g) para la cáscara de aguacate fresca. Por otro lado, se ha demostrado que las cáscaras secas de aguacate tienen un contenido fenólico total de entre 4,3 - 120,3 mg GAE/g; en las variedades de aguacate y varía con las condiciones de secado.

**Tabla 2.***Contenido de polifenoles de las cascarras de aguacate Hass y Fuerte.*

Contenido fenólico			
Autores	Hass	Fuerte	Método
Kemadjou et al. (2021)	802 mgGAE/gMS	867 mgGAE/gMS	Extracto acuoso
	813 mgGAE/gMS	1037 mgGAE/gMS	Extracto hídretanolico
	1836 mgGAE/gMS	2407 mgGAE/gMS	Extracto etanolico
	63,5 mg/g extracto	120,3 mgGA/g extracto	Etanol/Agua
Tremocoldi et al. (2020)	6,35 mgGA/100g MS	12,03 mgGA/100g MS	Etanol/Agua
	3,29 mg GA/100g MS	4,05 mgGA/100g MS	Acetato de etilo
	8,997 mgGA/100g MS	17,21 mgGA/100g MS	Metanol

**2.2.1.4. Capacidad antioxidantes**

Según Mejía et al. (2021), las propiedades o capacidad antioxidante son las habilidades que tiene la sustancia para combatir el daño oxidativo, ayudan a prevenir y reducir (neutralizar) los procesos los radicales libres, la cual mantienen la frescura y calidad en los frutos. Consumir frutas con alta capacidad antioxidante puede ser beneficioso para diversas enfermedades. Estos antioxidantes previenen el daño celular causado por los radicales libres y retrasan la oxidación de los lípidos en los alimentos, reduciendo su deterioro durante el almacenamiento y conservando sus propiedades organolépticas. Además, estas propiedades antioxidantes son una medida importante del valor nutricional de las frutas.

De lo anterior, el método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo es el más utilizado debido a que ofrece el primer enfoque para poder evaluar la capacidad antioxidante la cual dona un electrón de hidrogeno y reduce, eliminación o neutralizar los radicales libres. El método es un radical cromógeno estable púrpura que al reducirse se vuelve amarillo, mide a 517 nm. Suele ser una técnica bastante sencilla, ya que solo se requiere un espectrofotómetro UV o un espectrómetro de resonancia

paramagnética electrónica. Los resultados de este tipo de método pueden expresarse de diversas maneras como el poder reductos de la muestra o empleando un estándar antioxidante, la cual son muchas veces el trolox, pero también el ácido ascórbico.

**Tabla 3.**

*Capacidad antioxidante del extracto de la cáscara de Persea americana*

	DPPH μmol/g	%Inhibición	IC	Autor
Hass	310 ± 36,9	-	-	Tremocoldi et al. (2020)
Fuerte	420,5 ± 23,2	-	-	
S.N.	46,49 ± 4,04	50%	72,64 μg/mL	Velderrain et al. (2021)
Hass	-	50%	38,23 μg/mL	Ferreira & Santos (2022)
Hass	-	50%	1,73 mg/g	Ovalle-Marin et al. (2020)
Hass	-	50%	38,77 μg/mL	Hefzalrahman et al. (2022)
Hass	-	50%	40-59 μg/mL	Shi et al. (2021)
Hass	-	50%	38,79 μg/mL	Ferreira et al. (2022)
Fuerte	-	50%	2,5 mg/mL o 2500 μg /mL	Borja & Goetschel (2022)
Hass	-	50%	1,44 mg/mL o 1440 μg /mL	
S.N	-	50%	77,298 μg/mL	Munthe et al. (2023)
S.N.	-	50%	185,891 μg/mL	Rahman et al. (2023)
S.N.	-	50%	71,96 μg/mL	Kamaraj et al. (2020)

#### 2.2.1.5. Capacidad antibacteriana del extracto de cáscara de palta

La capacidad antimicrobiana es la habilidad que tiene una sustancia para poder inhibir el crecimiento microbiano como bacterias, hongos, virus y parásitos. La cáscara de palta, su extracto, suele ser utilizada para la eliminación de diversos microorganismos como *Echerichian Coli*, *Staphylococcus aureus* y una actividad moderada de *Streptococcus pneumoniae*. De acuerdo con Sierra et al. (2020), los compuestos fenólicos, flavonoides, derivados del ácido p-cumarínico y los ácidos grasos insaturados que se encuentran presentes en la cáscara le confieren esta

propiedad de inhibir el crecimiento microbiano, dicha propiedad estara relacionada con el solvente que se utilizara para su extracción.

**Tabla 4.**

*Actividad microbiana del extracto de la cáscara de Persea americana.*

Microorganismo	Solvente	Dilución	CMI	CMB	Autor
Echerichia Coli	Hexano	1:2	1000 mg/mL	1000 mg/mL	Sierra et al. (2020)
	Metanol	Sin actividad microbiana			
	Cloroformo	1:2	1000 mg/mL	1000 mg/mL	
	Acetato de etilo	Sin actividad microbiana			
Staphylococcus aureus	Metanol	Sin actividad microbiana			
	Cloroformo	1:2	1000 mg/mL	1000 mg/mL	
	Acetato de etilo	1:2	1000 mg/mL	1000 mg/mL	
Echerichia Coli	Etanol	20:80	0.030 mg/mL	0.075 mg/mL	Melgar et al. (2021)
Staphylococcus aureus		20:80	0.30 mg/mL	0.45 mg/mL	

Nota: CMI: Conentración minima inhibitoria, CBM: Concentraciones minimas bactericidas

### 2.2.2. Métodos de extracción del extracto de la cáscara de palta

La extracción suele ser un proceso importante, la cual se basa en separar los compuestos que se encuentran presentes en un producto. Es por ello que existen diferentes metodos de extraccion (convencionales y no convencionales), la cual dependera de la gran cantidad de compuestos que se quiera extraer (Ver Tabla 3).

#### 2.2.2.1. Extracción por ultrasonido

Este método es muy amplio y fácil de usar para obtener compuestos bioactivos, ya que presenta bajos tiempos de extracción, alto rendimiento, selectividad y es amigable con el medio ambiente. El procedimiento implica que la muestra en un

matraz sea sometida a ondas de ultrasonido, las cuales rompen mecánicamente la pared celular, liberando los componentes presentes en la muestra junto con el calentamiento a una temperatura máxima de 60°C con el disolvente que contiene la muestra puede lograr incrementar la difusión del extracto, optimizando así la transferencia de masa a través de la interfaz sólido líquido (Fajardo et al., 2022).

#### **2.2.2.2. Macerado**

La técnica de maceración puede ser sencillo, inocuo y económico (bajo costo) pero puede requerir tiempos de extracción largos y se puede obtener rendimientos menores o de baja eficiencia. Mediante este método se suele extraer compuestos bioactivos de una muestra vegetal la cual consiste en triturar el material crudo y ponerlo en contacto con una cantidad suficiente de solvente en un matraz o tanque cerrado a temperatura ambiente, esta mezcla se denomina tintura, hasta poder lograr una extracción completa por medio de agitación. La mezcla de la matriz sólida con el solvente se denomina tintura (Valdiviezo et al., 2021).

#### **2.2.2.3. Microondas asistidas**

El método de extracción asistida por microondas es un procedimiento optimizado, eficiente y rápido, caracterizado por su alta productividad, ya que permite aumentar la temperatura en la matriz de la muestra, además, suele ser utilizada para extraer compuestos bioactivos o químicos de diversas matrices (como plantas, alimentos, suelos, etc.) mediante el uso de energía de microondas la cual interactúan con las moléculas polares en la muestra y solvente (Valdiviezo et al., 2021).

**Tabla 5.**

*Diferentes tipos de métodos de extracción de la cascara de la Persea americana para obtención de TPC, TFC y TAC.*

Autores	Metodo	Variedad	Parametros	Resultados
Monzón et al. (2021)	Asistida por ultrasonido	Hass	Solvente: Etanol M/S: 1g/20ml Frecuencia: 42Khz Potencia: 100W	TPC: 124,050 – 125,187 mgGAE/g en base a materia seca TAC: 316,187 umol/mg muestra seca
Velderrain et al. (2021)	Maceración	N.E.	Solvente: Etanol al 80% M/S: 1:15 Tiempo: 20 horas Temperatura: 40°C	TPC: 142,23 mgGAE/g extracto TFC: 36,40 mgCE/g extracto TAC: DPPH: 0,40 mMol/g extracto ABTS: 1,62 mMol/g extracto FRAP: 1,02 mMol/g extracto
Ferreira & Santos (2022)	Extracción por Soxhlet	N.E.	Solvente: Etanol M/S: 1:36 m/V Tiempo: 3 horas Temperatura: 45°C	TPC: 197,42 mgGAE/g MS TAC: 38,23 g/mL
Hefzalrahman et al. (2022)	Asistida por ultrasonido	Hass	Solvente: Etanol al 80% M/S: 1:20 p/V Intensidad: 20% Tiempo: 30 min Frecuencia: 50Hz Potencia: 300W	TPC: 35,4 mgGAE/g muestra seca.
Babiker et al. (2021)	Asistida por ultrasonido	N.E.	Solvente: Hexano y metanol M/S: 1g/20ml hexano + 10ml de metanol: agua (80:20 v/v) Tiempo: 15 min	-Verde TPC: 723,02 mgAE/100 g peso fresco TAC: 82,82% (fresco) -Maduro TPC: 713,35 mgAE/100g prdo fresco TAC: 80,9% (Secado por aire)
Kamaraj et al. (2020)	Maceración	N.E.	Solvente: Agua destilada M/S: 20g/1000ml Temperatura: 80°C Tiempo: 20 min Agitación: N.E.	TPC: 51,58 mgGAE/g extracto TAC: 71.96 g/ml

Nota: TPC: Contenido total de polifenoles, TFC: Contenido de Flavonoides, TAC: Capacidad antioxidante.

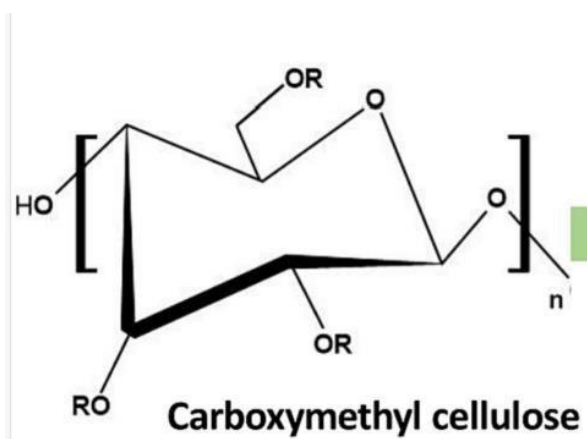
### 2.2.3. Carboximetilcelulosa

El CMC es un compuesto resultante de la reacción de la celulosa y el almidón, es un polvo blanco insípido e inodoro altamente soluble en agua o soluciones alcalinas, que se ha convertido en una alternativa al plástico gracias a sus diversas aplicaciones (Roy & Rhim, 2020). CMC genera excelentes propiedades de resistencia a la tracción, viscosidad y unión con características limitadas de resistencia al agua y suavidad en películas biodegradables. El uso de CMC en estas aplicaciones se puede atribuir a propiedades como biocompatibilidad, biodegradabilidad, no toxicidad y buenas propiedades de retención de agua (Tyagi & Thakur, 2023). De manera similar, Hadimani et al. (2023) nos dice que, al ser biodegradable, biocompatible e hidrófilo, funciona bien como agente formador de película con alteración de moléculas exógenas en comparación con la celulosa nativa.

La carboximetilcelulosa o goma de celulosa es un derivado de la celulosa que se obtiene reemplazando ciertos grupos hidroxilo de la celulosa por grupos carboximetilo. La carboximetilcelulosa es uno de los biopolímeros biodegradables, ampliamente utilizado en la preparación de biopelículas, por lo que su aplicación en películas tiene un alto potencial, ya que proporciona resistencia mecánica que generalmente es vital para determinar la durabilidad en sus usos asociados, propiedades de barrera efectivas, alta transparencia y buena estabilidad térmica; Estos, cuando se aplican, exhiben permeabilidad al vapor ya que generalmente tienen una alta afinidad por el agua (Viswanathan et al., 2024).

**Figura 2.**

*Estructura de la carboximetilcelulosa.*



**Fuente:** Ramakrishnan et al. (2024)



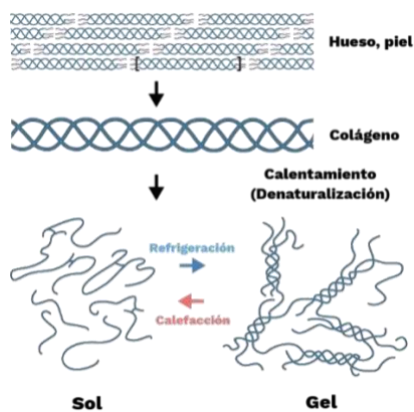
De acuerdo con Wu et al. (2025), el grado de sustitución del CMC (definido como el número de grupos hidroxilo sustituidos por grupos carboximetilo en promedio por unidad de anhidroglucosa) determina su solubilidad en agua, este al tener un grado de sustitución más alto proporciona al CMC-Na una mejor solubilidad en agua y, por lo tanto, lo hace más efectivo en la aplicación. Además, esta al tener un grado de sustitución alto, aumenta la hidrofiliidad de las películas, por lo tanto puede hacer que la película absorba más agua, se hinche y, potencialmente, aumente su permeabilidad al vapor de agua.

#### 2.2.4. *Gelatina*

La gelatina es una sustancia polimérica que se obtiene mediante la hidrólisis/desnaturalización térmica limitada del colágeno de la piel, los huesos y el tejido conectivo de las pieles de los animales (Alipal et al., 2021). Es un aditivo importante que se utiliza para diversos productos de la industria alimentaria pero también desempeña un papel importante en el desarrollo de material de envasado biodegradable (Zhang et al., 2020). De acuerdo con Abedinia et al. (2020), la gelatina posee varias funciones que la convierten en un material adecuado para la preparación de películas, incluida su capacidad de formación de gel, hidrofiliidad, transparencia, adhesividad y propiedades de barrera a la luz. Además de ellos, la gelatina se clasifica en tipo B pueden ser menos estables que los geles de gelatina tipo A, esto ya que, las del tipo A suelen ser más rígidas y menos elásticas la cual es ventajoso si se requiere de mayor resistencia mientras que la del tipo B son más flexibles (Quingying et al., 2022).

**Figura 3.**

*Estructura de la gelatina.*



**Fuente:** Alipal et al. (2021)

Asimismo, la gelatina también es usada tradicionalmente para la preparación de envolturas (plástico o películas) comestibles, esto debido al resultado de la hidrólisis parcial del colágeno puede producir una película flexible, gruesa y con buenas propiedades mecánicas la cual suelen mejorar cuando se utiliza el cloruro de sodio en concentraciones bajas, actualmente, la gelatina suele utilizarse para cubrir los embutidos; además, su estructura helicoidal que se encuentra formada por 20 aminoácidos le confiere estas propiedades funcionales y la capacidad de formar películas, pero independientemente, todas tienen muy buena resistencia a la tracción y barrera a los gases, aromas y migración de gases pero que sin embargo, la gelatina posee escasa barrera al vapor de agua debido a su naturaleza hidrofílica (Pérez, 2020). Así mismo, la gelatina que contiene alto peso molecular pueden entrelazarse más fácilmente la cual forman una red intrincada más robusta y resistente las cuales son capaces de hincharse y al contener muchos iones metálicos divalentes como el cobre, hierro, zinc y calcio pueden formar enlaces iónicos con grupos de ácido carboxílicos sus polipeptídicos la cual puede influir en la organización de la red, por otro lado, la una gelatina con bajo peso molecular tiene menos capacidad de formar enlaces resultado una red más débil y menos densa la cual no aporta nada de rigidez a las películas (Xing et al., 2014; Pérez, 2020)

#### **2.2.5. Película multifuncional**

Las películas multifuncionales son materiales delgados y flexibles, generalmente elaborados con polímeros biodegradables o naturales, que cumplen simultáneamente funciones de protección y conservación de los alimentos (Khan et al., 2024). A diferencia de los empaques convencionales, estas películas no solo actúan como una barrera física frente al oxígeno, la humedad o la luz, sino que también pueden incorporar compuestos activos o bioactivos como antioxidantes, antimicrobianos o agentes reguladores de pH que interactúan directamente con el alimento o su entorno. Gracias a estas propiedades, las películas multifuncionales contribuyen a prevenir la oxidación, reducir el crecimiento microbiano y mantener parámetros fisicoquímicos esenciales como el pH, los grados °Brix y la acidez, favoreciendo la estabilidad y calidad del producto durante su almacenamiento (Wang et al., 2022). Además, representan una alternativa sostenible y ecológica frente a los plásticos tradicionales, al ser reciclables, degradables y no tóxicas.

### 2.2.5.1. Materiales para películas multifuncionales

- **Plastificantes.** Los plastificantes suelen ser usadas en películas para obtener buenas propiedades mecánicas, estos mejoran su flexibilidad del material, además suelen facilitar el proceso y fabricación de las películas, las cuales lo hacen más fácil de moldear, además, los tipos de plastificantes pueden afectar directamente a las propiedades como las de barrera, absorción al agua, es por ello que Escobar (2020), los plastificantes que suelen ser clasificados en:
  - **Glicerol.** Es un plastificante que contiene tres grupos hidroxilos, no volátil y suele ser altamente soluble en agua la cual ayuda a mantener la flexibilidad de las películas. Este suele ser un líquido higroscópico claro, incoloro y viscoso con un sabor dulce, suele ser soluble al etanol, metanol y agua pero poco soluble a la acetona, además, suele ser el plastificante más utilizado en la elaboración de películas o recubrimientos en bajas concentraciones ya que un elevado uso puede lograr e influenciar negativamente en la permeabilidad. El glicerol tiene un peso molecular de 92,09 g/mol la cual le permite difundir fácilmente en la matriz polimérica aumentando su flexibilidad.
  - **Sorbitol.** Este suele ser un polialcohol de seis carbonos que se obtiene debido a la reducción de la glucosa, este tipo de plastificante tiene la consistencia de un jarabe claro, inodoro, incoloro, viscoso, pH neutro con sabor dulce y refrescante, además, suele ser soluble en agua e insoluble en cloroformo y éter. Tiene un peso molecular más elevado que el glicerol con 182,17 g/mol la cual hace que no pueda lograr a difundirse de manera rápida en la matriz polimérica pero aún así logra proporcionar flexibilidad.
  - **Polietilenglicol.** Este suele ser muy soluble en agua pero insoluble en alcohol, éter y aceites la cual tiene grupos hidroxilos. Tiene una volatilidad más alta que la glicerol y su uso puede resultar con el deterioro considerable de la resistencia mecánica del material, también se suelen utilizar para mejorar la flexibilidad pero estas al estar en contacto con la gelatina puede lograr a tener un impacto negativo sobre la formación de geles.

- **Almidón.** El almidón, un polisacárido que se encuentra abundantemente en varias fuentes de origen vegetal como el maíz, el trigo, el arroz y las papas, sirve como un biopolímero renovable y biodegradable con aplicaciones versátiles (Osemwegie et al., 2022). Su estructura molecular, compuesta por unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos, confiere al almidón propiedades únicas que lo convierten en un candidato atractivo para los materiales de envasado sostenibles. Una de las principales ventajas del almidón como biopolímero radica en su biodegradabilidad, que permite la descomposición de los materiales de envasado en compuestos naturales en condiciones ambientales adecuadas (Cheng et al., 2021).
- **Compuestos bioactivos.** Los componentes bioactivos son cruciales para mejorar la funcionalidad de las películas comestibles. Estos compuestos pueden derivarse de diversas fuentes naturales y son conocidos por sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes y beneficiosas para la salud. Las categorías principales de compuestos bioactivos utilizados en las películas comestibles incluyen aceites esenciales, compuestos fenólicos, polisacáridos, proteínas/péptidos, enzimas, vitaminas y probióticos (Chen et al., 2022). Al integrar estos diversos compuestos bioactivos, las películas comestibles pueden ofrecer no solo protección física a los productos alimenticios, sino también prolongar la vida útil, mejorar la seguridad y proporcionar beneficios adicionales para la salud a través de sus propiedades funcionales.

#### 2.2.5.2. Ventajas de las películas multifuncionales

De acuerdo con Ramakrishnan et al. (2024), las ventajas que tienen las películas funcionales son:

- Prolongar la vida útil de los productos alimenticios envasados mediante la creación de una barrera protectora contra factores externos como la humedad, el oxígeno, la luz y la contaminación microbiana.
- Preservar su calidad y garantizar la seguridad de los consumidores.
- Son esenciales para satisfacer las crecientes demandas y expectativas de productores y consumidores.

- Ayudan a inhibir el crecimiento de microorganismos nocivos, lo que mejora aún más la seguridad y la vida útil de los productos

### 2.2.5.3. Clasificación de las películas

De acuerdo con Abdullah et al. (2022), las películas suelen clasificarse en:

- **Biodegradables.** Este tipo de película, suelen estar diseñadas para lograr descomponerse en el suelo después de su uso, además, estas están elaboradas de materiales orgánicos. Estas suelen descomponerse de manera natural en el medio ambiente gracias a la acción de microorganismos, que a diferencia de los plásticos convencionales que pueden tardar años en descomponerse y causar problemas ambientales significativos, es por ello que, este tipo de películas se integran en el ciclo biológico.
- **Activos.** Estos suelen estar diseñados para poder interactuar el producto para protegerlos con el objetivo de extender su vida útil, mejorar la seguridad alimentaria y añadir valor al producto. Estas películas al poseer propiedades antimicrobianas, antioxidantes las cuales pueden retardar la oxidación y preservar su frescura, fitoquímicos, absorbentes de humedad las pueden llegar a proteger al producto de contaminantes como lograr inhibir el crecimiento microbiano, proliferación de patógenos y preservar la calidad del producto.
- **Inteligentes.** Estos suelen definirse como un sistema que permite obtener información a los consumidores sobre la calidad del producto envasado durante toda su cadena de producción mediante un seguimiento en su almacenamiento, estos tipos de películas se encuentran vinculados con diferentes sensores e indicadores las cuales identifican, registran y transmiten la información sobre los cambios de calidad del producto mientras que los indicadores suelen monitoriar la temperatura, pH del producto y frescura de tal manera que cambien de color o emitan señales que el producto se encuentra fresco.

### 2.2.5.4. Método de elaboración de películas multifuncional

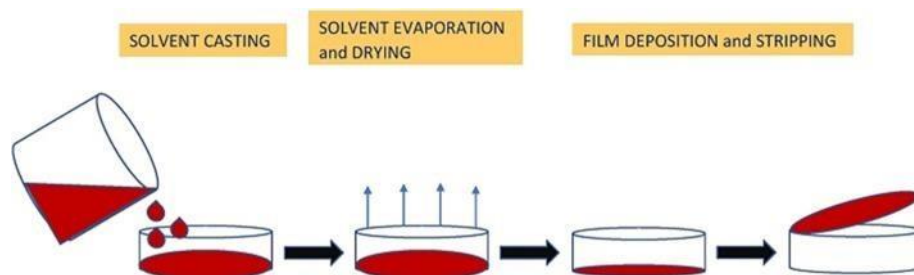
- **Casting.** El método de casting es una técnica innovadora que se utiliza para desarrollar películas disolviendo un biopolímero y mezclándolo con plastificantes y/o aditivos para preparar una solución

para formar películas biodegradables (Siqueira et al., 2021). Este proceso, generalmente húmedo, se realiza a temperatura ambiente, permitiendo un control preciso de las propiedades de la película, facilitando el proceso de producción y siendo compatible con una amplia gama de materiales y aditivos, produciendo también películas de alta calidad (Rajeshkumar et al., 2022). Las ventajas de este tipo de método es que puede lograr una distribución uniforme de su espesor, maximizar la pureza óptica, además, al elaborar las películas a base de este método pueden lograr poseer planitud y estabilidad.

De acuerdo con Suhag et al. (2020), este suele ser el método más utilizado y suele implicar tres pasos para elaborar películas, el primer paso es la solubilización del biopolímero con el disolvente adecuado como etanol, el segundo paso viene a ser lo que es la fundición la cual se vierte en un molde predefinido o en placas de vidrio y el tercer paso es ya el secado de la solución que fue fundida la cual suele ser el paso más importante, aquí en este último paso, ocurre lo que es la evaporación del solvente utilizado para la formación de la película adherida al molde para esto se suelen utilizar hornos de aire caliente, secador de bandeja, microondas o secadores al vacío la cual facilitan lo que es la eliminación o evaporación del solvente y desprendimiento de la película.

#### Figura 4.

*Método de Casting para elaboración de una película.*



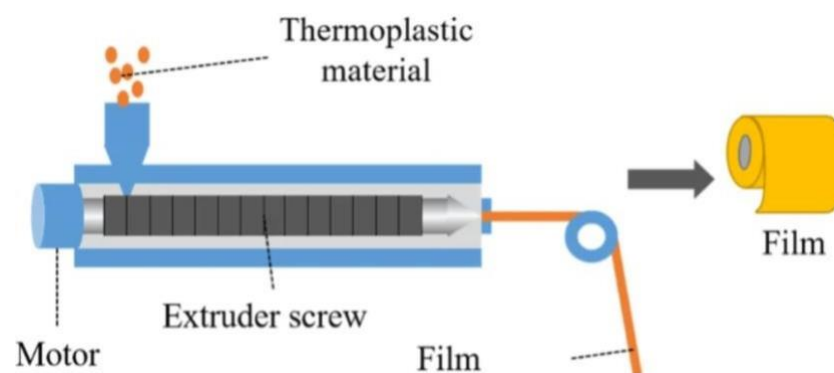
**Fuente:** Wang et al. (2022)

- **Extrusión.** Este método de elaboración de película suele ser una técnica principal de escala comercial. Este método suele combinar la estructura de los materiales y mejorar lo que son sus propiedades físicas y químicas y suele dividirse también en tres zonas: la primera es la zona de alimentación

en donde se suelen mezclar los componentes y comprimirse con el aire, la segunda es la de amasado y la ultima es la zona de calentamiento en la parte final o salida del quipo. La desventaja que suele tener la extrusión es que solo se puede usar o procesar mezclas de materias primas de baja humedad y que toleren la temperatura, la cual suele restringir mucho el uso de otros tipos de plimeros, además, su uso tiene un mayor costos debido a los equipos especilizados que se suele usar (Suhag et al., 2020).

**Figura 5.**

*Método de Extrusión para la elaboración de una película.*

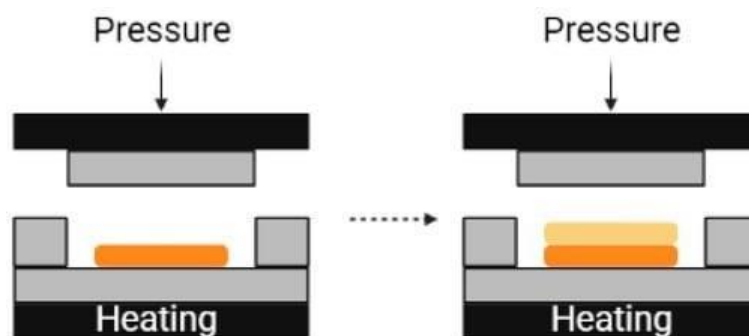


**Fuente:** Wang et al. (2022)

- **Moldeo por compresión.** Con este tipo de método se suelen producir películas delgadas y consiste en calentar para luego enfriar; aquí se suele utilizar poco tiempo para la obtención de la película, la cual consiste en colocar o agregar el polímero en una prensa de moldeo para formar una película bicapa. La gran ventaja es que permite la producción a gran escala pero se suelen utilizar temperaturas alrededor de 180°C lo que hace imposible el uso de aditivos naturales debido a que la mayoría es termosensible (Bataglin et al., 2023).

**Figura 6.**

*Método de moldeo por compresión para la elaboración de una película.*

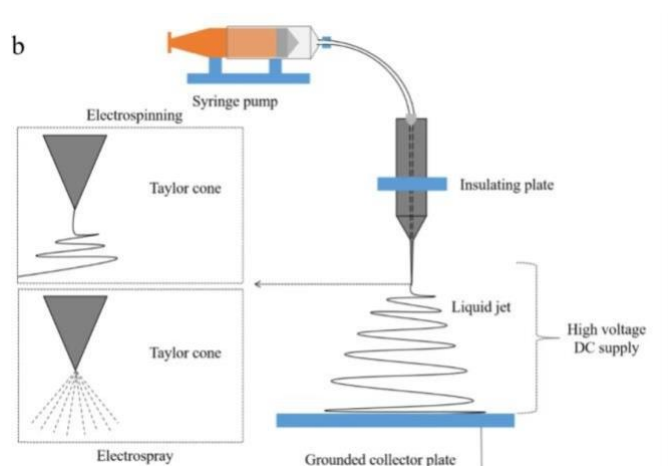


**Fuente:** Wang et al. (2022)

- **Electrohilado.** También conocido como electrospinning, es una de las técnicas más innovadoras y prometedoras la cual tiene la principal ventaja de poder producir materiales fibrosos en escalas nanométrica y submicronica. Este tipo de tecnología utiliza el uso de fuerzas electrostáticas para poder formar materiales fibrosos, la cual consiste en extruir una solución polimérica de la huleta, formando así una gota en la punta la cual sufre una deformación cuando se logra aplicar el campo eléctrico, cuando esto sucede, el chorro de polímero suele ser expulsado (Bataglin et al., 2023).

**Figura 7.**

*Método de Electrospinning para la elaboración de una película.*



**Fuente:** Wang et al. (2022)



### 2.2.5.5. Propiedades

De acuerdo con Solano et al. (2020), una película debe tener propiedades como:

- **Solubilidad.** La solubilidad de una película indica su capacidad para disolverse en un solvente, ya sea en agua o en solventes orgánicos. Películas con baja solubilidad en agua son ideales para productos alimenticios con alta humedad, pero una alta solubilidad es crucial para asegurar una biodegradabilidad rápida y minimizar el impacto ambiental (Grisales-Mejía et al., 2024). Además, las películas altamente solubles facilitan la liberación controlada de ingredientes activos, lo que agrega valor a su uso en diversas aplicaciones; Chou et al., 2023).
- **Humedad.** El contenido de humedad en una película influye directamente en su flexibilidad. Cuanto mayor sea el contenido de agua, más flexible será la película, reduciendo su tendencia a romperse. Sin embargo, la presencia de compuestos hidrófobos en su formulación puede reducir el nivel de humedad, lo que podría afectar su estructura final y su desempeño en aplicaciones específicas (Vargas-Torrico et al., 2022).
- **Permeabilidad al vapor de agua.** La permeabilidad es la medida de la cantidad de vapor que puede llegar a pasar en un área específica de la película en un tiempo determinado bajo condiciones específicas de temperatura y humedad. Esta propiedad se calcula a partir de la combinación de la Ley de Fick para la difusión y la Ley de Henry para la solubilidad. Además, la permeabilidad también suele tener relación con el grosor de la película ya que esta al tener un mayor grosor la permeabilidad aumentará, la cual no permitiría el ingreso del vapor. En materiales hidrófilos, el agua puede aumentar la difusión de moléculas, lo que incrementa la permeabilidad al vapor (Kalkan et al., 2020).
- **Propiedades mecánicas.** Las propiedades mecánicas de las películas, como la resistencia a la tracción, son esenciales para medir su capacidad de soportar fuerzas sin romperse (Chou et al., 2023). A mayor resistencia a la tracción, mayor será su durabilidad y capacidad para proteger productos durante el transporte (Behjati & Yazdanpanah, 2021). El alargamiento a la rotura, que mide la elasticidad, es crucial, ya que una mayor elasticidad indica una película más flexible y menos propensa a

fracturarse (Chou et al., 2023). El módulo de Young, que define la rigidez, evalúa la rigidez o flexibilidad de la película, lo que es vital para determinar su comportamiento mecánico. Este parámetro es fundamental porque películas más rígidas pueden ser más resistentes, pero menos flexibles, mientras que películas más flexibles pueden absorber mejor los impactos sin romperse, optimizando su uso en diversas aplicaciones (Chou et al., 2023).

- **Barrera contra la luz.** Esta propiedad permite que la película tenga una barrera contra la luz, la cual tiene la capacidad de bloquear o filtrar luz la cual se encuentran relacionadas con el color y opacidad de la película. Es por ello que, para poseer este tipo de propiedad se suelen utilizar extractos de plantas que dan color y opacidad a las películas que actúan como barrera de luz.
- **Antimicrobianas.** Esta propiedad suele referirse a la capacidad que tiene la película de inhibir el crecimiento de microorganismos en las frutas, la cual se logra mediante la incorporación de agentes antimicrobianos a las películas. Esta propiedad suele ayudar a extender la vida útil de los productos y prevenir la infección de microorganismos. Esto se logra añadiendo agentes antimicrobianos, como extractos del epicarpio de aguacate, que contienen compuestos antifúngicos como la perisina, polifenoles (catequinas y epicatequinas) y taninos condensables (Jiménez-Velázquez et al., 2020). Estos compuestos pueden prevenir infecciones y mantener la frescura del producto (Jiménez-Velázquez et al., 2020; Andleeb et al., 2020).

#### 2.2.6. Arándano

Los arándanos (*Vaccinium* spp.) son un alimento popular en todo el mundo, apreciado por su delicioso sabor, su color rojo-azul y su alto contenido de compuestos fenólicos como ácidos clorogénicos, flavonoides y antocianinas (Herrera et al., 2021). Sin embargo, con un contenido de agua de alrededor del 85% en peso, son altamente perecederos, lo que limita su uso como fuente de antioxidantes y restringe su disponibilidad en el mercado (Duan et al., 2022). Por esta razón, se emplean diversas tecnologías para preservar sus propiedades nutricionales y organolépticas, extendiendo su vida útil y evitando la pérdida de

componentes volátiles durante el procesamiento y almacenamiento. La conservación también puede mejorar la calidad del fruto al mantener su color, sabor y nutrientes (Bof et al., 2021).

Los arándanos son frutos climatéricos, lo que significa que, una vez alcanzada su madurez fisiológica, pueden desarrollar características similares a los que maduran en la planta. Al llegar a este punto, experimentan cambios en color, firmeza y sabor, que están relacionados con sus características organolépticas. Sin embargo, una vez alcanzada la máxima calidad, pasan rápidamente a un estado de sobremadurez debido a la temperatura, lo que provoca un ablandamiento excesivo y pérdida de sabor y color, situaciones que deben evitarse. La congelación es el método más común para conservar alimentos, pero en el caso de frutas frescas como los arándanos, el volumen de hielo que se forma dentro de la fruta puede dañar los tejidos celulares, lo cual sigue siendo un desafío (Arteaga et al., 2021). A temperaturas de 4-5°C, los arándanos tienen una tasa de respiración muy baja y pueden conservarse en atmósferas controladas con 10-12% de CO<sub>2</sub> y aproximadamente 10% de O<sub>2</sub> durante 6 a 9 semanas, dependiendo del cultivar y su estado inicial de madurez. Sin embargo, el alto costo de esta tecnología lleva a buscar alternativas que no solo se apliquen durante el almacenamiento, sino también durante el transporte, así mismo, los arándanos frescos pueden llegar almacenarse a 5°C con un tiempo de duración de 2-7 semanas, sin embargo, la temperatura óptima recomendada para su almacenamiento es de 0°C (Arteaga et al., 2021).

#### **2.2.6.1. Composición del arándano**

Los arándanos generalmente contienen una alta cantidad de azúcar (glucosa y fructosa) y agua (84%). Estas frutas suelen ser ricas en ácidos orgánicos, minerales y fibra, especialmente pectina. En términos de composición, los arándanos tienen un 85,78% de humedad, 70,65% de azúcares totales, 0,73% de grasa, un 4,10% de proteínas tendiendo un valor energético de 192 kJ y además poseen una capacidad antioxidante oscila entre 70,2 y 217,55 mg/g, mientras que su contenido total de polifenoles oscilan entre 48 y 304 mgGAE/g de peso de fruta fresca y dependerá estrictamente del cultivar, condiciones de cultivo y madurez (Duan et al., 2022).

### 2.2.6.2. Producción de arándanos

El arandano es una fruta que requiere un clima templado y suelos ácidos. La producción de este fruto ha aumentado siendo los principales productores a nivel mundial Estados Unidos, Chile, Canadá, Perú y España. Según FAOSTAT (2023), estos son los principales países en exportar arándano.

**Tabla 6**

*Producción de Persea Americana en América (2020).*

Países	Producción (Tn)
Estados Unidos	317150
Perú	292584
Chile	122512.15
Canadá	180117
España	70420
Mexico	67304.53
Poland	64000

Fuente: FAOSTAT (2023)

### 2.2.6.3. Parametros fisicoquimicos

De acuerdo con Santisteban et al. (2024), los arandanos suelen ser altamente perecederos y suelen tener una conducta respiratoria climaterica, esta fruta a comparación de otras debe ser cosechadas en su punto de madurez debido a que después no logran mejorar sus características organolépticas. Así mismo, esta fruta al ser pequeñas, requieren menor tiempo para su enfriamiento pero, por otro lado, al tener una piel delgada los hacen sensible a los daños mecánicos y pérdida de agua durante su cosecha

- **Color.** El arándano a medida que madura fisiológicamente suele cambiar de un color verde rosa hasta morado/azul esto debido a la síntesis de pigmentos antocianínicos. Los arándanos que están destinados a la exportación deben tener un color uniforme.
- **Acidez, brix y pH.** Los ácidos orgánicos que predominan en el jugo del arándano son el ácido málico y cítrico los cuales se encuentran en mayor cantidad. Por otro lado, los sólidos solubles del arándano suelen variar entre 10 a 17°Bx la cual suelen medirse mediante un refractómetro la cual indica los niveles de azúcares de la fruta. Así mismo, el pH durante su cosecha para que sea considerado de calidad debe estar en un intervalo de 2,25-4,25 pero esto dependerá de la variedad (Santisteban et al., 2024).

### **III. MÉTODOLÓGIA**

#### **3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación tuvo un enfoque experimental puro, ya que se manipuló la variable independiente en un entorno controlado para observar en qué medida dichas manipulaciones generaban un efecto específico en las variables dependientes. Además, contó con un alcance descriptivo, explicativo y correlacional, puesto que se buscó proporcionar un análisis exhaustivo de las propiedades de la película multifuncional y su impacto en la conservación del arándano. Para ello, se evaluaron parámetros fisicoquímicos relevantes, tales como la pérdida de peso, acidez, pH y actividad antioxidante, abarcando desde la descripción de sus características hasta la explicación de los mecanismos involucrados y la identificación de relaciones clave entre variables.

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.2.1. Población**

Se tomó como población las cascaras de *Persea amaericana*, consideradas como residuos generados por la empresa ARA FOODS Industry S.A.C situado en Sec. Carrizal Otr. Carrizal s/n Parc Uc 119466 Panamericana Norte km 373 de la ciudad de Casma, Provincia de Casma – Ancash. Todos los arándanos la cual fueron obtenidos del centro de abasto “La Perla” localizados en la Av. José Pardo S/N piso 1 kilómetro 0 situado en el distrito de Chimbote, provincia del Santa de la región de Ancash.

##### **3.2.2. Muestra**

La muestra de la investigación estuvo conformada por 10 kg de las cascara de *Persea americana* tipo Hass, 2 kg de arándanos variedad Biloxi seleccionados de un solo tamaño, color y textura uniforme.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

**Tabla 7.**

*Operacionalización de variables*

	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala medida
Independiente	Extracto de cáscara de <i>Persea americana</i>	Sustancia obtenida al separar los componentes mediante la adición de un solvente	Se obtiene mediante el secado, macerado y extracción a 51°C, con etanol al 49% mediante un equipo de ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración</li> <li>- Efectividad en la película multifuncional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracto de cáscara (mg/100ml)</li> <li>- Capacidad antioxidante (μmol Trolox/g)</li> </ul>	De razón
	CMC	Compuesto resultante de la reacción de la celulosa y el almidón (Roy & Rhim, 2020).	El polímero se disuelve en agua caliente para disolverse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración</li> <li>- Efectividad en la película multifuncional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- % de CMC</li> </ul>	De razón
	Gelatina	Sustancia polimérica que se obtiene mediante la hidrólisis colágeno (Alipal et al., 2021).	La gelatina se disuelve en agua caliente y temperatura controlada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración</li> <li>- Efectividad en la película multifuncional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- % de gelatina</li> </ul>	De razón
Dependiente	Conservación de arándano	Conjunto de técnicas que son utilizados para prolongar la vida útil y mantener su calidad (Bof et al., 2021)	Se evalúa mediante análisis físicos y químicos al final de su almacenamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efectividad de la película multifuncional</li> <li>- Calidad del fruto</li> <li>- Valor nutricional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perdida de peso (%)</li> <li>- Variacion de acidez (%)</li> <li>- Variacion de PH</li> <li>- Variacion de Brix (°Brix)</li> <li>- Variacion de capacidad antioxidante (umolTrolox/gmuestra)</li> </ul>	De razón

### 3.4. MÉTODO

#### 3.4.1. Recolección y preparación del material

Las cáscaras de palta recolectadas fueron lavadas y desinfectadas con hipoclorito de sodio a 100 ppm. Luego, se cortaron en trozos uniformes de aproximadamente 2 cm<sup>2</sup>, se secaron a temperatura ambiente durante 24 horas y posteriormente en un secador de bandejas a  $40 \pm 2$  °C por 24 horas. El material seco fue molido y tamizado con una malla de acero inoxidable de 0.5 mm. Finalmente, se almacenó en bolsas ziplock forradas con papel aluminio y conservadas en un desecador a temperatura ambiente hasta su uso.

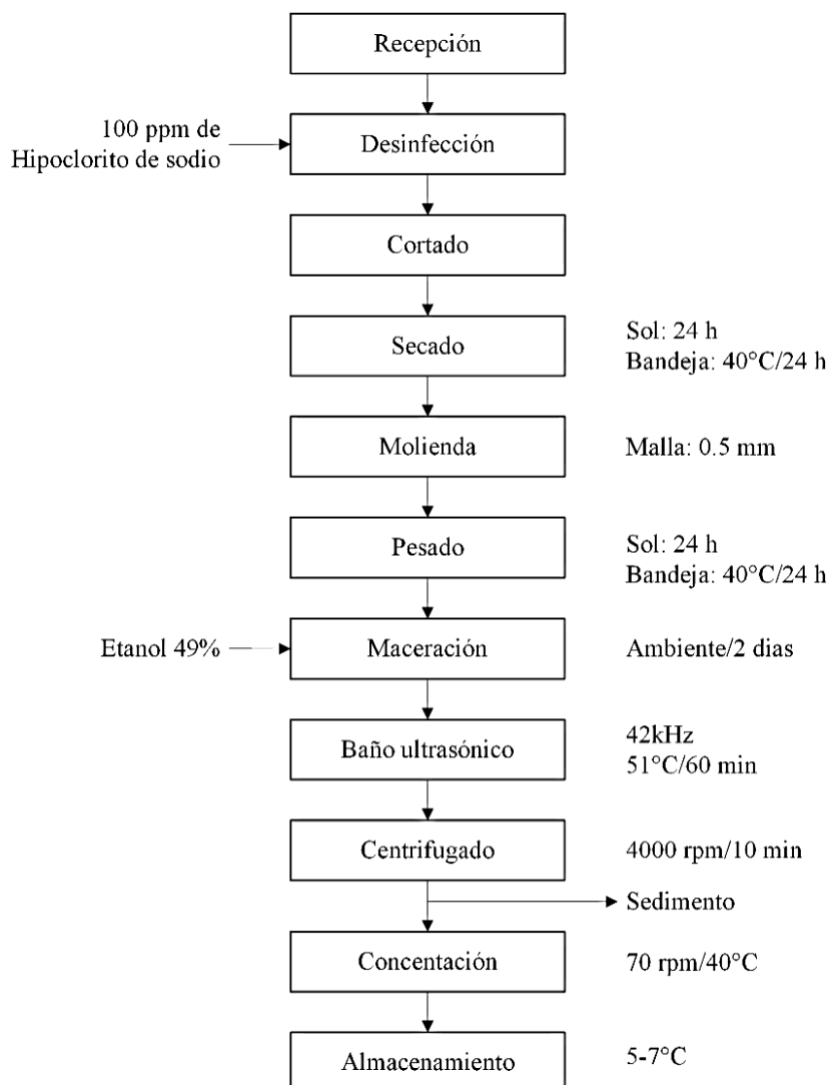
#### 3.4.2. Extracción polifenólica de cáscara de *Persea americana*

El método de extracción se llevó a cabo siguiendo las modificaciones propuestas por Vargas-Torrico et al. (2022). Para ello, se adicionó 1 g de muestra a 20 mL de una solución etanólica al 49 % y se dejó macerar durante al menos tres días a temperatura ambiente (28–30 °C). Posteriormente, la mezcla fue sometida a un tratamiento por ultrasonido (100 W de potencia y 42 kHz de frecuencia) durante 60 minutos a 51 °C, con el objetivo de favorecer la liberación de compuestos fenólicos.

Finalizado este proceso, la muestra fue centrifugada a 4000 rpm durante 10 minutos, recolectándose el sobrenadante. Este se concentró en un rotavapor al vacío a  $40 \pm 2$  °C y 70 rpm hasta alcanzar un volumen aproximado de 150–200 mL (duración estimada: 4 horas para 500 mL), con el fin de aumentar la concentración de los compuestos bioactivos. Finalmente, el extracto concentrado se almacenó en frascos de vidrio ámbar y se conservó en refrigeración (5–7 °C) hasta su uso. El procedimiento descrito se resume en la Figura 9.

**Figura 8.**

*Diagrama de bloques del proceso de la preparación y extracción polifenólica de cascara de Persea americana.*



### 3.4.3. Preparación de las películas

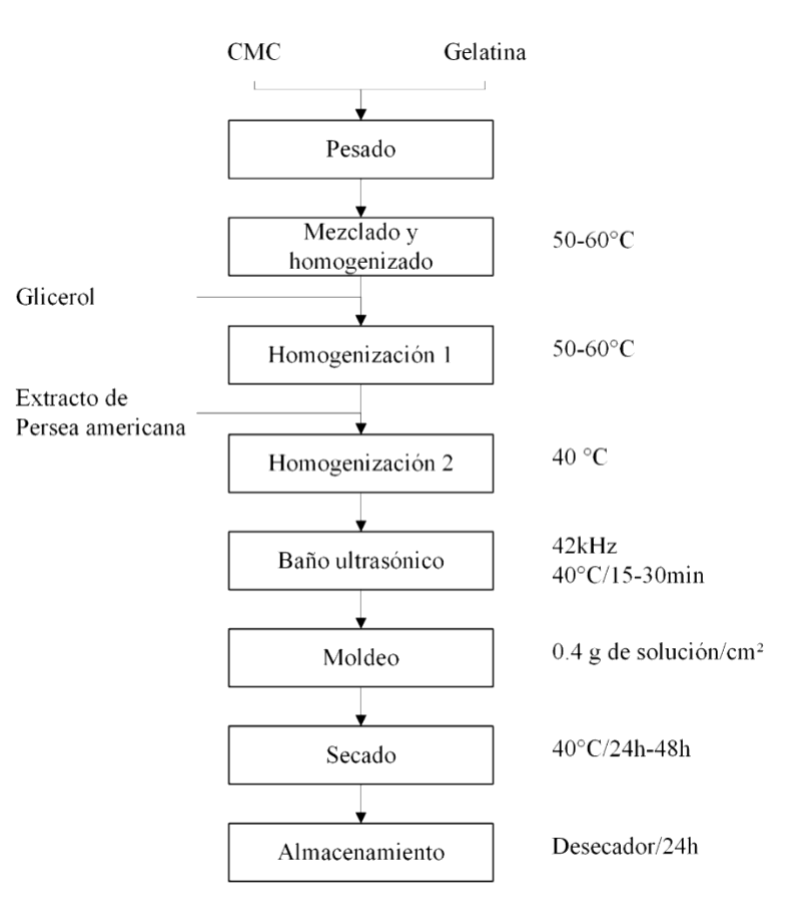
Las películas se elaboraron mediante el método de casting, siguiendo lo descrito por Vargas-Torrico et al. (2022). Para ello, se preparó una mezcla de sólidos de carboximetilcelulosa (CMC) y gelatina disueltos en agua desionizada, la cual se mantuvo bajo agitación lenta a una temperatura entre 50 y 60 °C durante 30 minutos, o hasta lograr la completa disolución y homogeneización de los componentes. Seguidamente, se incorporó glicerol como plastificante, manteniéndose la agitación a 50 °C durante 3 minutos o hasta su total incorporación.



Posteriormente, se añadieron los extractos etanólicos concentrados de cáscara de aguacate, de acuerdo con la concentración correspondiente, a una temperatura de 40 °C. La mezcla fue agitada de forma continua y sometida a sonicación durante aproximadamente 15 minutos dependiendo la muestra, asegurando el mantenimiento de la temperatura y la eliminación de burbujas. La solución filmogénica obtenida se vertió en placas, manteniendo una gramatura de 0.4 g/cm<sup>2</sup>, y se secó a 40 °C en una estufa con circulación de aire forzado durante 24 horas (o 48 horas, en caso de múltiples muestras). Finalmente, las películas secas fueron retiradas de las placas y acondicionadas en un desecador durante 24 horas, previo a su caracterización. El procedimiento se muestra de forma esquemática en la Figura 10.

**Figura 9.**

*Diagrama de bloques del proceso de preparación de las películas multifuncionales.*



#### **3.4.4. Conservación de arándanos**

Los arándanos fueron recolectados, seleccionados y lavados previamente, para luego ser desinfectados en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 5 minutos. Posteriormente, se secaron y se envasaron en películas multifuncionales, con un peso aproximado de 20 g por muestra. Cada muestra fue sellada en bolsas de aproximadamente 10 × 10 cm mediante una selladora de bolsas. Finalmente, las muestras se almacenaron a 3 °C durante 7 días antes de ser sometidas a evaluación.

### **3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1. Materiales**

- Cascara de palta Hass
- CMC (Marca: Gelycel)
- Gelatina (Marca: YASTA)
- Arandano (Variedad: Biloxi)

#### **3.5.2. Reactivos**

- Agar Extracto de levadura
- Agua destilada
- Buffer pH 4
- Buffer pH 7
- Colorante 2,6-diclorofenolindofenol
- DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)
- Gel sílice
- Glicerol
- Hidróxido de sodio al 0.1 N
- Hipoclorito de sodio
- L-ácido ascórbico
- Metanol (CH<sub>4</sub>O) grado HPLC
- Trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico).

#### **3.5.3. Equipos**

- Agitador de rotación circular (Shaker). Marca: Sartorius Stedim Biotech, Modelo: Certomat® IS
- Agitador mecánico homogenizador. Marca: IKA, Modelo: RW20
- Balanza analítica. Marca: OHAUS, Modelo: PX323

- Centrífuga. Marca: Sigma, Modelo: 4-16 KS
- Cocina eléctrica. Marca: Imaco (Modelo: HP1000)
- Espectrofotómetro UV/Visible. Marca: Thermo Scientific, Modelo: Genesys 20
- Estufa
- Estufa eléctrica. Marca: Barnstead Lab-Line, Modelo: N°3511-1
- Molino. Marca: Retsch, Tipo: ZM200, Número de serie: 1216010320Q
- Mufla
- pH-metro multiparámetro. Marca: Thermo Scientific, Modelo: Orion Versa Star
- Refractómetro. Marca: Atago, Modelo: HSR-500
- Rotavapor
- Secador de bandeja. Marca: INOXTRON (1.5 KW potencia)
- Ultrasonido. Marca: Cole-Parmer, Modelo: 08892-26, 100W, 42Khz.
- Vortex
- Lector multimodal (Synergy H1)

#### **3.5.4. Materiales de Laboratorio**

- Crisoles
- Espátula
- Fiolas de 10, 100, 500 y 1000 ml
- Gradilla
- Micropipeta de 100uL
- Microplacas de 96 pocillos
- Papel aluminio
- Papel filtro
- Pera de succión
- Pinzas
- Pipetas de 1, 5 y 10 ml
- Pizeta
- Placas petri
- Probeta de 50 y 100 ml
- Termómetro
- Tubos de ensayo
- Vasos precipitados de 50, 100, 250 y 500 ml

- Viales de vidrio color ámbar de 2 ml

### 3.5.5. Otros materiales

- Bandejas de plástico
- Cronómetro
- Cepas microbianas: *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*

### 3.5.6. Análisis de capacidad antioxidante del extracto de cascara

#### 3.5.6.1. Capacidad antioxidante (DPPH)

La actividad antioxidante de los extractos de cáscara de *Persea americana* se evaluó utilizando el método de De Lima Silva et al. (2021), empleando un lector multimodal (Synergy H1). Se preparó una solución de DPPH (1 mM) en metanol. Luego, se realizó el ajuste de DPPH con la solución de DPPH preparada y metanol absoluto.

Para el análisis, se dispuso en una microplaca la curva de calibrado, el blanco y las muestras del extracto, añadiendo 10 µL de cada uno por triplicado. La mezcla se incubó durante 30 minutos en oscuridad. Posteriormente, se midieron las absorbancias a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro UV/Vis. Para el control, se reemplazó el extracto por 10 µL de metanol. El porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante se calculó utilizando la fórmula:

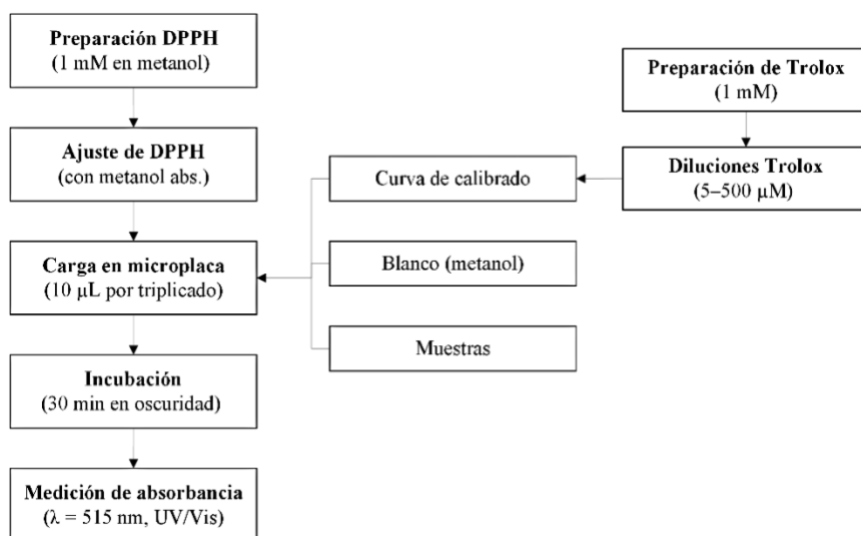
$$Inhibition (\%) = \frac{A_C - A_S}{A_C} \times 100$$

Donde  $A_S$  es la absorbancia de la muestra y  $A_C$  es la absorbancia del control.

Para la construcción de la curva de calibrado, se empleó Trolox como estándar de referencia, en un rango de concentraciones comprendido entre 5 y 500 µM. La solución madre (1 mM) se preparó disolviendo 12.5 mg de Trolox en 50 mL de metanol. A partir de esta, se realizaron diluciones sucesivas con el fin de generar los puntos necesarios para la curva de calibrado, la cual permitió determinar la concentración equivalente de antioxidantes presentes en los extractos analizados. La curva obtenida se presenta en el Anexo 32 y el procedimiento general del ensayo se encuentra ilustrado esquemáticamente en la Figura 11.

**Figura 10.**

*Diagrama del proceso de análisis de DPPH del extracto de Persea americana.*



### 3.5.7. Propiedades físicas y químicas de la película multifuncional.

#### 3.5.7.1. Humedad

Se determinó por el método AOAC 934.01. Las muestras de película se pesaron inicialmente ( $W_i$ ) y luego se secaron en una estufa eléctrica Marca Barnstead Lab-Line, Modelo N°3511-1, a 105 °C. Las muestras se pesaron para obtener el peso final ( $W_f$ ) después de 24 h. Las mediciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento y, como resultado, se tomó el promedio. El contenido de humedad se calculó según la fórmula:

$$Humedad(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

#### 3.5.7.2. Solubilidad

Se midió según el método descrito por Adzhieva et al. (2024) con algunas modificaciones. Se cortaron muestras de película de 1 cm × 1 cm y se secaron a 105 °C durante 24 horas para obtener el peso inicial. Luego, las muestras se sumergieron en 15 mL de agua destilada durante 24 horas a temperatura ambiente (24 °C). Después, se filtraron con papel filtro y se secaron nuevamente a 105 °C durante 24 horas. El peso seco final se determinó después de este secado. La solubilidad de la película se calculó usando la fórmula:

$$\text{Solubilidad de la película \%} = \frac{S_i - S_f}{S_i} \times 100$$

Donde  $S_i$  es el peso seco inicial y  $S_f$  es el peso seco final de la película.

### 3.5.7.3. Capacidad antioxidante de las películas multifuncionales

La actividad antioxidante de las películas fue determinada utilizando el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) según Caballero (2021). Primero, se añadió 5 mL de una solución metanólica al 80%, acidificada a pH 2 con HCl 2N, a 0.05 g de película. Las muestras fueron sometidas a agitación en vortex durante 10 segundos, seguido de sonicación durante 30 minutos.

Posteriormente, para el análisis, se dispuso en una microplaca una curva de calibración, un blanco y el sobrenadante de cada muestra, añadiendo 10  $\mu$ L por triplicado. La solución de DPPH (1 mM) en metanol se preparó disolviendo 4 mg de DPPH en 10 mL de metanol. Finalmente, la lectura se realizó en un lector multimodal, tras una incubación de 30 minutos a temperatura ambiente y en condiciones de oscuridad a una absorbancia a 515 nm.

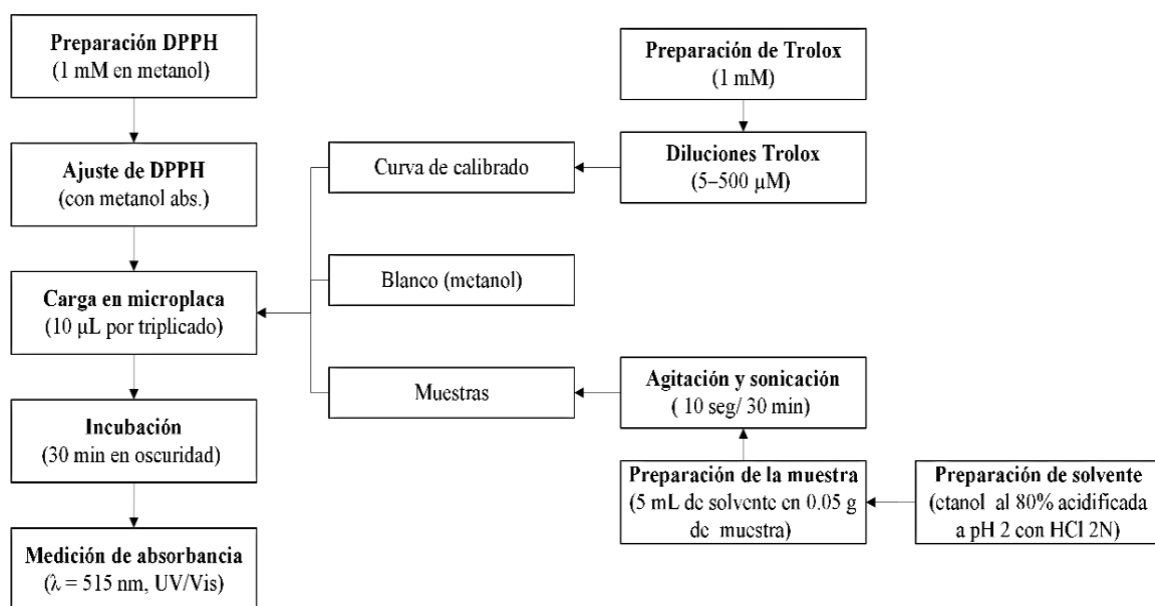
$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{A_o - A_1}{A_o} \times 100$$

Donde AA = actividad antioxidante;  $A_1$  = absorbancia de la solución conteniendo la película y  $A_o$  = absorbancia de la muestra conteniendo solo la solución de DPPH.

La curva de calibrado obtenida se presenta en el Anexo 34 y el procedimiento completo se encuentra ilustrado de manera esquemática en la Figura 12.

**Figura 11.**

*Diagrama del proceso de análisis de DPPH de la película multifuncional.*



#### 3.5.7.4. Capacidad antimicrobiana

La evaluación de la actividad antibacteriana de las películas contra *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* se realizó mediante el método de difusión en disco de agar, conforme al protocolo descrito por Kalkan et al. (2020). El procedimiento se presenta de forma esquemática en la Figura 13.

Inicialmente, las placas con agar extracto de levadura preparadas en base a las especificaciones del medio se incubaron a 37 °C durante 24 horas una vez solidificadas para asegurar condiciones óptimas antes de su uso. Posteriormente, se preparó el inóculo bacteriano con una turbidez equivalente a 0.5 en la escala de McFarland, lo cual correspondía aproximadamente a una concentración inicial de  $1.5 \times 10^8$  UFC/ml. Para ajustar esta concentración a  $10^6$  UFC/ml, se realizaron diluciones secuenciales: primero, se diluyó 1 mL de la suspensión en 9 mL de medio de cultivo estéril (dilución 1:10), y luego se tomó 1 mL de esta dilución y se añadió a 14 mL adicionales de medio de cultivo estéril (dilución 1:15).

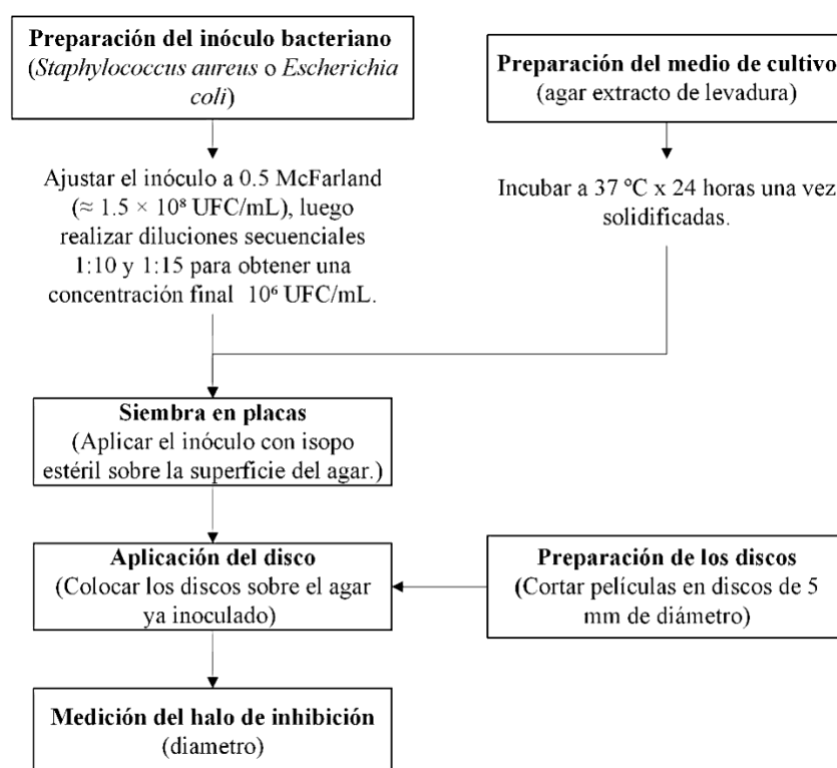
Del inóculo resultante, con un isopo estéril aplicar uniformemente sobre la superficie del medio de cultivo, asegurándose de cubrir toda la superficie sin dejar áreas libres. Después de aplicar el inóculo, se dejó secar la placa durante

3 a 5 minutos antes de colocar los discos de películas. Estas películas fueron previamente cortadas en discos de 5 mm de diámetro.

Una vez colocados los discos sobre el agar, las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas. Al finalizar la incubación, se midió el diámetro de la zona de inhibición del crecimiento bacteriano que rodeaba cada disco de película utilizando un calibre Vernier.

### Figura 12.

*Diagrama del proceso de análisis de capacidad antimicrobiana de la película multifuncional.*



### 3.5.8. Evaluación de la calidad de conservación del arandano

#### 3.5.8.1. Pérdida de peso

La determinación de la pérdida de peso en los arándanos envasados se realizó mediante gravimetría, utilizando el peso inicial (al envasar los arándanos) y el peso final (en el día de la medición), y expresando los resultados como porcentaje de pérdida de peso (% PP)

$$\%PP = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$



#### 3.5.8.2. Brix

Se utilizó el método especificado en AOAC 932.12. Para este proceso se colocaron en la zona de medición tres gotas de la muestra, previamente filtrada y homogeneizada. Se tomaron lecturas hasta alcanzar valores iguales consecutivos. Los resultados se expresaron en grados °Brix.

#### 3.5.8.3. Acidez

Se realizó por el método descrito en AOAC 942.15 mediante titulación potenciométrica, adecuada para frutos de tonalidad oscura. Se extrajo el jugo de las bayas y se midió el volumen de NaOH 0.1 N necesario para neutralizar 1 g de jugo homogeneizado diluido en 9 mL de agua destilada, hasta alcanzar un pH de  $8.1 \pm 0.2$ . El resultado expresado como % de ácido cítrico fue:

$$\text{Acido cítrico (\%)} = \frac{V \times N \times 0.064}{W}$$

Donde V= NaOH consumido en la titulación (ml), N= Normalidad del NaOH (0,1N), K= equivalente del ácido predominante (ácido cítrico = 0.064) y W= peso o volumen de la muestra (ml)

#### 3.5.8.4. Ph

El pH se determinó mediante según el método potenciométrico AOAC 981.12, sumergiendo el electrodo en el jugo de arándanos homogeneizarlos completamente tras la previa calibración con solución buffer de pH 4 y 7.

#### 3.5.8.5. Capacidad antioxidante

Para llevar a cabo el experimento, se tomaron entre 5 y 6 gramos de muestra, los cuales fueron triturados en un mortero. Luego, se pesó exactamente 1 g del arándano triturado y se colocó en un tubo de centrifuga previamente tarado y cubierto con papel aluminio. A esta muestra se le añadieron 5 mL de metanol al 50% acidificado a pH 2 con HCl 2N, se sonicó la mezcla por 30 min y se centrifugó a 4000 rpm durante 15 minutos a temperatura ambiente. El proceso se repitió 2 veces. El sobrenadante obtenido se almacenó en un frasco ámbar para protegerlo de la luz.

Para la preparación de la curva de calibración, se elaboró una solución madre de Trolox a una concentración de 1 mM disolviendo 12.5 mg de Trolox en 50 mL de metanol. A partir de esta solución madre, se realizaron una serie de diluciones según la tabla proporcionada. Las concentraciones y sus correspondientes volúmenes de solución madre y metanol fueron: 500 µM

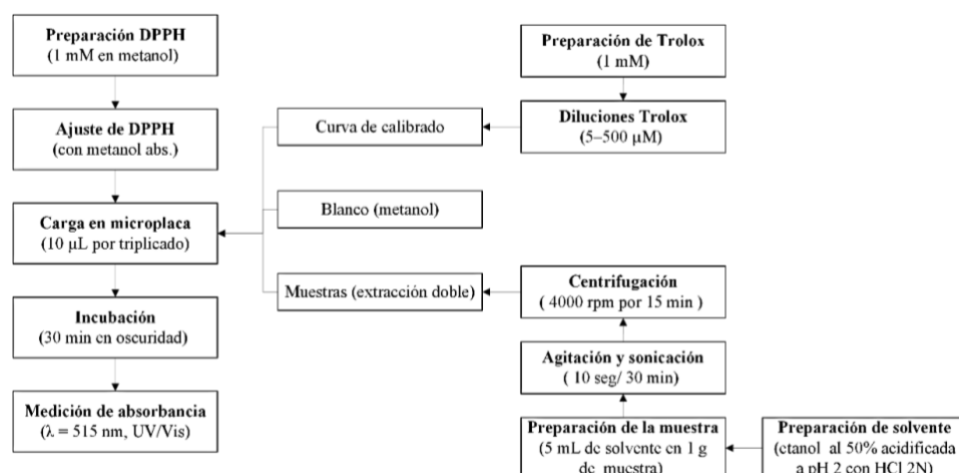
(2500  $\mu\text{L}$  de solución madre y 2500  $\mu\text{L}$  de metanol), 400  $\mu\text{M}$  (2000  $\mu\text{L}$  de solución madre y 3000  $\mu\text{L}$  de metanol), 200  $\mu\text{M}$  (1000  $\mu\text{L}$  de solución madre y 4000  $\mu\text{L}$  de metanol), 100  $\mu\text{M}$  (500  $\mu\text{L}$  de solución madre y 4500  $\mu\text{L}$  de metanol), 50  $\mu\text{M}$  (250  $\mu\text{L}$  de la solución madre y 4750  $\mu\text{L}$  de metanol), 25  $\mu\text{M}$  (125  $\mu\text{L}$  de la solución madre y 4875  $\mu\text{L}$  de metanol), 10  $\mu\text{M}$  (50  $\mu\text{L}$  de la solución madre y 4950  $\mu\text{L}$  de metanol) y 5  $\mu\text{M}$  (25  $\mu\text{L}$  de la solución madre y 4975  $\mu\text{L}$  de metanol).

El método DPPH se realizó según Subbiah et al. (2020). Se disolvió DPPH (4 mg) en 10 mL de metanol para la solución de radicales DPPH. Se agregaron 10  $\mu\text{L}$  de extracto y 190  $\mu\text{L}$  de solución DPPH a una placa de 96 pocillos, y se incubaron en la oscuridad durante 30 minutos a 25 °C. La absorbancia se midió a 515 nm. Los resultados se expresaron en moles equivalentes de Trolox (ET) por gramo de muestra.

La curva obtenida se presenta en el Anexo 36 y el procedimiento se presenta de forma esquemática en la Figura 14.

**Figura 13.**

*Diagrama del proceso de análisis de DPPH del arándano.*



### 3.6. TECNICA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.6.1. Diseño experimental

La propuesta experimental incluyó la creación de una película multifuncional utilizando extracto de cáscara de *Persea americana*, CMC y gelatina, la cual se llevó a cabo a partir de un análisis de superficie de respuesta, la cual nos permitió

evaluar la conservación de los arándanos en relación con la pérdida de peso (Y1), variación de brix (Y2), variación de acidez (Y3), variación de pH (Y4) y variación de actividad antioxidante (Y5) en donde se empleó un Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR) utilizando el software estadístico STATGRAPHICS Centurion XIX propuesto por Box & Wilson en 1951. Este diseño incluye un diseño factorial ( $2^k$ ) de 2 niveles y 3 factores (% extracto de cáscara de *Persea americana*, %CMC y % gelatina), puntos axiales ( $2k$ ) de 2 niveles por 3 factores a una distancia de  $\alpha$  y 4 puntos centrales, dando un total de 18 puntos experimentales o tratamientos presentadas en la Tabla 8.

**Tabla 8.**

*Numero de tratamientos según Stagraphic.*

Tratamientos	Extracto de <i>Persea</i>		
	<i>americana</i> (mg/mL solución)	Gelatina (%)	CMC (%)
T1	6.0	3.0	1.25
T2	2.0	1.0	1.25
T3	6.0	3.0	0.5
T4	2.0	3.0	1.25
T5	7.36359	2.0	0.875
T6	4.0	2.0	0.244328
T7	4.0	2.0	0.875
T8	4.0	3.68179	0.875
T9	2.0	1.0	0.5
T10	4.0	0.318207	0.875
T11	0.636414	2.0	0.875
T12	4.0	2.0	0.875
T13	4.0	2.0	0.875
T14	2.0	3.0	0.5
T15	6.0	1.0	1.25
T16	6.0	1.0	0.5
T17	4.0	2.0	1.50567
T18	4.0	2.0	0.875

**Tabla 9.***Modelo del Diseño Central Compuesto Rotacional 2<sup>3</sup>*

Tratamiento	mg/mL de extracto	Conc. de gelatina (%p/v)	Conc. de CMC (%p/v)	Características físicoquímicas				
				Pérdida de peso (%)	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Acidez (%)	Capacidad antioxidante (umol/g)
T1	6.0	3.0	1.25					
T2	2.0	1.0	1.25					
T3	6.0	3.0	0.5					
T4	2.0	3.0	1.25					
T5	7.3635	2.0	0.875					
T6	4.0	2.0	0.244328					
T7	4.0	2.0	0.875					
T8	4.0	3.68179	0.875					
T9	2.0	1.0	0.5					
T10	4.0	0.318207	0.875					
T11	0.6364	2.0	0.875					
T12	4.0	2.0	0.875					
T13	4.0	2.0	0.875					
T14	2.0	3.0	0.5					
T15	6.0	1.0	1.25					
T16	6.0	1.0	0.5					
T17	4.0	2.0	1.50567					
T18	4.0	2.0	0.875					

**Tabla 10.***Niveles de variables independientes del diseño experimental*

Variables Independiente	Unidad	Símbolo codificado	Niveles				
			- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$
Extracto de <i>Persea americana</i>	mg/mL	X1	0,636	2	4	6	7,364
Gelatina	%	X2	0,318	1	2	3	3,681
CMC	%	X3	0,244	0,5	0,875	1,25	1,506

### 3.6.2. Análisis estadístico

Se consideraron tres factores: X1 (% de extracto de *Persea americana*), X2 (% de CMC) y X3 (% de gelatina) por lo que para determinar los puntos axiales se considera  $\alpha = (N_{\text{factorial}})^{1/4}$ ,  $\alpha = 1.68$ , cuyos niveles se codificarán con +1 y -1 la cual garantizó un diseño central compuesto rotacional que fue utilizado para elaborar una película multifuncional en diferentes tratamientos. Tras el diseño experimental, se aplicó a los resultados obtenidos un análisis de varianza (ANOVA), se determinó la influencia de las variables sobre los resultados obtenidos y construyó las superficies de respuestas con los coeficientes de regresión calculados por el software con un nivel de significancia de 95% para así maximizarlo en función a su deseabilidad en donde se determinaron los valores óptimos.

**Tabla 11.**

*Análisis de varianza ANOVA ( $\alpha = 95\%$ ).*

Fuente	Suma de cuadrado	GL	Cuadrado Media	Razón-F	Valor-P
A: Extracto de <i>Persea americana</i>					
B: CMC					
C: Gelatina					
AB					
AC					
BC					
A <sup>2</sup>					
B <sup>2</sup>					
C <sup>2</sup>					
Residual					
Ajuste					
Error Total					
Total (corr.)					

El análisis de superficie respuesta de segundo orden se sometió en el software Statgraphics Centurion, cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$\hat{y}_1 = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Donde:

- $\hat{y}_1$ = Unidad experimental o variables respuesta (pérdida de peso, acidez, pH y actividad antioxidante)
- $k$  = Número de factores en el modelo.
- $\beta_0$ = Valor promedio de la respuesta cuando  $k=0$
- $\beta_i$ = Coeficiente de regresión lineal que mide el efecto en la variable respuesta.
- $\beta_{ii}$ = Coeficiente de regresión cuadrática que mide el efecto en la variable respuesta
- $\beta_{ij}$ = Efecto de las interacciones entre concentración de extracto de cascara de *Persea americana*, CMC y gelatina.
- $x_1, x_2, x_3$  = Variables independientes (% de extracto de cáscara de *Persea americana*, % de CMC, y % de gelatina).
- $\varepsilon$  = Representa el error asociado a la respuesta predicha.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE CÁSCARA DE *Persea americana* EN TÉRMINOS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Para evaluar la composición funcional del extracto de cáscara de *Persea americana*, se realizaron análisis de capacidad antioxidante mediante el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), siguiendo la metodología establecida. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 12.**

*Capacidad antioxidante en términos de porcentaje de inhibición del radical DPPH y  $\mu\text{mol trolox/g}$  muestra.*

Definición	Promedio	Desv.
%Inhibición de radicales DPPH	39.7001	$\pm 0.645$
$\mu\text{mol trolox/g}$	269.569	$\pm 4.889$

**Nota:** El %Inhibición está dada a una concentración de 0.6996 mg/mL del extracto

El análisis de la capacidad antioxidante del extracto etanólico de cáscara de *Persea americana* variedad Hass, mediante el método DPPH, permitió evaluar su potencial antioxidante. Los resultados obtenidos indican un porcentaje de inhibición del  $39.70 \pm 0.65\%$  y una capacidad antioxidante de  $269.57 \pm 4.89 \mu\text{mol Trolox/g}$ , determinados a una concentración de 0.6996 mg/mL del extracto. Estos valores evidencian que la cáscara de *Persea americana* posee actividad antioxidante significativa, lo cual puede atribuirse a su composición rica en compuestos fenólicos. De acuerdo con Araujo et al. (2021), las cáscaras de aguacate contienen altos niveles de quercetina, procianidina B2, catequina y ácidos fenólicos, tales como el ácido cafeoilquínico y el ácido cumaroilquínico, que desempeñan un papel fundamental en la actividad antioxidante del extracto.

La comparación con estudios previos revela que la actividad antioxidante del extracto de cáscara de aguacate varía en función de la metodología utilizada, la concentración evaluada y la variedad de la fruta. Tremocoldi et al. (2020) reportaron un valor superior, de  $310 \pm 36.9 \mu\text{mol Trolox/g}$ , dentro de un rango cercano al obtenido en el presente estudio. Por otro lado, Velderrain et al. (2021) reportaron  $46.49 \pm 4.04 \mu\text{mol Trolox eq./g}$ , lo que sugiere que las condiciones

experimentales y el proceso de extracción influyen significativamente en la capacidad antioxidante del extracto. Dichas variaciones pueden deberse a diferencias en las metodologías empleadas para la extracción. Velderrain et al. (2021) realizaron una maceración en etanol al 80% durante 20 horas, mientras que Tremocoldi et al. (2020) usaron etanol al 80% en un baño ultrasónico de 40 kHz por 15 minutos. En contraste, el presente estudio utilizó una solución etanólica al 49% con un proceso de extracción de tres días, complementado con ultrasonido de 42 kHz durante 60 minutos.

El uso de ultrasonidos en la extracción mejora la eficiencia del proceso, ya que las ondas ultrasónicas rompen mecánicamente la pared celular, facilitando la liberación de los compuestos internos y promoviendo una transferencia de masa más eficiente entre el sólido y el disolvente, sin superar los 60°C (Fajardo et al., 2022). Adicionalmente, la selección del disolvente y su proporción influyen en la extracción de polifenoles y otros compuestos bioactivos. Dzah et al. (2020) destacan que disolventes como etanol, metanol y acetona, en combinación con agua, permiten extraer eficientemente estos compuestos, dependiendo de su polaridad. Xu et al. (2020) demostraron que la actividad antioxidante de los extractos aumenta en un 28.2% al incrementar la concentración de etanol del 10 al 50%, pero disminuye cuando se supera el 50%, lo que se atribuye a la solubilidad diferencial de los compuestos antioxidantes, siendo estos no tan polares (Dzah et al., 2020).

En cuanto al porcentaje de inhibición del radical DPPH obtenido en este estudio ( $39.70 \pm 0.65\%$  a  $0.6996 \text{ mg/mL}$ ) es menor al 50%, lo que indica que la concentración utilizada no alcanza el nivel máximo de actividad antioxidante o que otros compuestos pueden estar influyendo en su efectividad. Sin embargo, estudios previos han reportado valores cercanos al 50%, dependiendo de la concentración del extracto y la metodología empleada. Por ejemplo, Ferreira & Santos (2022) obtuvieron un IC<sub>50</sub> de  $38.23 \text{ }\mu\text{g/mL}$ , mientras que Ovalle-Marín et al. (2020) reportaron  $1.73 \text{ mg/mL}$  para la variedad Hass respectivamente. Asimismo, Hefzalrahman et al. (2022) y Shi et al. (2021) encontraron valores entre  $38.77$  y  $59 \text{ }\mu\text{g/mL}$ , lo que sugiere que a concentraciones más bajas el extracto podría mostrar una mayor eficiencia antioxidante. Considerando que en este estudio se obtuvo una inhibición cercana al 40% con  $0.6996 \text{ mg/mL}$ , es



probable que para alcanzar el 50% de inhibición se requiera una concentración menor al rango superior.

Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la cáscara de *Persea americana* posee una notable capacidad antioxidante en comparación con otros residuos vegetales. Ucak & Khalily (2021) reportaron que la cáscara de naranja presenta una actividad antioxidante superior ( $607.67 \pm 18.92 \mu\text{mol Trolox/g}$ ), mientras que la cáscara de limón exhibe un valor menor ( $203.22 \pm 66.95 \mu\text{mol Trolox/g}$ ), lo que sugiere que la variabilidad en la composición química de los cítricos influye en su potencial antioxidante. Asimismo, los extractos etanólicos de mora (*Rubus glaucus Benth.*) evaluados por Grande-Tovar et al. (2020) mostraron una capacidad significativamente menor, con  $9.21 \mu\text{mol Trolox/g}$  en etanol al 100% y  $40.53 \mu\text{mol Trolox/g}$  en etanol al 80%, lo que evidencia que la polaridad del solvente afecta la extracción de compuestos antioxidantes. Además, Felices et al. (2021) determinaron un valor de  $76.97 \pm 7.17 \mu\text{mol Trolox/g}$  en extractos metanólicos de hojas de *S. rufescens DC.*, también inferior al obtenido en este estudio.

Estas comparaciones resaltan que, si bien los residuos agroindustriales pueden ser una fuente relevante de antioxidantes, su capacidad varía considerablemente según la matriz vegetal y los métodos de extracción empleados. La cáscara de *Persea americana*, en este caso, demuestra un potencial antioxidante competitivo frente a otros residuos, lo que refuerza su aprovechamiento en aplicaciones industriales.

#### **4.2. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL**

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las películas elaboradas a partir de diferentes proporciones de gelatina, carboximetilcelulosa (CMC) y extracto de cáscara de *Persea americana*. Las variables analizadas fueron el contenido de humedad, la solubilidad en agua y la capacidad antioxidante, medida mediante el porcentaje de %Inhibición de radicales DPPH.

**Tabla 13.***Propiedades fisicoquímicas de los tratamientos de películas multifuncionales.*

Tratamientos	Humedad (%)	Solubilidad (%)	%Inhibición de radicales DPPH	
			Promedio	Desv
T1	21.053	32.000	33.989	± 2.740
T2	33.043	32.468	22.113	± 0.650
T3	28.788	34.043	34.971	± 0.465
T4	21.138	44.330	27.805	± 0.720
T5	46.269	36.111	35.299	± 0.256
T6	37.963	23.881	38.084	± 1.625
T7	45.283	20.690	30.917	± 0.709
T8	15.953	26.389	33.456	± 2.185
T9	70.751	77.027	29.400	± 0.092
T10	38.376	46.707	27.764	± 0.563
T11	32.759	39.744	27.846	± 0.630
T12	45.283	20.690	30.917	± 0.709
T13	45.283	20.690	30.917	± 0.709
T14	30.464	33.333	30.794	± 0.699
T15	34.375	55.556	30.794	± 0.256
T16	65.374	35.600	36.202	± 0.656
T17	16.000	32.381	28.788	± 0.188
T18	45.283	20.690	30.917	± 0.709

El contenido de humedad de las películas varió ampliamente (15.95%–70.75%) debido a las proporciones de gelatina, CMC y extracto de *Persea americana*. Según Qazanfarzadeh & Kumaravel (2023), la humedad depende de la estructura de la matriz, enlaces de hidrógeno y grupos funcionales. Tratamientos con 3% de gelatina (T1, T3, T4) presentaron humedad moderada, ya que la gelatina forma redes tridimensionales que retienen agua. Al combinarla con CMC y extracto, la humedad disminuye, como confirma Song et al. (2024), quienes observaron este efecto en películas con antocianinas.

El CMC, por su carácter hidrofílico, también reduce la humedad, sobre todo en altas proporciones (T8, T17). Vargas-Torrico et al. (2022) hallaron valores de humedad bajos en películas Gel-CMC, especialmente con extractos fenólicos. En contraste, T9 (1% gelatina, 0.5% CMC) tuvo la mayor humedad (70.75%) debido a su estructura poco densa, superando valores como los de Tran et al. (2023). El extracto también influye: en matrices densas (T1) reduce la humedad, pero en matrices porosas (T16) la incrementa. Liu et al. (2020) indican que compuestos fenólicos y lipídicos del extracto aportan efecto hidrofóbico, pero este depende de su integración. Así, matrices bien estructuradas (T8, T1, T17) reducen humedad, mientras que las porosas (T9, T16) la elevan.

En cuanto a solubilidad, los valores oscilaron entre 20.69% (T7, T12, T13, T18) y 77.03% (T9), dependiendo de la cohesión de la matriz. Menor solubilidad se dio en películas con 2% gelatina y 0.875% CMC, donde se forman redes compactas con menos grupos hidroxilo expuestos, como explican Vargas-Torrico et al. (2023). T9, por su estructura porosa, fue la más soluble. Según Chou et al. (2023) y Kalkan et al. (2020), matrices poco cohesionadas se hinchan más y permiten mayor disolución.

Tratamientos como T10 y T15 mostraron solubilidad intermedia (35–55%), por su estructura parcialmente densa. T1, T2, T3 y T17 (solubilidad 32–34%) lograron una buena integración de polímeros y extracto. Moghadam et al. (2020) señalan que los enlaces entre gelatina, CMC y compuestos fenólicos refuerzan la red y reducen la solubilidad. La CMC es clave por su capacidad de formar enlaces con otros compuestos. La gelatina aporta estructura tridimensional, y el extracto refuerza o debilita la matriz según concentración.

La solubilidad se relaciona con la permeabilidad al vapor de agua (WVP): películas más solubles son más permeables, y las densas, menos. Kalkan et al. (2020) indican que el hinchamiento favorece el paso de vapor, mientras que una red reticulada, como señala Peng et al. (2020), limita tanto la solubilidad como la WVP.

Sobre la actividad antioxidante (DPPH), los tratamientos más efectivos fueron T5 (35.3%), T6 (38.1%), T16 (36.2%) y T3 (34.97%), por su mayor contenido fenólico. Vargas-Torrico et al. (2022) explican que estos compuestos donan

hidrógenos, potenciados por su interacción con grupos amino (gelatina) e hidroxilo (CMC). T6, con 4 mg/ml de extracto, alcanzó el mayor valor gracias a una matriz equilibrada que permitió liberación sostenida (Chou et al., 2023; Alias et al., 2022). T3, con alta gelatina y extracto, logró buena migración de antioxidantes.

Sin embargo, no solo el extracto influye. T10, con 4 mg/ml, tuvo solo 27.76% de inhibición debido a su estructura débil. T11 (0.64 mg/ml extracto) y T2 (2 mg/ml) también presentaron baja inhibición por baja concentración o poca cohesión. Vargas-Torrico et al. (2023) señalan que estructuras como láminas  $\beta$  o hélices  $\alpha$  regulan la liberación. Peng et al. (2020) afirman que una red reticulada permite liberar compuestos lentamente y mantener su acción antioxidante.

En síntesis, la sinergia entre gelatina, CMC y extracto de *Persea americana* determina la humedad, solubilidad y capacidad antioxidante de las películas. Estructuras densas reducen humedad y solubilidad, y permiten una liberación sostenida de compuestos bioactivos.

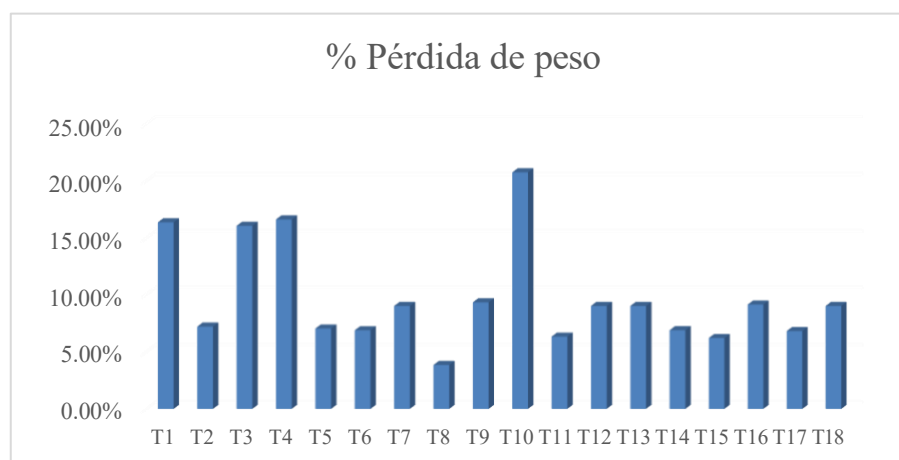
#### **4.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ARÁNDANO**

##### **4.3.1. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso del arándano**

En el siguiente gráfico se puede observar el porcentaje de pérdida de peso de arándanos almacenadas con película multifuncional.

**Figura 14.**

*Efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso en los arándanos.*



En la Figura 15 se puede observar la pérdida de peso varía significativamente entre los tratamientos, con algunos valores cercanos al 5 % y otros que superan el 20 %. En particular, el tratamiento T10 (0.875% CMC, 0.318% Gelatina y 4% de extracto de *Persea americana*) muestra una mayor pérdida de peso, mientras que el T8 (0.875% CMC, 3.682% Gelatina y 4% de extracto de *Persea americana*) muestra una menor pérdida de peso, lo que podría indicar que la efectividad de la película vario según la concentración de gelatina.

En comparación con una película a base de quitosano, después de ocho días de almacenamiento, los arándanos presentaron una pérdida de peso del 6 % (Xu et al., 2025). Según Samsi et al. (2020), las películas de gelatina y CMC pueden reducir eficazmente la pérdida de peso y el índice de pardeamiento de las frutas en un 50,41 % y 31,34 %, respectivamente. Por otro lado, Boft et al. (2021) señalan que la deshidratación provoca arrugas en la superficie de la fruta, afectando su apariencia, sugiriendo que la pérdida de peso máxima permitida debe estar entre el 5 % y el 8 %. Xu et al. (2025) indican que la reducción de peso se debe principalmente a la pérdida de agua.

Samsi et al. (2020), explican que la pérdida de peso durante su almacenamiento es consecuencia de la migración del agua debido a la diferencia en la presión de vapor de agua entre los tejidos celulares y el exterior. Además, Aguilar – Mendez (2022) nos dice que el uso de

películas activas base de gelatina–CMC puede reducir visiblemente los signos postcosecha en frutos.

**Tabla 14.**

*Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso en los arándanos.*

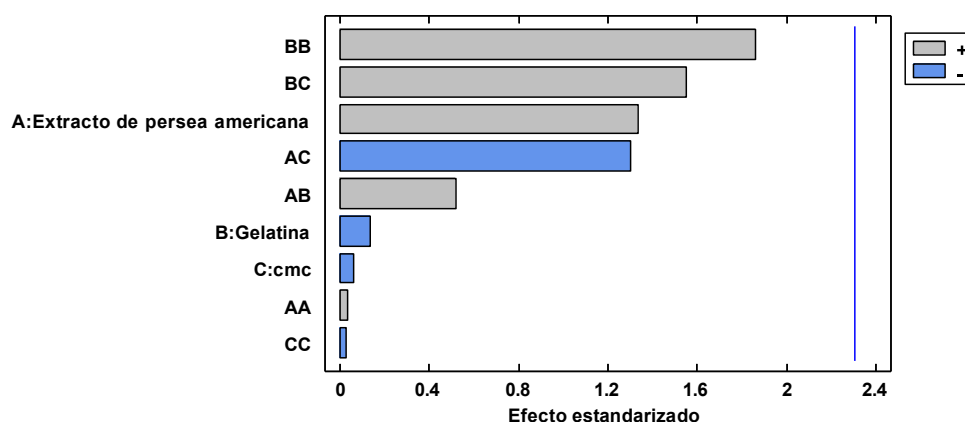
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Extracto de <i>persea americana</i>	26.2531	1	26.2531	1.78	0.2194
B: Gelatina	0.270297	1	0.270297	0.02	0.8958
C: CMC	0.0538368	1	0.0538368	0.00	0.9534
AA	0.0135947	1	0.0135947	0.00	0.9766
AB	3.9242	1	3.9242	0.27	0.6203
AC	24.9536	1	24.9536	1.69	0.2301
BB	51.2227	1	51.2227	3.47	0.0997
BC	35.4103	1	35.4103	2.40	0.1603
CC	0.00791758	1	0.00791758	0.00	0.9821
Error total	118.263	8	14.7829		
Total (corr.)	264.31	17			

Por otro lado, en la Tabla 14 se presenta el análisis de varianza (ANOVA), donde se descompone la variabilidad de la variable de respuesta, en este caso, la pérdida de peso. Los resultados muestran que el CMC, la gelatina y el extracto de *Persea americana* tienen un valor de P inferior a 0.05, lo que indica que no hay una significancia estadística (con un nivel de confianza del 95 %) en las variables independientes ni en las interacciones entre los factores sobre el porcentaje de pérdida de peso. Asimismo, se observa que la interacción de cada tratamiento basado en estos compuestos no tiene un efecto estadísticamente significativo en la reducción de la pérdida de peso en los arándanos. Además, el R-Cuadrado estadístico indica que el modelo así ajustado, nos refleja un 55.256 % de la variabilidad respecto al % de pérdida de peso.

El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño. Los efectos estandarizados son estadísticos t que prueban la hipótesis nula de que el efecto es 0. El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos.

**Figura 15.**

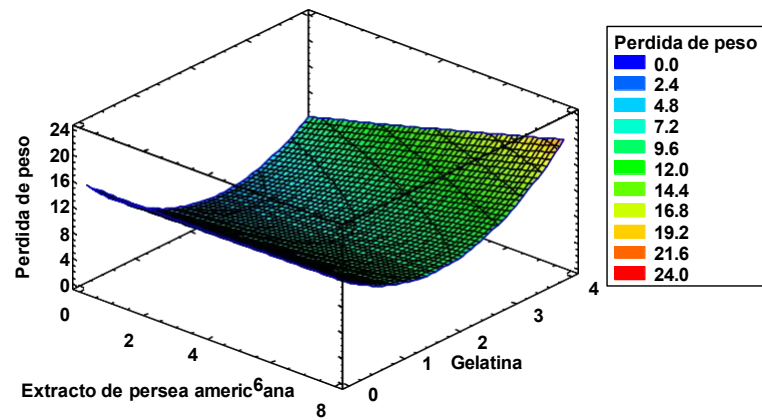
*Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional en la pérdida de peso en los arándanos.*



En la figura 16 se muestra el diagrama de Pareto donde se grafica las estimaciones en orden decreciente para cada uno de los efectos estimados y las interacciones con respecto a la pérdida de peso, en el cual evidenciamos lo antes mencionado, que ninguno de los efectos ni sus interacciones fue significativo. Además, se pudo observar que tanto la gelatina como el CMC tuvieron un efecto negativo en el % de pérdida de peso la cual influenciaron en el aumento de esta misma, mientras que el extracto de *Persea americana* tuvo un efecto positivo ayudando a disminuir en la pérdida de peso del arándano, observándose que la interacción AC (Extracto de *Persea americana* con CMC) y CC (CMC y CMC) tiene un efecto negativo notable en la pérdida de peso, lo que implica que esta combinación podría ayudar a aumentar la pérdida de peso en los arándanos lo que sugiere que ciertos tratamientos no son efectivos para prolongar la vida útil del producto. En cambio, otras interacciones, como BB, BC y AB, tienen un efecto positivo en la pérdida de peso lo que implica que esta combinación podría ayudar a disminuir la pérdida de peso en los arándanos.

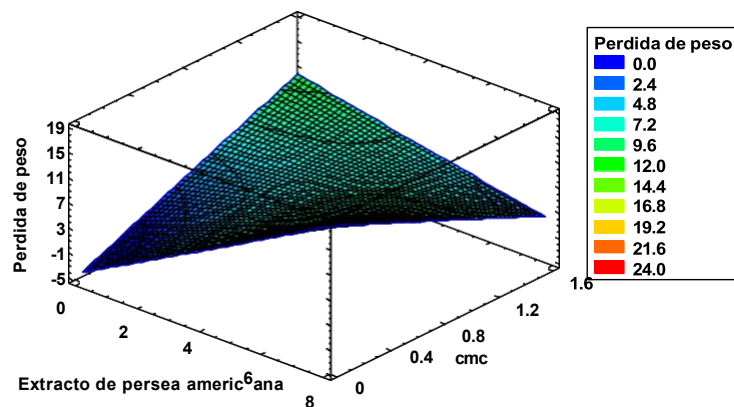
**Figura 16.**

*Superficie de respuesta para la pérdida de peso en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina.*



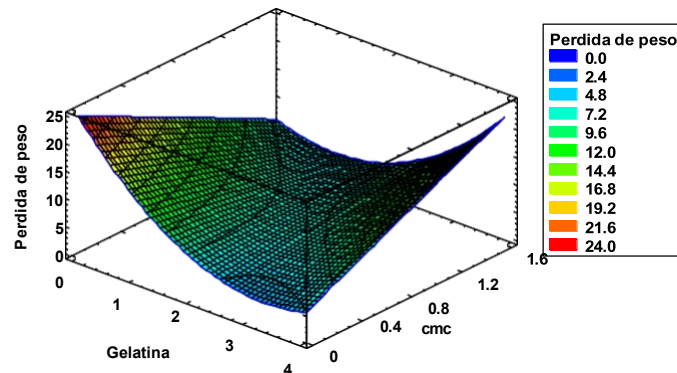
**Figura 17.**

*Superficie de respuesta para la pérdida de peso en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC..*



**Figura 18.**

*Superficie de respuesta para la pérdida de peso en los arándanos en función al CMC y gelatina.*





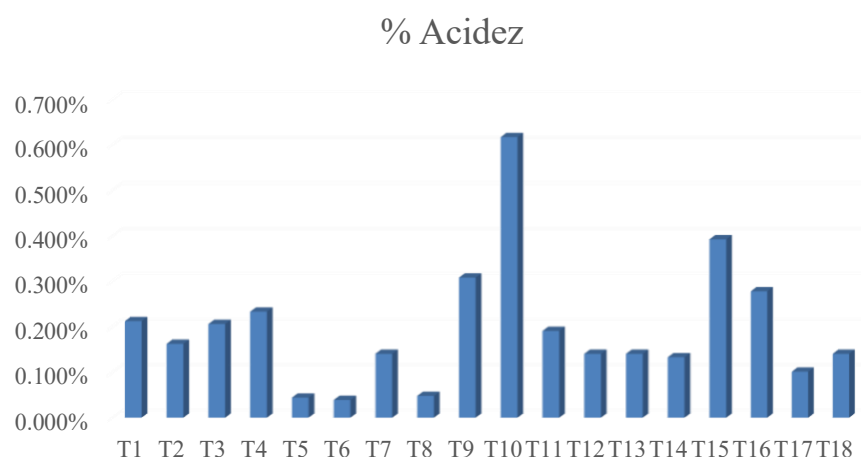
Como se puede apreciar, en las figuras se muestra la superficie respuesta estimada para lograr una menor pérdida de peso en los arándanos, se requiere una concentración de 2 – 4 % gelatina, 0 – 0.4 % de CMC y 0 - 2 mg/mL de extracto de *Persea americana*. De acuerdo con Tyuftin & Kerry (2021) para obtener excelentes propiedades en las películas y que conserve la fruta en buenas condiciones es necesario que solo se utilice entre 4- 8% en soluciones de gelatina, además, Khan (2024) señala que la permeabilidad al vapor de agua de la película es robusta y rígida, pero al aumentar la cantidad de CMC, la película puede volverse más sensible a la humedad, absorbiendo más agua del ambiente, resultando en una mayor permeabilidad al vapor de agua lo que puede limitar su eficacia en la reducción de la pérdida de peso del fruto. Además, Pandia-Estrada et al. (2021), nos dice que las películas con compuestos bioactivos impiden la proliferación de hongos al interactuar con el agua libre de la fruta, creando una atmósfera controlada que reduce la pérdida de agua, la tasa de respiración y la actividad de enzimas degradativas

#### 4.3.2. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la variación acidez del arándano

En el siguiente grafico se puede observar el porcentaje de la variación de los arándanos almacenadas con película multifuncional.

**Figura 19.**

*Efecto de la película multifuncional en la acidez en los arándanos.*



En la Figura 20 se puede observar % de acidez en diferentes tratamientos (T1-T18), lo que sugiere un análisis comparativo de la deshidratación de los arándanos bajo distintas condiciones. Se observa el % de acidez varía significativamente entre los tratamientos, en particular, el tratamiento T10 (0.875% CMC, 0.31820% Gelatina y 4% de extracto de *Persea americana*) muestra una mayor pérdida de acidez, mientras que el T8 (0.875% CMC, 3.682% Gelatina y 4% de extracto de *Persea americana*) muestra una menor pérdida de acidez, lo que podría indicar que la efectividad de la película varío según la concentración de gelatina.

De acuerdo con Li et al. (2021), la acidez titulable se ve influenciada positivamente por el retraso en la maduración cuando se utilizan películas de recubrimiento durante el almacenamiento. Esto se debe a que tanto las películas como los recubrimientos pueden modificar la atmósfera que rodea a las frutas. Ancco (2022) señala que, durante el proceso de maduración, la fruta consume los ácidos orgánicos a través de la respiración, lo cual provoca una disminución en la acidez. En la misma línea, menciona que, durante el proceso respiratorio, los frutos consumen ácidos orgánicos, lo que se asocia con una reducción en los valores de acidez titulable. Por otro lado, Boft et al. (2021) indica que los arándanos suelen ser cosechados con una acidez de 0.98 gramos de ácido cítrico y que, al ser empacados con un film activo, pueden lograr mantener el índice de madurez durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración.

**Tabla 15.**

*Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de la acidez en los arándanos.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Extracto de <i>Persea americana</i>	0.00000167034	1	0.00000167034	0.00	0.9910
B:Gelatina	0.126223	1	0.126223	10.12	0.0130
C:CMC	0.00232708	1	0.00232708	0.19	0.6771
AA	0.000426944	1	0.000426944	0.03	0.8578
AB	0.002738	1	0.002738	0.22	0.6519
AC	0.0034445	1	0.0034445	0.28	0.6134
BB	0.0846879	1	0.0846879	6.79	0.0313
BC	0.0023805	1	0.0023805	0.19	0.6737
CC	0.00152609	1	0.00152609	0.12	0.7355
Error total	0.0997495	8	0.0124687		
Total (corr.)	0.332582	17			

Por otro lado, en la Tabla 15 se presenta el análisis de varianza (ANOVA), donde se descompone la variabilidad de la variable de respuesta, en este caso, la pérdida acidez. Los resultados muestran que el CMC y el extracto de *Persea americana* tienen un valor de P inferior a 0.05 ( $P > 0.05$ ), lo que indica que no hay una significancia estadística (con un nivel de confianza del 95 %) en las variables independientes ni en las interacciones entre los factores sobre el porcentaje de pérdida acidez, mientras que, la gelatina tiene un P menor a 0.05 la cual indica que tuvo un efecto significativo sobre la pérdida acidez.

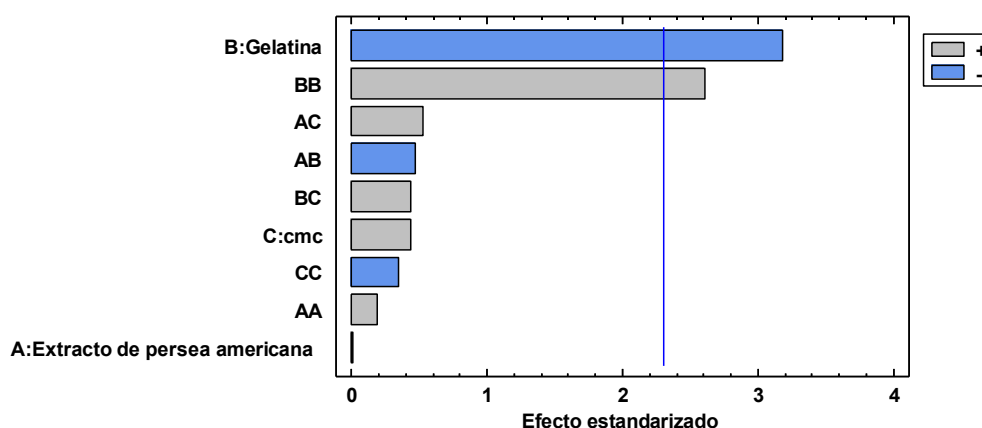
Asimismo, se observa que la interacción de cada compuesto (AB, AC, BC Y CC) no tiene un efecto estadísticamente significativo en la pérdida de acidez en los arándanos, mientras que la interacción entre el mismo compuesto (BB) tiene un efecto estadísticamente significativo en la pérdida de acidez. Además, el R-Cuadrado estadístico indica que el modelo así ajustado, nos refleja un 42.4696 % de la variabilidad respecto al % de pérdida de acidez.

El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño. Los efectos estandarizados son estadísticos t que prueban la hipótesis nula

de que el efecto es 0. El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos.

**Figura 20.**

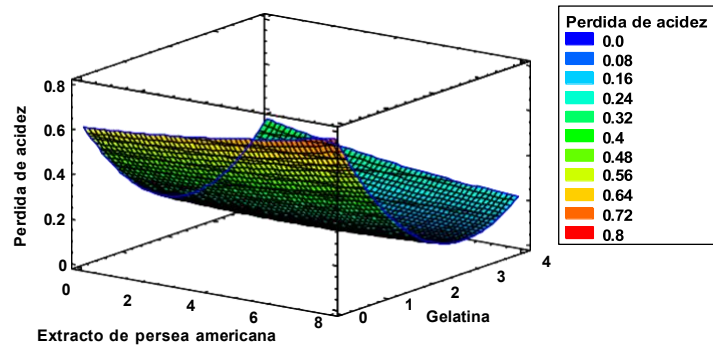
*Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional de la variación de la acidez en los arándanos.*



En la figura 21 se muestra el diagrama de Pareto donde se grafica las estimaciones en orden decreciente para cada uno de los efectos estimados y las interacciones con respecto a la pérdida de acidez, en el cual evidenciamos lo antes mencionado, que solo la gelatina y su interacción entre la misma tuvo un efecto significativo. Además, se pudo observar que el CMC seguido el extracto de *Persea americana* tuvieron un efecto positivo en la pérdida de acidez haciendo que esta misma disminuya mientras que la gelatina tuvo un efecto negativo la cual influencio en el aumento de la pérdida de acidez, observándose que la interacción AB y CC (Extracto de *Persea americana* con CMC) tiene un efecto negativo notable, lo que implica que esta combinación podría ayudar a aumentar la pérdida de acidez en los arándanos. En cambio, otras interacciones, como AC, BB y BC, tienen un efecto positivo la cual podría ayudar a disminuir la pérdida de acidez.

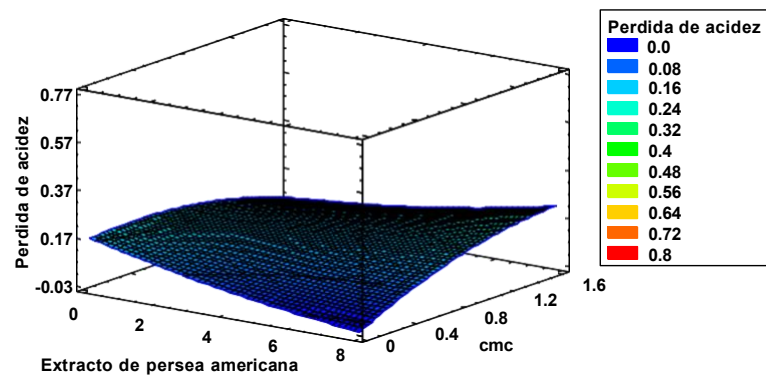
**Figura 21.**

*Superficie de respuesta de la variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina.*



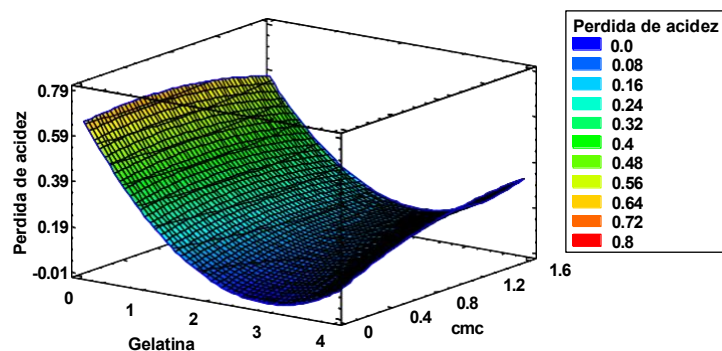
**Figura 22.**

*Superficie de respuesta de la variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC.*



**Figura 23.**

*Superficie de respuesta de la variación de acidez en los arándanos en función al CMC y gelatina.*



Como se puede apreciar, en las figuras se muestra la superficie respuesta estimada para lograr una menor perdida de acidez en los arándanos, se

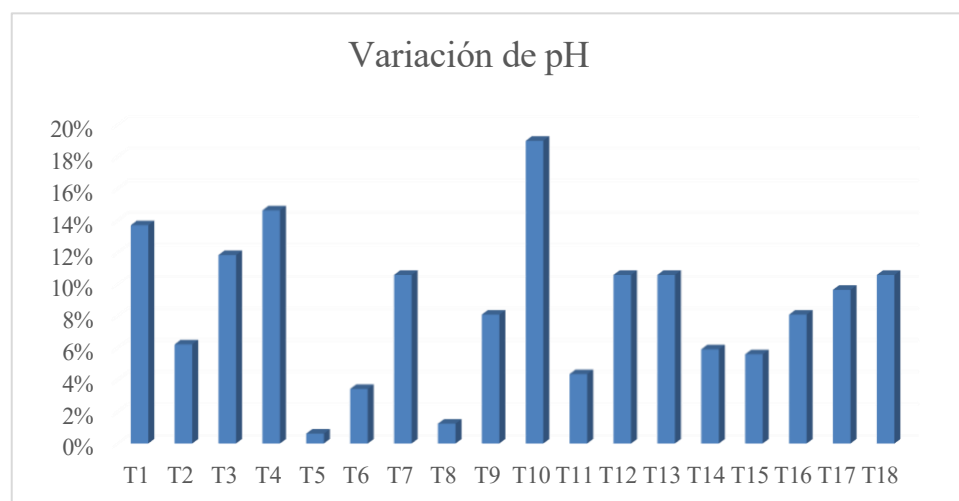
requiere una concentración de 2 – 4 % gelatina, 0 – 0.4 % de CMC y 6 – 7 mg/mL de extracto de *Persea americana*. De acuerdo con Tyuftin & Kerry (2021) para obtener excelentes propiedades en las películas y que conserve la fruta en buenas condiciones es necesario que solo se utilice entre 4- 8% en soluciones de gelatina, además. Pandia-Estrada et al. (2021), nos dice que las películas con compuestos bioactivos impiden la proliferación de hongos al interactuar con el agua libre de la fruta, creando una atmósfera controlada que reduce la pérdida de agua, la tasa de respiración y la actividad de enzimas degradativas. Además, Yingbin et al. (2024) nos dice que las propiedades antioxidantes de un extracto hacen que las frutas sean menos susceptibles a la oxidación.

#### 4.3.3. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la variación pH del arándano

En el siguiente grafico se puede observar la variación de pH de los arándanos almacenadas con película multifuncional.

**Figura 24.**

*Efecto de la película multifuncional del pH en los arándanos.*



En la Figura 25 se puede observar que el aumento de pH en diferentes tratamientos (T1-T18). Se observa el aumento de pH varía significativamente entre los tratamientos, en particular, el tratamiento T10 (0.875% CMC, 0.31820% Gelatina y 4% de extracto de *Persea americana*) la cual muestra un mayor aumento en su pH durante el almacenamiento, mientras que el T5 (0.875% CMC, 2% Gelatina y

7.36359% de extracto de *Persea americana*) muestra un menor aumento en su pH, lo que podría indicar que la efectividad de la película vario según la concentración de gelatina y extracto de *Persea americana*.

En general, el pH de los arándanos tendió a aumentar ligeramente durante el almacenamiento debido a la descomposición de los ácidos orgánicos (Jiang et al., 2022). El arándano es considerado de buena calidad cuando su pH oscila entre 2.5 a 4.25. Además, en el almacenamiento una buena calidad del arándano está relacionado a un pH inferior de 3.5 (Ancoco, 2022). Por otro lado, Soares et al., (2023) mencionan que este incremento en el valor de pH puede también estar relacionado con el deterioro del arándano, formación de compuestos autólisis alcalinos (compuestos nitrogenados) y a la producción de metabolitos fúngicos.

**Tabla 16.**

*Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de la pH en los arándanos.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Extracto de <i>Pers ea americana</i>	0.000279789	1	0.000279789	0.01	0.9262
B:Gelatina	0.0104968	1	0.0104968	0.34	0.5741
C:CMC	0.0210649	1	0.0210649	0.69	0.4306
AA	0.0621984	1	0.0621984	2.03	0.1917
AB	0.00405	1	0.00405	0.13	0.7254
AC	0.0072	1	0.0072	0.24	0.6405
BB	0.00344295	1	0.00344295	0.11	0.7459
BC	0.0288	1	0.0288	0.94	0.3603
CC	0.00738378	1	0.00738378	0.24	0.6364
Error total	0.244656	8	0.0305819		
Total (corr.)	0.394628	17			

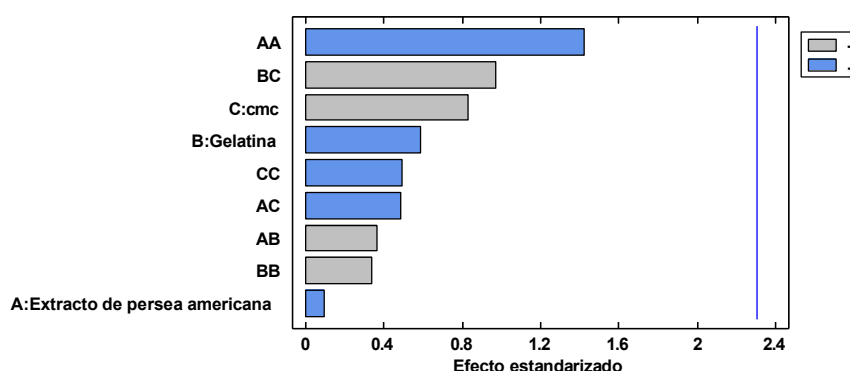
Por otro lado, en la Tabla 16 se presenta el análisis de varianza (ANOVA), donde se descompone la variabilidad de la variable de respuesta, en este caso, el aumento del pH. Los resultados muestran que el CMC, gelatina y el extracto de *Persea americana* tienen un valor de P inferior a 0.05 ( $P > 0.05$ ), lo que indica que no hay una significancia estadística (con un nivel de confianza del 95 %) en las variables independientes. Asimismo, se observa que la interacción de cada compuesto entre los factores no tiene

un efecto estadísticamente significativo en el aumento del pH en los arándanos. Además, el R-Cuadrado estadístico indica que el modelo así ajustado, nos refleja un 38.005 % de la variabilidad respecto al aumento de pH.

El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño. Los efectos estandarizados son estadísticos t que prueban la hipótesis nula de que el efecto es 0. El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos.

**Figura 25.**

*Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional de la variación de la acidez en los arándanos.*

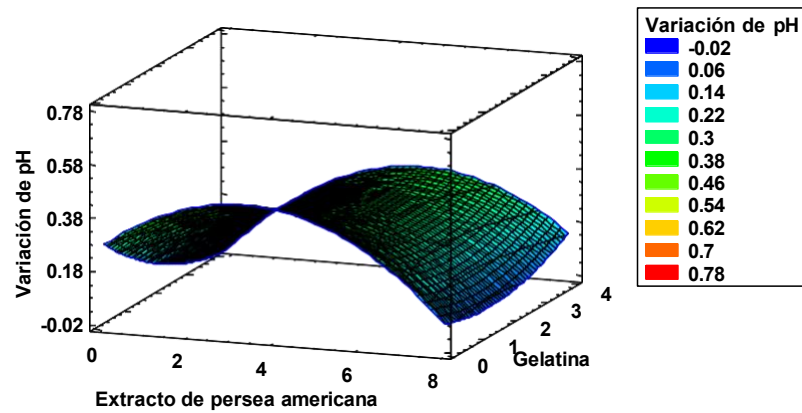


En la figura 26 se muestra el diagrama de Pareto donde se grafica las estimaciones en orden decreciente para cada uno de los efectos estimados y las interacciones con respecto al aumento de pH. Además, se pudo observar que el efecto que influyo positivo fue el CMC la cual hizo que el pH no aumente mucho y se mantengas, mientras que el del efecto negativo fue la gelatina y el extracto de *Persea americana* la cual influenciaron en el aumento del pH, observándose que la interacción AA, AC y CC (Extracto de *Persea americana* con CMC) tiene un efecto negativo notable, lo que implica que esta combinación podría ayudar a aumentar gradual mente en el pH en los arándanos. En cambio, otras interacciones, como AC, BB y BC, tienen un efecto positivo la cual podría ayudar a no aumentar de forma progresiva el pH y mantenerse.



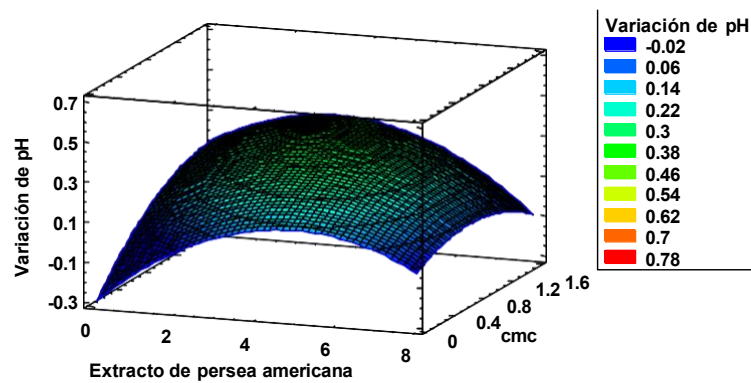
**Figura 26.**

*Superficie de respuesta para variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina.*



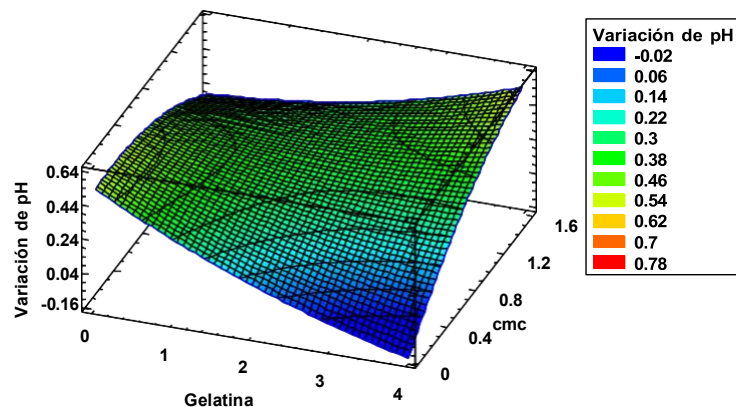
**Figura 27.**

*Superficie de respuesta para variación de acidez en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC.*



**Figura 28.**

*Superficie de respuesta para variación de acidez en los arándanos en función del CMC y gelatina.*



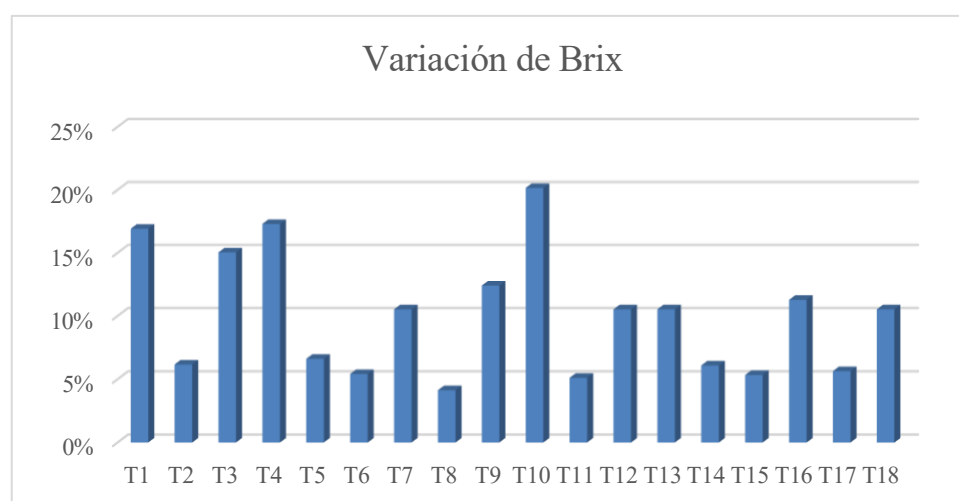
Como se puede apreciar, en las figuras se muestra la superficie respuesta estimada para lograr para un menor aumento de pH en los arándanos, se requiere una concentración de 2 – 4 % gelatina, 0 – 0.4 % de CMC y 0 – 2 mg/mL de extracto de *Persea americana*. De acuerdo con Tyuftin & Kerry (2021) para obtener excelentes propiedades de conservación en los frutos es necesario que solo se utilice entre 4- 8% en soluciones de gelatina. Además, Yingbin et al. (2024) nos dice que las propiedades antioxidantes de un extracto hacen que las frutas sean menos susceptibles a la oxidación. Pandía-Estrada et al. (2021), nos dice que las películas con compuestos bioactivos impiden la proliferación de hongos al interactuar con el agua libre de la fruta, creando una atmósfera controlada que reduce la pérdida de agua, la tasa de respiración y la actividad de enzimas degradativas.

#### 4.3.4. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la variación de Brix del arándano

En el siguiente grafico se puede observar la variación de Brix de los arándanos almacenadas con película multifuncional.

**Figura 29.**

*Efecto de la película multifuncional en la variación de Brix en los arándanos.*



En la Figura 30 se puede observar la variación de Brix en diferentes tratamientos (T1-T18). Se observa el aumento de Brix varía significativamente entre los tratamientos, en particular, el tratamiento T10

(0.875% CMC, 0.31820% Gelatina y 4% de extracto de *Persea americana*) la cual muestra un mayor aumento en el Brix durante el almacenamiento, mientras que el T8 (0.875% CMC, 3.682% Gelatina y 4% de extracto de *Persea americana*) muestra un menor aumento en su Brix, lo que podría indicar que la efectividad de la película vario según la concentración de gelatina. Rosales (2023) indica que el aumento de los sólidos solubles se debe a la pérdida de humedad que se tiene en el fruto, lo que hace que tenga mayor concentración de los azúcares solubles.

Así mismo, Yang et al., (2021) también indica que el aumento de la concentración de sólidos solubles está asociado con la pérdida de humedad, ya que los arándanos se cosecharon completamente maduros. Por otro lado, Wu et al. (2025), indica que la disminución más lenta de los sólidos solubles, puede atribuirse al efecto protector de la película contra la actividad microbiana y la degradación enzimática, preservando el contenido de azúcar y la calidad general del arándano. Asi mismo, Firdaus et al. (2024) menciona que los extractos mantienen los Brix al liberar gradualmente compuestos bioactivos que inhiben la actividad enzimática y microbiana, reduciendo la tasa de respiración y pérdida de agua.

**Tabla 17.**

*Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de los Brix en los arándanos.*

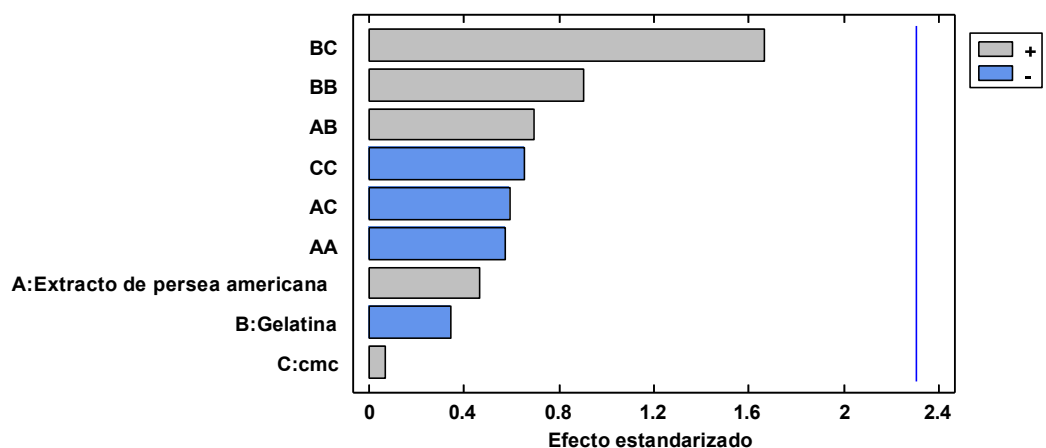
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Extracto de <i>Persea americana</i>	0.108336	1	0.108336	0.21	0.6566
B:Gelatina	0.0596028	1	0.0596028	0.12	0.7408
C:CMC	0.00212741	1	0.00212741	0.00	0.9500
AA	0.166003	1	0.166003	0.33	0.5833
AB	0.245	1	0.245	0.48	0.5071
AC	0.18	1	0.18	0.35	0.5682
BB	0.412842	1	0.412842	0.81	0.3937
BC	1.4112	1	1.4112	2.78	0.1342
CC	0.215312	1	0.215312	0.42	0.5333
Error total	4.0653	8	0.508162		
Total (corr.)	7.06631	17			

Por otro lado, en la Tabla 17 se presenta el análisis de varianza (ANOVA), donde se descompone la variabilidad de la variable de respuesta, en este caso, el aumento de los Brix. Los resultados muestran que el CMC, gelatina y el extracto de *Persea americana* tienen un valor de P inferior a 0.05 ( $P > 0.05$ ), lo que indica que no hay una significancia estadística (con un nivel de confianza del 95 %) en las variables independientes. Asimismo, se observa que la interacción de cada compuesto entre los factores no tiene un efecto estadísticamente significativo en el aumento de los °Brix en los arándanos. Además, el R-Cuadrado estadístico indica que el modelo así ajustado, nos refleja un 42.4693 % de la variabilidad respecto al aumento de los °Brix.

El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño. Los efectos estandarizados son estadísticos t que prueban la hipótesis nula de que el efecto es 0. El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos.

**Figura 30.**

*Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional de la variación del Brix en los arándanos.*

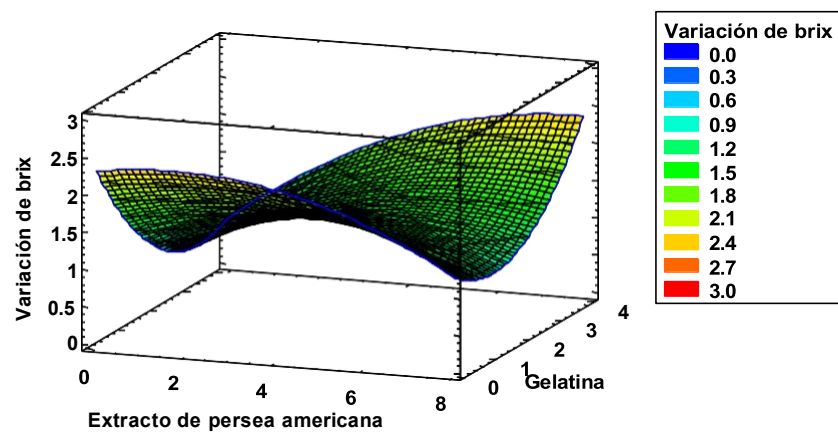


En la figura 31 se muestra el diagrama de Pareto donde se grafica las estimaciones en orden decreciente para cada uno de los efectos estimados y las interacciones con respecto al aumento de pH. Además, se pudo observar que el factor que influyó positivamente fueron el CMC y el

extracto de *Persea americana* la cual hizo que el °Brix en los arándanos no aumentara, mientras que el del efecto negativo fue la gelatina la cual influyó en el aumento del °Brix, observándose que la interacción AA, AC y CC (Extracto de *Persea americana* con CMC) tiene un efecto negativo notable, lo que implica que esta combinación podría ayudar a aumentar gradualmente en el °Brix en los arándanos. En cambio, otras interacciones, como AC, BB y BC, tienen un efecto positivo la cual podría ayudar a no aumentar de forma progresiva el °Brix y hasta llegar a mantenerse.

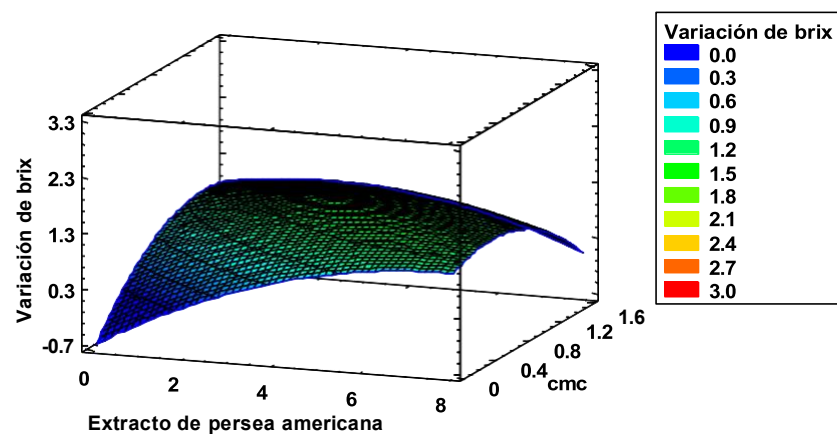
**Figura 31.**

*Superficie de respuesta para variación de Brix en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina.*



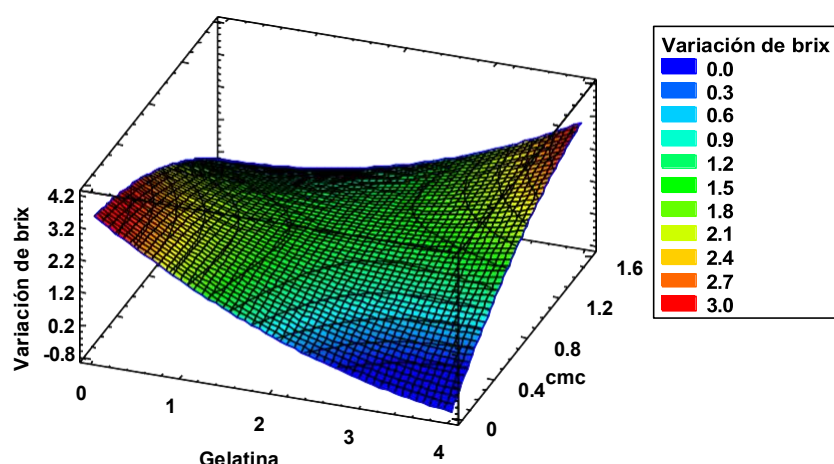
**Figura 32.**

*Superficie de respuesta para variación de Brix en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC.*



**Figura 33.**

*Superficie de respuesta para variación de Brix en los arándanos en función del CMC y gelatina.*



Como se puede apreciar, en las figuras se muestra la superficie respuesta estimada para lograr para un menor aumento en el Brix de los arándanos, se requiere una concentración de 2 – 4 % gelatina, 0 – 0.4 % de CMC y 0 – 2 mg/mL de extracto de *Persea americana* aproximadamente.

De acuerdo con Tyuftin y Kerry (2021), para lograr excelentes propiedades de conservación en los frutos, es recomendable utilizar soluciones de gelatina en concentraciones entre 4% y 8%. Por su parte, Yingbin et al. (2024) señalan que las propiedades antioxidantes de ciertos extractos contribuyen a que las frutas sean menos susceptibles a los procesos de oxidación. En la misma línea, Pandia-Estrada et al. (2021) indica que las películas que contienen compuestos bioactivos inhiben la proliferación de hongos al interactuar con el agua libre presente en la fruta. Esta interacción permite generar una atmósfera controlada que reduce la pérdida de agua, disminuye la tasa de respiración y limita la actividad de enzimas degradativas.

#### **4.3.5. Evaluación del efecto de la película multifuncional en la capacidad antioxidante del arándano**

En el siguiente Tabla se puede observar la capacidad antioxidante de los arándanos almacenadas con película multifuncional.

**Tabla 18.**

*Efecto de la película multifuncional en la capacidad antioxidante de los arándanos.*

Tratamientos	Capacidad antioxidante		Variación de DPPH
	umol trolox/g		
	Prome	Desv	
T1	37.304	$\pm 1.023$	2.81
T2	40.550	$\pm 0.512$	0.44
T3	44.019	$\pm 1.045$	3.91
T4	45.330	$\pm 1.249$	5.22
T5	43.809	$\pm 0.347$	3.70
T6	42.837	$\pm 0.549$	2.73
T7	43.542	$\pm 0.649$	3.43
T8	52.949	$\pm 3.201$	12.84
T9	42.046	$\pm 0.212$	1.94
T10	39.990	$\pm 0.990$	-0.12
T11	44.197	$\pm 1.672$	4.09
T12	43.542	$\pm 0.649$	3.43
T13	43.542	$\pm 0.649$	3.43
T14	37.422	$\pm 37.825$	-2.69
T15	46.904	$\pm 47.106$	6.79
T16	46.730	$\pm 45.475$	6.62
T17	41.085	$\pm 41.466$	0.98
T18	43.542	$\pm 0.649$	3.43

En el Tabla 18 se observa la variación del contenido de la capacidad antioxidante del arándano en las muestras película multifuncional durante un almacenamiento a 4°C, la cual tuvieron un comportamiento ascendente mientras que el T10 y T14 tuvieron un comportamiento descendente. De acuerdo con Serrano et al. (2020), las bajas temperaturas retardan la maduración de la fruta y logra que la concentración de compuestos antioxidantes dentro del fruto se conserve. De igual manera, Koort (2020) menciona que la alta capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se logra mantener en frutos de arándano almacenados a 4 °C. Por otro lado,

Jing et al. (2025) nos dice que las películas pueden actuar como una barrera de gases, influyendo en la atmósfera interna de la fruta durante el almacenamiento en frío, reduciendo así la interacción de las antocianinas con el oxígeno y retrasando su degradación, además, al ser una película con fuertes propiedades antioxidantes puede lograr fortalecer la resistencia de la fruta frente al deterioro. Así mismo, una disminución en la capacidad antioxidante también puede ser una señal de que la fruta está perdiendo frescura o calidad nutricional

**Tabla 19.**

*Análisis de Varianza del efecto de la película multifuncional en variación de la capacidad antioxidante en los arándanos.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Extracto de <i>Persea americana</i>	15.5388	1	15.5388	1.15	0.3140
B:Gelatina	17.0343	1	17.0343	1.27	0.2932
C:CMC	0.471471	1	0.471471	0.04	0.8562
AA	0.0210801	1	0.0210801	0.00	0.9694
AB	5.87559	1	5.87559	0.44	0.5274
AC	6.73812	1	6.73812	0.50	0.4993
BB	8.73954	1	8.73954	0.65	0.4437
BC	8.25805	1	8.25805	0.61	0.4560
CC	7.35967	1	7.35967	0.55	0.4808
Error total	107.689	8	13.4611		
Total (corr.)	181.994	17			

Por otro lado, en la Tabla 19 se presenta el análisis de varianza (ANOVA), donde se descompone la variabilidad de la variable de respuesta, en este caso, en el aumento de la capacidad antioxidante. Los resultados muestran que el CMC, gelatina y el extracto de *Persea americana* tienen un valor de P inferior a 0.05 ( $P > 0.05$ ), lo que indica que no hay una significancia estadística (con un nivel de confianza del 95 %) en las variables independientes. Asimismo, se observa que la interacción de cada compuesto entre los factores no tiene un efecto estadísticamente significativo en el aumento de la capacidad antioxidante en los arándanos. Además, el R-Cuadrado estadístico indica que el modelo así ajustado, nos

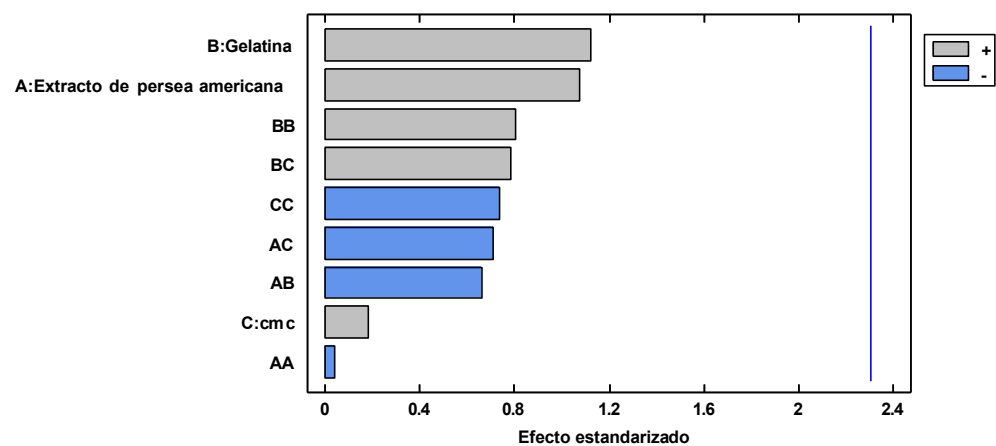


refleja un 42.8284 % de la variabilidad respecto a la capacidad antioxidante.

El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño. Los efectos estandarizados son estadísticos t que prueban la hipótesis nula de que el efecto es 0. El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos.

**Figura 34.**

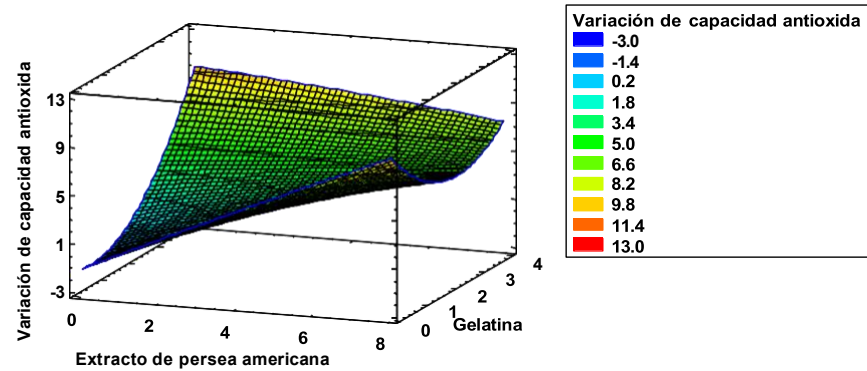
*Diagrama de Pareto del efecto de la película multifuncional en la capacidad antioxidante de los arándanos.*



En la figura 35 se muestra el diagrama de Pareto donde se grafica las estimaciones en orden decreciente para cada uno de los efectos estimados y las interacciones con respecto al aumento de la capacidad antioxidante. Además, se pudo observar que los factores que influyeron positivamente fueron el CMC, gelatina y extracto de *Persea americana* la cual hizo la capacidad antioxidante los arándanos no aumentara, observándose que la interacción AA, AC, AB y CC tienen un efecto negativo notable, lo que implica que esta combinación podría ayudar a aumentar gradualmente en la capacidad antioxidante en los arándanos. En cambio, otras interacciones, como BB y BC, tienen un efecto positivo la cual podría ayudar a no aumentar de forma progresivamente la capacidad antioxidante en los arándanos.

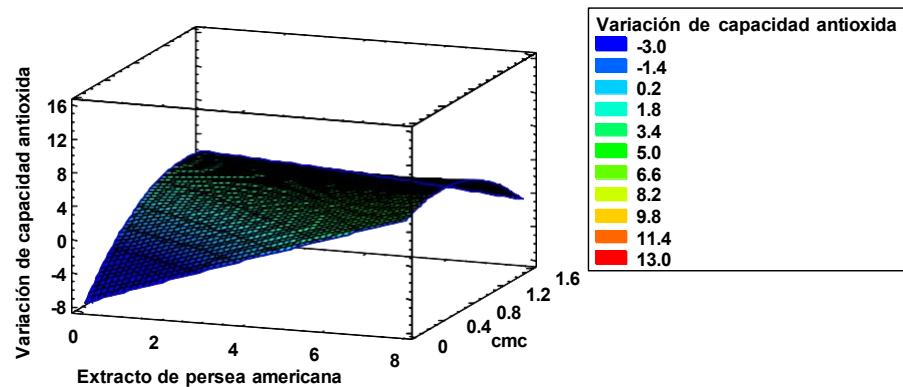
**Figura 35.**

*Superficie de respuesta para la capacidad antioxidante en los arándanos en función al extracto de Persea americana y gelatina.*



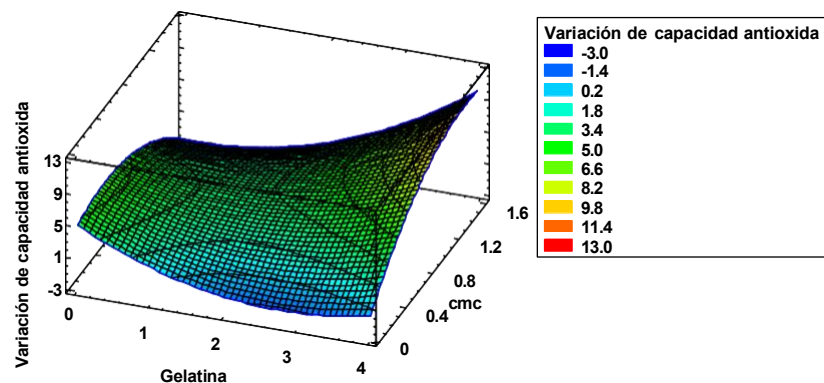
**Figura 36.**

*Superficie de respuesta en la capacidad antioxidante en los arándanos en función al extracto de Persea americana y CMC.*



**Figura 37.**

*Superficie de respuesta en la capacidad antioxidante en los arándanos en función del CMC y gelatina.*



Como se puede apreciar, en las figuras se muestra la superficie respuesta estimada para lograr para un menor aumento en el Brix de los arándanos, se requiere una concentración de 2 – 4 % gelatina, 0 – 0.4 % de CMC y 0 – 2 mg/mL de extracto de *Persea americana* aproximadamente. Pandia-Estrada et al. (2021) indica que las películas con compuestos bioactivos impiden la proliferación de hongos al interactuar con el agua libre presente en la fruta, creando una atmósfera controlada que reduce la pérdida de agua, la tasa de respiración y la actividad de enzimas degradativas. Asimismo, Yingbin et al. (2024) señalan que las propiedades antioxidantes de ciertos extractos ayudan a que las frutas sean menos susceptibles a la oxidación. Finalmente, Tyuftin y Kerry (2021) afirman que, para obtener excelentes propiedades de conservación en los frutos, se recomienda emplear soluciones de gelatina en concentraciones entre 4% y 8%.

#### **4.4. DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL.**

Mediante la aplicación de la optimización multirespuesta a través de la función de deseabilidad, se identificó la combinación óptima de factores experimentales que permite optimizar simultáneamente diversas variables de interés. En este estudio, se minimizó la pérdida de peso (%), los sólidos solubles (°Brix), la acidez (% de ácido cítrico), el pH y la capacidad antioxidante, alcanzando un valor mínimo global de deseabilidad de 0.44. Este análisis se realizó específicamente con los datos obtenidos al séptimo día de almacenamiento a 4 °C, utilizando un enfoque integral que evaluó las cinco variables de respuesta de manera conjunta para determinar las condiciones experimentales que aseguren la mejor conservación y calidad del producto durante el periodo estudiado.

**Tabla 20.***Optimización de múltiples respuestas.*

Trat	Variables dependientes					Deseabilidad predicho	Deseabilidad observada
	Perdida de peso (%)	Acidez (%)	pH	SST (°Brix)	DPPH (umol trolox/g)		
T1	14.246	0.67%	3.650	15.550	37.304	0.523983	0.3512
T2	5.935	0.72%	3.410	14.120	40.550	0.654826	0.807677
T3	14.207	0.67%	3.590	15.300	44.019	0.671673	0.40195
T4	13.812	0.64%	3.680	15.600	45.330	0.530198	0.318982
T5	7.040	0.83%	3.230	14.180	43.809	0.675492	0.831956
T6	5.911	0.84%	3.320	14.020	42.837	0.796685	0.85564
T7	6.865	0.74%	3.550	14.700	43.542	0.652871	0.646468
T8	5.575	0.83%	3.250	13.850	52.949	0.444287	0
T9	7.247	0.57%	3.470	14.950	42.046	0.579904	0.611009
T10	16.661	0.26%	3.820	15.980	39.990	0.308749	0
T11	3.998	0.69%	3.350	13.980	44.197	0.828766	0.801396
T12	6.865	0.74%	3.550	14.700	43.542	0.652871	0.646468
T13	6.865	0.74%	3.550	14.700	43.542	0.652871	0.646468
T14	4.930	0.75%	3.400	14.110	37.422	0.916008	0.837419
T15	5.346	0.49%	3.390	14.010	46.904	0.70856	0.627256
T16	11.944	0.60%	3.470	14.800	46.730	0.413006	0.497873
T17	4.800	0.78%	3.520	14.050	41.085	0.719574	0.79277
T18	6.865	0.74%	3.550	14.700	43.542	0.652871	0.646468

De la Tabla 20, se puede observar que minimizando la función de ‘deseabilidad’, teniendo esta un rango de cero a uno, donde uno representa la situación ideal y cero indica que una o más respuestas están fuera de los límites aceptables, siendo el tratamiento 6 y 14 es el cumple con la deseabilidad deseada para las variables respuestas del arándano. Es por ello que, en la Tabla 21 por medio de una optimización de múltiple respuesta se encontró las concentraciones de extracto de *Persea americana*, gelatina y CMC óptimos.

**Tabla 21.***Niveles óptimos del % de Extracto de Persea americana, CMC y gelatina.*

	Óptima
A:Extracto de <i>Persea americana</i>	2.69975 mg/mL
B:Gelatina	2.95035 %
C:CMC	0.244334 %

#### 4.5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS QUÍMICAS DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL

La siguiente tabla presenta los valores obtenidos para las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la formulación óptima de la película multifuncional desarrollada a partir de cáscara de *Persea americana*, gelatina y CMC. Se evaluaron parámetros clave como el contenido de humedad, la solubilidad en agua y la capacidad antioxidante, expresada como porcentaje de inhibición del radical DPPH. Asimismo, se incluyó la capacidad antimicrobiana frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, evaluada a través de la zona de inhibición en centímetros. Estos resultados permiten caracterizar el comportamiento funcional de la película, considerando su potencial para la conservación del arándano.

**Tabla 22.**

*Propiedades fisicoquímicas y antimicrobianas de la formulación óptima de la película multifuncional.*

Definición		Valor
Humedad (%)		16.535
Solubilidad (%)		21.698
%Inhibición de radicales DPPH	Promedio	42.583
	Desv	± 1.010
Capacidad antimicrobiana –	<i>Escherichia coli</i>	2.3
	<i>Staphylococcus aureus</i>	2.5
Inhibición (cm)		

En el análisis de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las películas multifuncionales elaboradas a partir de extracto de cáscara de *Persea americana*, CMC y gelatina, el tratamiento óptimo presentó un contenido de humedad de 16.535%, ubicándose entre los valores más bajos del estudio anterior (15.95%–70.75%), lo que refleja una estructura polimérica densa y compacta que limita la absorción y retención de agua. Este comportamiento se alinea con lo señalado por Qazanfarzadeh & Kumaravel (2023), quienes indican que la humedad en una película está condicionada por la capacidad de su matriz para formar enlaces de

hidrógeno, lo cual depende de la cantidad de grupos hidrófilos disponibles y de la organización interna de la red.

En este tratamiento, la elevada proporción de gelatina (2.95%) habría favorecido la formación de una red tridimensional firme, capaz de inmovilizar moléculas de agua, como también lo observaron Song et al. (2024) en películas con gelatina y extractos activos. Además, Liu et al. (2020) señalaron que ciertos compuestos fenólicos pueden ejercer un efecto hidrofóbico dentro de matrices suficientemente densas, disminuyendo la retención de humedad. La CMC, en concentraciones bajas como la empleada (0.244%), también desempeña un rol importante, pues según Vargas-Torrico et al. (2022), en dosis moderadas no incrementa excesivamente la afinidad por el agua, sino que colabora estructuralmente, lo cual se traduce en una matriz menos hidratable y más estable.

Por otro lado, la solubilidad del tratamiento óptimo fue de 21.698%, también entre los valores más bajos registrados (20.69%–77.03%). Esta baja solubilidad indica una red polimérica fuertemente reticulada, en la que los grupos hidroxilo (-OH) disponibles para interactuar con el agua están limitados. Vargas-Torrico et al. (2023) observaron una reducción similar de solubilidad en películas Gel-CMC al incorporar extractos fenólicos, atribuida a la formación de estructuras más organizadas, como láminas  $\beta$ , que refuerzan la red interna. De igual forma, Peng et al. (2020) reportaron que ciertos extractos naturales, cuando se utilizan en proporciones adecuadas, pueden actuar como agentes de reticulación que fortalecen la red proteína-polisacárido, disminuyendo su afinidad por el agua. Esta idea también fue respaldada por Moghadam et al. (2020), quienes explican que la interacción de compuestos fenólicos con los biopolímeros reduce la exposición de grupos polares, lo que disminuye la solubilidad.

Por ello, al comparar los resultados de esta investigación con los reportados por Sahraee et al. (2020), se observa una coincidencia en los valores de solubilidad, donde ambos estudios alcanzaron aproximadamente un 22% al emplear extractos fenólicos vegetales en matrices de Gel-CMC con proporciones equivalentes de biopolímeros. Este paralelismo sugiere que tanto la composición química como la organización estructural de la matriz son factores críticos que determinan la estabilidad del material en medios acuosos.

A su vez, tal cual como se mencionó antes esta baja solubilidad guarda relación directa con una menor permeabilidad al vapor de agua (WVP), como lo demostraron Kalkan et al. (2020), quienes identificaron que las películas menos solubles tienden a ser más compactas y menos susceptibles al hinchamiento, restringiendo así el paso del vapor.

Respecto a la capacidad antioxidante, el tratamiento óptimo alcanzó la mayor inhibición DPPH (42.583%) del estudio, superando incluso al tratamiento T6 (38.08%), que contenía una mayor concentración de extracto (4 mg/mL). Este resultado es significativo, ya que se logró con una proporción intermedia (~2 mg/mL), lo que sugiere que la eficacia antioxidante no depende únicamente de la cantidad de compuestos fenólicos, sino de cómo se integran y se distribuyen en la matriz Gel-CMC. Alias et al. (2022) explican que los fenoles donan electrones para estabilizar radicales libres, pero su efectividad está condicionada por la red polimérica que los alberga. En este sentido, Vargas-Torrico et al. (2022) resaltan que una matriz cohesiva mejora la interacción con grupos funcionales de gelatina y CMC, potenciando la actividad antioxidante. Asimismo, Chou et al. (2023) afirman que una estructura equilibrada permite una liberación progresiva y eficaz de los antioxidantes, sin comprometer la estabilidad del sistema.

Este comportamiento explica por qué, en los 18 tratamientos anteriores, incluso al aumentar la concentración de extracto hasta 6 mg/mL, la capacidad antioxidante no superó el 38%, manteniéndose estable. Según Liu et al. (2020) y Priyadarshi et al. (2021), concentraciones elevadas pueden causar agregación o saturación dentro de la matriz, dificultando la liberación activa de los compuestos. En contraste, el tratamiento óptimo logró un equilibrio ideal entre concentración y estructura, favoreciendo interacciones moleculares estables. Asimismo, cabe resaltar que los resultados coinciden con Sahraee et al. (2020), quienes lograron ≈41% de actividad antioxidante en películas Gel-CMC con bajas dosis de extracto integradas en redes densas, confirmando que la estructura molecular es tan importante como la dosis para maximizar la funcionalidad del material.

En cuanto a la actividad antimicrobiana, el tratamiento óptimo presentó zonas de inhibición de 2.3 cm contra *Escherichia coli* y 2.5 cm contra *Staphylococcus*

*aureus*, lo que sugiere una alta eficacia frente a bacterias Gramnegativas y una eficacia moderada frente a Grampositivas. Este resultado destaca especialmente frente a estudios previos, como el de He et al. (2021), quienes obtuvieron zonas de hasta 2.42 cm para el *Staphylococcus aureus* utilizando películas CMC-Gel enriquecidas con  $\epsilon$ -polilisina al 10%. Aunque en el presente caso el extracto de *Persea americana* no fue incorporado con un propósito netamente antimicrobiano, sino funcional, sus componentes bioactivos han demostrado un efecto significativo.

A pesar de ello, su contenido en catequinas, quercetina y kaempferol —compuestos fenólicos ampliamente documentados por Aboody & Mickymaray (2020) por alterar la permeabilidad celular y desestabilizar la función mitocondrial— permite una acción inhibitoria efectiva. Liu et al. (2021) también respaldan que la actividad antimicrobiana de los polifenoles no solo responde a la concentración, sino a múltiples mecanismos sinérgicos que afectan proteínas de membrana, enzimas metabólicas e integridad celular. La mayor inhibición frente a *S. aureus* podría explicarse por su pared celular más permeable, a diferencia de la doble membrana externa de *E. coli*, que dificulta el paso de agentes activos.

Este comportamiento se relaciona con la forma en que los compuestos activos se distribuyen e integran en la matriz polimérica ya que una matriz polimérica cohesiva con porosidad controlada permite la liberación gradual de compuestos fenólicos sin afectar la integridad del material, lo que favorece su acción antimicrobiana; una vez liberados, estos compuestos se unen a proteínas y grupos sulfhidrilo de las bacterias, provocando la desnaturalización de proteínas, el bloqueo de enzimas esenciales y la alteración de membranas, generando así su efecto inhibitorio, tal como señalan Shallan et al. (2020) con los extractos fenólicos de alcachofa.

Además, Vargas-Torrico et al. (2022) destacan que compuestos como la catequina —aunque menos abundantes— podrían ejercer un efecto significativo cuando actúan en conjunto, debido a su interacción con la red Gel-CMC y su liberación controlada. En esta línea, Jaśkiewicz et al. (2020) y Kalkan et al. (2020) también confirmaron que la eficacia antimicrobiana en películas



biopoliméricas depende de la interacción entre el tipo de extracto, la concentración y la compatibilidad con la matriz.

Por tanto, los halos de inhibición obtenidos en este estudio, especialmente el de 2.5 cm frente a *S. Aureus*, demuestran una capacidad inhibitoria destacable, superando incluso a varios extractos tradicionalmente utilizados. El tratamiento óptimo evidencia así una funcionalidad realista y prometedora frente a bacterias comunes, con un desempeño comparable o incluso superior al de otros bioactivos empleados en películas comestibles.

Finalmente, es importante destacar que la eficacia observada en este tratamiento no se debió únicamente a las concentraciones individuales de cada componente, sino a la sinergia estructural lograda entre ellos. La baja concentración de CMC (0.244%) evitó una compactación excesiva, permitiendo la migración de compuestos hacia la superficie, mientras que la gelatina, en proporción cercana al 3%, favoreció una red cohesiva, pero con porosidad funcional. Esta combinación permitió equilibrar las propiedades físicas con las funcionales, demostrando que una matriz bien diseñada puede actuar como sistema multifuncional, capaz de ofrecer resistencia mecánica, barrera al agua y actividad biológica, sin necesidad de añadir aditivos sintéticos.

#### **4.6. EVALUACIÓN LA CALIDAD DE CONSERVACIÓN DEL ARÁNDANO CON LA FORMULACIÓN ÓPTIMA DE LA PELÍCULA MULTIFUNCIONAL EN TÉRMINOS FISICOQUÍMICOS**

##### **4.6.1. Evaluación fisicoquímica del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional**

En la siguiente tabla se presentan las propiedades fisicoquímicas del arándano control y del óptimo, ambos envueltos con una película multifuncional elaborada a base de extracto de cáscara de *Persea americana*, CMC y gelatina. Estas propiedades fueron evaluadas en dos momentos: el primer día y el séptimo día de almacenamiento.

**Tabla 23.***Propiedades fisicoquímicas del arándano control y óptimo.*

Propiedades	Control			Óptimo		
	Día 1	Día 7	P/A	Día 1	Día 7	P/A
Peso	106.24 g	99.85 g	6% <sup>P</sup>	77.68 g	73.81 g	5% <sup>P</sup>
°Brix	11.2	13.9	21% <sup>A</sup>	11.2	11.8	9% <sup>A</sup>
Acidez	1.44%	1.26%	0.176% <sup>P</sup>	1.44%	1.29%	0.153% <sup>P</sup>
pH	2.83	3.01	6% <sup>A</sup>	2.83	2.95	4% <sup>A</sup>

Nota: P=perdida, A=Aumento

Se observa que la pérdida de peso en el grupo óptimo fue de 5%, mientras que en el grupo control fue de 6%. Esto indica que el grupo control, al no contar con una película protectora eficaz, presentó una pérdida de peso más significativa debido a la deshidratación y al deterioro natural del fruto. Según Bof et al. (2021), una pérdida de peso entre 5% y 8% es el valor máximo permisible en frutas, además, señala que las pérdidas de peso de hasta 4-5% no afectan significativamente la frescura del fruto. En línea con esto, Yang et al. (2021) explican que la pérdida de peso en frutas durante el almacenamiento es causada, principalmente, por la migración del agua hacia el ambiente circundante. Por su parte, Samsi et al. (2020) demostraron que las películas a base de gelatina y CMC pueden reducir la pérdida de peso y el índice de pardeamiento en un 50,41% y 31,34%, respectivamente. Además, se ha observado que las frutas sin recubrimiento pueden desarrollar mal olor y deteriorarse completamente al séptimo día.

En relación con los sólidos solubles, el grupo control mostró un mayor aumento en comparación con el óptimo, lo cual se relaciona con la pérdida de peso. Yang et al. (2021) indica que el aumento en la concentración de sólidos solubles está directamente asociado con la pérdida de humedad, especialmente en frutos completamente maduros como los arándanos. A su vez, Zhou et al. (2021) destaca que las películas con buenas propiedades antimicrobianas y de barrera al oxígeno pueden ralentizar procesos como la respiración y la hidrólisis de los tejidos. En esta línea, Wu et al. (2025) señala que una disminución más lenta de los sólidos solubles puede atribuirse al efecto protector de la película, que actúa contra la actividad microbiana y la degradación enzimática, ayudando a preservar el contenido de azúcar y la calidad general del fruto.

Respecto a la acidez, el arándano control presentó una disminución del 0.176%, mientras que el óptimo mostró una reducción del 0.153%. Según Li et al. (2021), la acidez titulable se conserva mejor cuando se retrasa la maduración mediante el uso de películas de recubrimiento durante el almacenamiento. Por otro lado, el pH de los arándanos tendió a aumentar ligeramente en ambos grupos, como resultado de la descomposición de los ácidos orgánicos, tal como lo indica Jiang et al. (2022). No obstante, este aumento fue más pronunciado en el grupo control, lo que sugiere una mayor tasa de degradación de los ácidos.

#### 4.6.2. Evaluación de la capacidad antioxidante del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional

En la siguiente tabla se presentan la capacidad antioxidante del arándano control y del óptimo, ambos envueltos con una película multifuncional elaborada a base de extracto de cáscara de *Persea americana*, CMC y gelatina. Estas propiedades fueron evaluadas en dos momentos: el primer día y el séptimo día de almacenamiento.

**Tabla 24.**

*capacidad antioxidante del arándano control y óptimo.*

Tratamientos	Capacidad antioxidante (umol trolox/g)				Variacion de dp <sub>ph</sub>
	Dia 1		Dia 7		
	Prome	Desv	Prome	Desv	
Tcontrol	60.571	± 0.865	58.966	± 0.542	-1.60
Toptimo	60.571	± 0.865	62.950	± 0.617	2.38

En la tabla se observa que la capacidad antioxidante del tratamiento óptimo mostró un aumento de 2.38 unidades, mientras que los arándanos del grupo control, envueltos con un film convencional, presentaron una disminución de 1.60 unidades en dicha capacidad. El arándano es ampliamente reconocido por su alta actividad antioxidante, lo cual se debe a su elevado contenido de ácidos fenólicos y flavonoides, compuestos que le confieren una fuerte capacidad antioxidante, según lo indicado por Jing et al. (2025). No obstante, esta propiedad puede verse afectada por diversos factores.

Yang et al. (2021) señalan que una disminución en la capacidad antioxidante del fruto podría ser un indicio de que el film utilizado no está cumpliendo adecuadamente su función de conservación, permitiendo el deterioro del producto. En este sentido, Jing et al. (2025) explica que las películas activas pueden funcionar como barreras de gases, modificando la atmósfera interna del fruto y ayudando a retrasar su deterioro. Asimismo, Piechowiak et al. (2022) destacan que los recubrimientos elaborados con extractos naturales y aceites esenciales pueden preservar los frutos en buen estado durante el almacenamiento y mantener su capacidad antioxidante a lo largo del tiempo.

#### 4.6.3. Evaluación microbiológica del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional

**Tabla 25.**

*Evaluación microbiológica del arándano.*

	Trat. óptimo	Limite
Levaduras	1 UFC/g	<100 UFC/g
Mohos	1 UFC/g	

En la tabla se observa que el tratamiento óptimo del arándano presentó una colonia de levaduras y mohos de 1 UFC/g, valor que se encuentra por debajo del límite establecido por la RM N.º 591-2008/MINSA, la cual indica que para frutas y arándanos rojos el máximo permitido es <100 UFC/g. De acuerdo con Li et al. (2021), los arándanos tratados con recubrimientos de Nano-SiO<sub>2</sub> mostraron un crecimiento microbiano inferior a 4 UFC/g. Por su parte, Nguyen et al. (2022) afirman que la incorporación de extractos naturales mejora la estabilidad y funcionalidad de las películas, al reducir la humedad y prevenir el crecimiento de hongos mediante enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. Asimismo, Li et al. (2021) coinciden en que los antioxidantes presentes en dichas películas ayudan a reducir la oxidación que deteriora los alimentos, creando una barrera protectora adicional. Finalmente, Fellows (2020) señala que conservar los alimentos a temperaturas entre -1 y 8 °C puede disminuir significativamente la actividad microbiana, prolongando así la vida útil del producto.

## V. CONCLUSIONES

- Se caracterizó la capacidad antioxidante del extracto etanólico de cáscara de *Persea americana*, obteniéndose un 39.70% de inhibición del radical DPPH a una concentración de 0.6996 mg/mL, equivalente a 269.57  $\mu$ mol Trolox/g, demostrando un adecuado potencial antioxidante.
- Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de películas multifuncionales elaboradas con cáscara de *Persea americana*, CMC y gelatina, obteniéndose valores de humedad entre 15.95% y 70.75%, solubilidad entre 20.69% y 77.03%, y capacidad antioxidante (% de inhibición de radicales de DPPH) entre 22.11% y 38.08%.
- Se evaluó el efecto de la película multifuncional la cual tuvo un efecto positivo en las características fisicoquímicas del arándano durante el almacenamiento, mediante 18 tratamientos con diferentes formulaciones, se mostró que los tratamientos más efectivos mantuvieron el pH entre 3.23 – 3.55, los grados Brix entre 14.01 – 14.8, y la acidez entre 0.83 % y 0.78%. Además, lograron reducir la pérdida de peso hasta un 6.22% y mantener una capacidad antioxidante de 45.330 – 47.375  $\mu$ mol Trolox/g con respecto al inicial.
- La formulación óptima para la obtención de la película multifuncional es de 2.6975 mg/mL de extracto de *Persea americana*, 2.95% de gelatina y 0.24% de CMC, la cual demostró ser eficaz para prolongar la vida útil del arándano, validando la hipótesis planteada respecto al extracto de *Persea americana* y la gelatina, que se encuentran dentro de los rangos establecidos (1–3 mg/mL y 2%–3%, respectivamente). Sin embargo, la concentración óptima de CMC determinada en este estudio se ubica fuera del rango propuesto (0.5%–1%), lo que refuta esta parte de la hipótesis.
- Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de la formulación óptima de la película multifuncional elaborada con cáscara de *Persea americana*, CMC y gelatina, obteniéndose una humedad de 16.535%, solubilidad de 21.698%, y una capacidad antioxidante del 42.583% de inhibición DPPH. Además, presentó actividad antimicrobiana con zonas de inhibición de 2.3 cm frente a *E. coli* y 2.5 cm frente a *S. aureus*, demostrando su potencial funcional como película activa.
- La evaluación de la calidad de conservación del arándano con la formulación óptima de la película multifuncional mostró resultados positivos. En comparación

con el control, el tratamiento óptimo presentó una menor pérdida de peso (5% frente al 6%), una conservación adecuada de los °Brix (aumento de 9% frente al 21% del control), y una menor disminución en la acidez (0.153% frente a 0.176% en el control). El pH se mantuvo más estable (4% de variación en el tratamiento óptimo frente al 6% en el control). Además, la capacidad antioxidante aumentó en el tratamiento óptimo (2.38  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ) mientras que el control disminuyó (-1.60  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ). En términos microbiológicos, tanto levaduras como mohos se encontraron dentro del límite aceptable de  $1\text{UFC/g} < 100\text{ UFC/g}$ .

## VI. RECOMENDACIONES

- Evitar el uso de concentraciones elevadas de glicerol ( $>2\%$ ), ya que podrían afectar el proceso de secado de la película multifuncional a base de extracto de *Persea americana*, CMC y gelatina.
- Secar los tratamientos por separado, ya que el secado conjunto puede prolongar el tiempo requerido para este proceso, lo que afectaría la composición y calidad de las películas.
- Realizar estudios similares a diferentes temperaturas ( $0 - 8^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa de ( $85 - 95\%$ ) para comparar los resultados obtenidos a temperatura ambiente con los obtenidos bajo condiciones de refrigeración, lo que permitirá optimizar el proceso de conservación.
- Llevar a cabo estudios de vida útil en otros alimentos de exportación, para evaluar la aplicabilidad de la película multifuncional en la conservación de otros productos agroexportables.
- Se recomienda realizar análisis microbiológico *E. coli* y *S. aureus* al inicio y durante el almacenamiento del arándano envueltos con una película multifuncional, con la finalidad de ver su comportamiento en función del tiempo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aboody, M. S. A., & Mickymaray, S. (2020). Anti-Fungal Efficacy and Mechanisms of Flavonoids. *Antibiotics*, 9(2), 45. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9020045>
- Abdullah, Cai, J., Hafeez, M.A., Wang, Q., Farooq, S., Huang, Q., Tian, W., & Xiao, J. (2022). Biopolymer-based functional films for packaging applications: A review, *Frontiers in Nutrition*, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1000116>
- Abedinia, A., Mohammadi, A., Sharifi, M., Ghalambor, P., Oladzadabbasabadi, N., Ariffin, F., & Huda, N. (2020). Poultry gelatin: Characteristics, developments, challenges, and future outlooks as a sustainable alternative for mammalian gelatin, *Trends in Food Science & Technology*, 104, 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.001>
- Adzhieva, N. K., Yermagambetova, A. D., Tazhibayeva, S. M., Tyussyupova, B. B., & Musabekov, K. B. (2024). Preparation and investigation of the structural and mechanical properties of biodegradable gelatin- based films. *Almaty Tehnologiyk Universitetinñ Habarşysy*, 143(1), 133-143. <https://doi.org/10.48184/2304-568x-2024-1-133-143>
- Ahmed, S., & Janaswamy, S. (2023). Strong and biodegradable films from avocado peel fiber. *Industrial Crops And Products*, 201, 116926. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116926>
- Alipal, N., Mojd, T., Lee, N., Nayan, N., Sahari, N., Basri, H., & Abdullah, H. (2021). Una revisión de la gelatina: propiedades, fuentes, proceso, aplicaciones y comercialización. *Materials Today: Proceedings*, 42(1), 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.922>.
- Ancco Chancahuaña, S. (2022). *Efecto de recubrimientos comestibles a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano en la conservación de arándanos (Vaccinium corymbosum)*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1177/T\\_811.pdf?sequence=1](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1177/T_811.pdf?sequence=1)



- Aguilar–Méndez, M. A., San Martín–Martínez E., Espinoza–Herrera, N. L., Sánchez–Flores, M., Cruz–Orea, A., & Ramírez–Ortíz, M. E. (2022). Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina–carboximetilcelulosa para la preservación de frutos. *Superficies y vacíos*, 25 (1), 1 – 7.
- Alias, A., Wan, M. K., & Sarbon, N. (2022). Emerging materials and technologies of multi-layer film for food packaging application: A review. *Food Control*, 136, 108875. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108875>
- Araujo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruíz, H. A., Govea-Salas, M., Pintado, M., & Aguilar, C. N. (2021). Recovery of bioactive components from avocado peels using microwave-assisted extraction. *Food And Bioproducts Processing*, 127, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.015>
- Andleeb, S., Alsalme, A., Al-Zaqri, N., Warad, I., Alkahtani, J., & Bukhari, S. M. (2020). In-vitro antibacterial and antifungal properties of the organic solvent extract of Argemone mexicana L. *Journal Of King Saud University - Science*, 32(3), 2053-2058. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.01.044>
- Arteaga, H., Robleto, E., de Sousa, A., Souto, S., Batista, J., & Xavier, E. (2021). Postharvest freezing process assessment of the blueberry structure in three acts: Bioimpedance, color, and granulometry analysis, *LWT*, 151, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112237>
- Babiker, E., Mohamed, I., Uslu, N., Musa, M., Juhaimi, F., Ghafoor, K., & Almusallam, I. (2021). Influence of Drying Methods on Bioactive Properties, Fatty Acids and Phenolic Compounds of Different Parts of Ripe and Unripe Avocado Fruits, 70 (4), 589-598. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20343>
- Batagli, L., Schnorr, C., Silva, L., Machado, M., Costa, C., Silveira, G., Dotto., G., Lima, E., & Naushad, M. (2023). Trends in Bioactive Multilayer Films: Perspectives in the Use of Polysaccharides, Proteins, and Carbohydrates with Natural Additives for Application in Food Packaging, *Foods*, 12, 1-17. <https://doi.org/10.3390/foods12081692>
- Behjati, J., & Yazdanpanah, S. (2021). Nanoemulsion and emulsion vitamin D3 fortified edible film based on quince seed gum. *Carbohydrate Polymers*, 262, 117948. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117948>

- Blas, R., & Lavado, F. (2024). Estadísticas Ambientales, Instituto Nacional de Estadística e Informática.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5760864/5117676-estadisticas-ambientales-enero-2024.pdf?v=1706280705>
- Bof, M.J., Laurent, F.E., Massolo, F., Locaso, D.E., Versino, F., & García, M.A. (2021). Bio-Packaging Material Impact on Blueberries Quality Attributes under Transport and Marketing Conditions, *Polymers*, 13(481), 1-20.  
<https://doi.org/10.3390/polym13040481>
- Borja, D., & Goetschel, M. (2022). Subproductos del aguacate (*Persea americana*) Hass y Fuerte: estudio fitoquímico y proximal, Productos naturales: investigación y perspectivas en Ecuador, 29-50.  
<https://doi.org/10.7476/9789978108260.0003>.
- Caballero, J. (2021). *Efecto del secado sobre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en la hoja de moringa (Moringa Oleífera)* [Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial]. Universidad Nacional del Santa.  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3900/52414.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cheng, H., Chen, L., McClements, D.J., Yang, T., Zhang, E.F., Miao, M., Tian, Y., & Zhengyu, J. (2021). Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 114, 70-82.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017>
- Chen, W., Ma, S., Wang, Q., McClements, D.J., Liu, X., Ngai, T., & Liu, F. (2022). Fortification of edible films with bioactive agents: a review of their formation, properties, and application in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62 (18), 5029-5055.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1881435>
- Chou, M., Osako, K., Lee, T., Wang, M., Lu, W., Wu, W., Huang, P., Li, P., & Ho, J. (2023). Characterization and antibacterial properties of fish skin gelatin/guava

- leaf extract bio-composited films incorporated with catechin. *LWT*, 178, 114568. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114568>
- De Dios, N., Tirado, J.M., Rios, C., Luna, G., Isiordia, N., Zamudio, P.B., Estrada, M.O., & Cambero, O.J (2022). Physicochemical, Structural, Thermal and Rheological Properties of Flour and Starch Isolated from Avocado Seeds of Landrace and Hass Cultivars. *Molecules*, 27(3), 910.
- Duan, Y., Tarafdar, A., Chaurasia, D., Singh, A., Bhargava, P., Yang, J., Li, Z., Ni, X., Tian, Y., Li, H., & Awasi, M. K. (2022). Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review, *International Journal of Food Microbiology*, 381, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109890>.
- Dzah, C. S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020). The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100547>
- Escobar, J.A. (2020). *Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón* [Tesis para obtener el título de Licenciado en Biotecnología]. Universidad Autónoma del Estado de México.  
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109321/TESIS.pdf?sequence=1>
- Fajardo, J., Sánchez, F., Dueñas, J., & Dueñas, A. (2022). Extracción asistida por ultrasonido y su aplicación en la obtención de aceites vegetales, *Revista Centro Azúcar*, 49(4), 125-143.
- FAOSTAT. (2023, 27 de Diciembre). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fellows, P.J. (2020). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (2nd ed.), Woodhead Publishing, Cambridge, p. 610.
- Ferreira, S. M., & Santos, L. (2022). From by-product to functional ingredient: Incorporation of avocado peel extract as an antioxidant and antibacterial agent, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103116>

- Ferreira, S. M., Falé, Z., & Santos, L. (2022). Sustainability in Skin Care: Incorporation of Avocado Peel Extracts in Topical Formulations. *Molecules*, 27(6), 1782. <https://doi.org/10.3390/molecules27061782>
- Figuerola, J., Borrás, I., Lozano, J., & Segura, A. (2017). Comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in the seed and seed coat of avocado by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS, *Food Research International*, 105, 752-763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.082>
- Firdaus, S., Ahmad, F., & Zaidi, S. (2024b). Preparation and characterization of biodegradable food packaging films using lemon peel pectin and chitosan incorporated with neem leaf extract and its application on apricot fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130358. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130358>
- Felices, E. J. A., Rivera, P. E. B., & Roca, E. R. E. (2021). Capacidad antioxidante de extractos obtenidos de las hojas de *Senecio rufescens* DC. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(4), 374-385. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.309>
- Grande-Tovar, C., Aranaga-Arias, C., Flórez-López, E. & Araujo-Pabón, L. (2020). Determinación de la actividad antioxidante y antimicrobiana de residuos de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Informador Técnico*, 85(1), 64-82. <https://doi.org/10.23850/22565035.2932>
- Grisales-Mejía, J. F., Martínez-Correa, H. A., & Andrade-Mahecha, M. M. (2024). Biodegradable and antioxidant films with barrier properties to visible and ultraviolet light using Hass avocado (*Persea americana* Mill.) by-products. *Food And Bioproducts Processing*. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.09.001>
- Hadimani, S., Supriya, D., Roops, K., Soujanya, S.K., Rakshata, V., Netravati, A., Akshayakumar, V., Britto, S., & Jogaiah, S. (2023). Biodegradable hybrid biopolymer film based on carboxy methyl cellulose and selenium nanoparticles with antifungal properties to enhance grapes shelf life, *International Journal of Biological Macromolecules*, 237, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124076>

- Hefzalrahman, T., Morsi, M. K. S., Morsy, N. F. S., & Hammad, K. S. M. (2022). Application of enzyme and ultrasound assisted extraction of polyphenols from avocado (*Persea americana* Mill.) peel as natural antioxidants. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 21(2), 129–138. <http://dx.doi.org/10.17306/J.AFS.2022.0980>
- Herrera Balandrano, D.D., Chai, Z., Beta, T., Feng, J., & Huang, W. (2021). Blueberry anthocyanins: An updated review on approaches to enhancing their bioavailability, *Trends in Food Science & Technology*, 118, 808-821. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.006>.
- He, B., Wang, Y., Jiang, Z., Liu, S., & Zhu, J. (2021). Physical properties and antibacterial activity of the composited films based on carboxymethyl cellulose and gelatin functionalized with  $\epsilon$ -polylysine. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 191, 1126-1136. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.181>
- Jaśkiewicz, A., Budryn, G., Nowak, A., & Efenberger-Szmechtyk, M. (2020). Novel Biodegradable Starch Film for Food Packaging with Antimicrobial Chicory Root Extract and Phytic Acid as a Cross-Linking Agent. *Foods*, 9(11), 1696. <https://doi.org/10.3390/foods9111696>
- Jimenez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra, C., Reyes, M., Garcia, D., Paz, R., Encina, C., & Soto, J. (2020). Pulp, Leaf, Peel and Seed of Avocado Fruit: A Review of Bioactive Compounds and Healthy Benefits, *Food Reviews International*, 1-38. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.171752>
- Jiménez-Velázquez, P., Valle-Guadarrama, S., Alia-Tejacal, I., Salinas-Moreno, Y., García-Cruz, L., Pérez-López, A., & Guerra-Ramírez, D. (2020). Separation of bioactive compounds from epicarp of ‘Hass’ avocado fruit through aqueous two-phase systems. *Food And Bioproducts Processing*, 123, 238-250. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.07.004>
- Jiang, B. , Fang, X., Fu, D., Wu, W., Han, Y., & Chen, H. (2022). Exogenous salicylic acid regulates organic acids metabolism in postharvest blueberry fruit. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024909>
- Kalkan, S., Otağ, M. R., & Engin, M. S. (2020). Physicochemical and bioactive properties of edible methylcellulose films containing *Rheum ribes* L. extract.

- Food Chemistry*, 307, 125524.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125524>
- Kamaraj, M., Dhana Rangesh Kumar, V., Nithya, T. G., & Danya, U. (2020). Assessment of Antioxidant, Antibacterial Activity and Phytoactive Compounds of Aqueous Extracts of Avocado Fruit Peel from Ethiopia. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 26, 1549-1557.  
<https://doi.org/10.1007/s10989-019-09965-6>
- Kemadjou, R., Tonou, B., Wandji, M., Tongue, Y., Nyobe, E., Ebouel, F., Godam, M., Feumba, R., & Nama, G. (2021). Total Polyphenol and Flavonoid Content and Antioxidant Capacity of Some Varieties of *Persea americana* Peels Consumed in Cameroon, *Scientific World Journal*, 1-11.  
<https://doi.org/10.1155/2021/8882594>
- Khan, A., Riahi, Z., Kim, J.T., & Whan, J. (2024). Chitosan/gelatin-based multifunctional films integrated with sulfur-functionalized chitin for active packaging applications, *Food Hydrocolloids*, 149, 1-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109537>
- Koort, A., Moor, U., Pöldma, P., Kaiser, C., & Starast, M. (2020). Comparison of regular atmospheric storage versus modified atmospheric packaging on postharvest quality of organically grown lowbush and half-highbush blueberries. *Sustainability* (Switzerland), 10(11).  
<https://doi.org/10.3390/su10113916>
- Kowalczyk, D., Kowalczyk, U., Szymanowska, T., Basiura, M., Łupina, K., & Biendl, M. (2021). Edible films based on gelatin, carboxymethyl cellulose, and their blends as carriers of potassium salts of iso- $\alpha$ -acids: Structural, physicochemical and antioxidant properties. *Food Hydrocolloids*, 115, 1-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106574>
- Li, X., Li, Z., Shah, F., Wang, P., Yuan, Q., & Wu, W. (2024). Biodegradable mulch film enhances the environmental sustainability compared with traditional polyethylene film from multidimensional perspectives, *Chemical Engineering Journal*, 492, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152219>

- Li, Y., Rokayya, S., Jia, F. et al. Shelf-life, quality, safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nano-material films. *Sci Rep* 11, 55 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80056-z>
- Liu, Y., Benohoud, M., Yamdeu, J. H. G., Gong, Y. Y., & Orfila, C. (2021). Green extraction of polyphenols from citrus peel by-products and their antifungal activity against *Aspergillus flavus*. *Food Chemistry X*, 12, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100144>
- Liu, Y., Zhang, X., Li, C., Qin, Y., Xiao, L., & Liu, J. (2020). Comparison of the structural, physical and functional properties of  $\kappa$ -carrageenan films incorporated with pomegranate flesh and peel extracts. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 147, 1076-1088. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.075>
- Łupina, K., Kowalczyk, D., & Kazimierzczak, W. (2022). Functional Properties and Storage Stability of Astaxanthin-Loaded Polysaccharide/Gelatin Blend Films—A Comparative Study. *Polymers*, 14(19), 4001. <https://doi.org/10.3390/polym14194001>
- Łupina, K., Kowalczyk, D., Lis, M., & Basiura-Cembala, M. (2023). Antioxidant polysaccharide/gelatin blend films loaded with curcumin — A comparative study. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 236, 123945. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123945>
- Łupina, K., Kowalczyk, D., Lis, M., Raszewska-Kaczor, A., & Drożdowska, E. (2022). Controlled release of water-soluble astaxanthin from carboxymethyl cellulose/gelatin and octenyl succinic anhydride starch/gelatin blend films. *Food Hydrocolloids*, 123, 107179. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107179>
- Mejía, J.D., García, K.E., Velázquez, G., & Vázquez, A. (2021). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados, *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>

- Melgar, B., Dias, M., Cric, A., Sokovic, M., Garcia, E., Rodríguez, A., Barros, L., & Ferreira, I. (2021). Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants, *Industrial Crops and Products*, 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.024>
- Ministerio de Producción. (2023). Compuestos activos a partir de residuos de palta (*Persea americana*) y su aplicación industrial, CITEagroindustrial. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5431155/4852573-boletin-vei-om-001-2023-compuestos-activos-a-partir-de-residuos-de-palta.pdf>
- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M., & Emam-Djomeh, Z. (2020). Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. *Food Hydrocolloids*, 104, 105735. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105735>
- Monzón, L., Becerra, G., Aguirre, E., Rodríguez, G., & Villanueva E. (2021). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from avocado residues: Modeling and optimization using response surface methodology and artificial neural networks, *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 33-40. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.004>
- Munthe, S. W. N., Riskianto, R., Juvi, D., & Novia, J. (2023). Antioxidant, Total Phenolic, and Total Flavonoid of 70% Ethanol Extract of Avocado Seeds (*Persea americana* Mill.). *Pharmacognosy Journal*, 15(4), 599-605. <https://doi.org/10.5530/pj.2023.15.126>
- Navarrete, C. J., Mezones, J. A., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Cordova, A., & Riera, M.A. (2023), Obtención y caracterización de bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate , *Avances Químicos*, 18(1), 29-18.
- Nguyen, T. T. T., Le, T. Q., Nguyen, T. T. A., Nguyen, L. T. M., Nguyen, D. T. C., & Van Tran, T. (2022). Characterizations and antibacterial activities of passion fruit peel pectin/chitosan composite films incorporated Piper betle L. leaf extract for preservation of purple eggplants. *Heliyon*, 8(8), e10096. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10096>
- Nyakang'I, C., Ebere, R., Marete, E., & Arimi, J. (2023). Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels)



- functionality and utilization in food products, *Applied Food Research*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>
- Osemwegie, O.O., Olaniran, A.F., Okomɔnkwo, C.E., Adewumi, A., Erinle, O.C., Egharevba, G.O., Inyinbor, A.A., & Adetunji, C.O. (2022). *Agricultural Biotechnology*, 315-337.
- Ovalle-Marin, A., Parra-Ruiz, C., Rivas, F., Orellana, J.F., Garcia-Diaz, D.F., & Jimenez, P. (2020). Characterization of *Persea americana* Mill. peels and leaves extracts and analysis of its potential in vitro anti-inflammatory properties. *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat*, 19(4), 395-407. <https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.4.27>
- Pandia-Estrada, S., Romero-Santivañez, R., Césoedes-Chombo, R., & Solari-Godiño, A.(2021). Películas comestibles a base de gelatina obtenida de piel de mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) y extracto de orégano: Características fisicoquímicas, antimicrobianas, estructurales y de superficie. *Scientia Agropecuaria*, 12(2):229-237. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.026>
- Piechowiak, T., Grzelak-Blaszczyk, K., Sojka, M., Skora, B., & Balawejder, M. (2022). Quality and antioxidant activity of highbush blueberry fruit coated with starch-based and gelatine-based film enriched with cinnamon oil. *Food Control*, 138, 109015. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109015>
- Peng, Y., Wu, Y., & Li, Y. (2020). Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 59, 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019>
- Qazanfarzadeh, Z., & Kumaravel, V. (2023). Hydrophobisation approaches of protein-based bioplastics. *Trends In Food Science & Technology*, 138, 27-43. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.002>
- Quingying, L., Hossen, A., Zeng, Y., Dai, J., Li, S., Qin, W., & Liu, Y. (2022). Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review, *Journal of Foog Engeneering*, 313, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110762>

- Rajeshkumar, G., Arvindh, S., Ronia, R., Madhu, K., & Abinaya, V. (2020). Production of biodegradable films and blends from proteins, *Biodegradable Polymers, Blends and Composites*, 24, 681-692. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823791-5.00003-X>.
- Rahman, N., Sabang, S. M., Abdullah, R., & Bohari, B. (2022). Antioxidant properties of the methanolic extract of avocado fruit peel (*Persea americana* Mill.) from Indonesia. *Journal Of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, 13(3), 166. [https://doi.org/10.4103/japtr.japtr\\_22\\_22](https://doi.org/10.4103/japtr.japtr_22_22)
- Ramakrishnan, R., Kim, J.T., Roy, S., & Jayakumar, A. (2024). Recent advances in carboxymethyl cellulose-based active and intelligent packaging materials: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 259(1), 129194. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.129194>
- Ramos, A., Ornelas, J., Tapia, L., Gardea, A., Yahia, E., Ornelas, J., & Escalante, P. (2021). Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in avocado peels. *Food Research International*, 140, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>
- Rawdkuen, S., Faseha, A., Benjakul, S., & Kaewprachu, P. (2020). Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films. *Food Bioscience*, 36, 100603. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100603>
- Romero, J., Albertos, I., Díaz, A., & Poveda, J. (2022). Control of postharvest diseases in berries through edible coatings and bacterial probiotics. *Scientia Horticulturae*, 304, 111326. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111326>
- Ropero, S. (2024). Reciclaje y gestión de residuos: Cuánto tarda en degradarse el plástico, *Ecología Verde*. <https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-plastico-2693.html>
- Rosales, A.J. (2023). *Evaluación del uso de películas plásticas para la ampliación de vida poscosecha en arándano azul (Vaccinium sp.) "Biloxi"*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Samsi, M.S., Kamari, A., Din, S.M., & Lazar, G. (2020). Synthesis, characterization and application of gelatin-carboxymethyl cellulose blend films for

preservation of cherry tomatoes and grapes. *J Food Sci Technol*, 56(6), 3099-3108. doi: 10.1007/s13197-019-03809-3.

Santisteban M. J. (2024). *Control de calidad de arándanos para la exportación en fresco, en la empresa HFE Berries Perú S.A.C* [Tesis para optar el Título de Ingeniería de Industrias Alimentarias]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12800>

Sahraee, S., Ghanbarzadeh, B., Milani, J. M., & Hamishehkar, H. (2020). Development of Gelatin Bionanocomposite Films Containing Chitin and ZnO Nanoparticles. *Food And Bioprocess Technology*, 10(8), 1441-1453. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1907-2>

Shallan, M. A., Ali, M. A., Meshrf, W. A., & Marrez, D. A. (2020). In vitro antimicrobial, antioxidant and anticancer activities of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.) bracts and receptacles ethanolic extract. *Biocatalysis And Agricultural Biotechnology*, 29, 101774. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101774>

Serrano, B., Bautista, P., & Juárez, N. (2020). Comportamiento bajo temperaturas de refrigeración, del fruto de arándano (*vaccinium*). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 6, 283–300.

Sganzerla, W. G., Ribeiro, C. P. P., Uliana, N. R., Rodrigues, M. B. C., Da Rosa, C. G., Ferrareze, J. P., De Lima Veeck, A. P., & Nunes, M. R. (2021). Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: A perspective coating material to improve the shelf life of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*). *Biocatalysis And Agricultural Biotechnology*, 33, 101989. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101989>

Shi, D., Xu, W., Balan, P., Wong, M., Chen, W., Popovich, D. G. (2021). In Vitro Antioxidant Properties of New Zealand Hass Avocado Byproduct (Peel and Seed) Fractions. *Food Science & Technology*, 1(4), 579-. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00018>

Sierra, J., Gómez, L., Muñoz, X., Ramírez, F., Patiño, I., Zapata, S., León, D., & Bermúdez, V. (2020). Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro de

- extractos de Persea americana (Aguacate) variedad Choquette sobre el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, *Microbiología General: Kasmera*, 48(2), 1-8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4064180>
- Siqueira, L.V., Fuente, C.I., Chieragato, B., & Tadini, C.C. (2021). Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives, *Current Opinion in Food Science*, 38, 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.020>
- Solano, L., Alamilla, L., & Jiménez, C. (2020). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados, *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21(2), 30-42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Soares, N. M., Mendes, T. S., Vicente, A.A. (2023). Efecto de las soluciones a base de quitosano aplicadas como recubrimientos comestibles y acristalamiento de agua sobre la conservación del salmón congelado: un estudio a escala piloto. *J. Food Eng.* 119 (2), 316–323.
- Suhag, R., Kumar, N., Trajkovska, A., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review, *Food Research International*, 136, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
- Song, X., Wei, X., Liu, L., & Liu, Y. (2024). Gelatin/agar pH-indicator film based on cranberry extract loaded with linalool nanoparticle: Survey on physical, antimicrobial, and antioxidant properties. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 268, 131767. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131767>
- Tremocoldi, M., Rosalen, P., Franchin, M., Massarioli, A., Denny, C., Daiuto, E., Rizzato, J., Siqueira, P., & Alencar, S. (2020). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds, *Plos One*, 13(2), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192577>
- Tran, T. T. V., Nguyen, N., Nguyen, Q., Nguyen, T., & Lien, T. (2023). Gelatin/carboxymethyl cellulose edible films: modification of physical properties by different hydrocolloids and application in beef preservation in

- combination with shallot waste powder. *RSC Advances*, 13(15), 10005-10014. <https://doi.org/10.1039/d3ra00430a>
- Tyagi, V., & Thakur, A. (2023). Applications of biodegradable carboxymethyl cellulose-based composites, *Results in Materials*, 20, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100481>
- Ucak, İ. & Khalily, R. (2021). Effects of Different Solvent Extractions on the Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Lemon and Orange Peels. *Eurasian Journal of Food Science and Technology*, 6 (1), 123-28. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2463559>
- Valdiviezo, J. (2021). *Una revisión de la obtención de compuestos fenólicos a partir de cáscara y semilla de palta (Persea americana mill.), empleando tecnologías emergentes* [Trabajo de investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller]. Universidad Nacional de Frontera. <https://repositorio.unf.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9ad43784-c159-475a-a46b-3a6f60e0147a/content>
- Vargas-Torrico, M. F., Von Borries-Medrano, E., & Aguilar-Méndez, M. A. (2022). Development of gelatin/carboxymethylcellulose active films containing Hass avocado peel extract and their application as a packaging for the preservation of berries. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 206, 1012-1025. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.101>
- Vargas-Torrico, M. F., Aguilar-Méndez, M. A., Jesús, E. R., Jaime-Fonseca, M. R., & Von Borries-Medrano, E. (2023). Preparation and characterization of gelatin-carboxymethylcellulose active film incorporated with pomegranate (*Punica granatum L.*) peel extract for the preservation of raspberry fruit. *Food Hydrocolloids*, 150, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109677>
- Velderrain, G., Quero, J., Osada, J., Martín, O., & Rodríguez, M. (2021). Phenolic-Rich Extracts from Avocado Fruit Residues as Functional Food Ingredients with Antioxidant and Antiproliferative Properties, *Biomolecules*, 11(7), 1-22. <https://doi.org/10.3390/biom11070977>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Quero, J., Osada, J., Martín-Belloso, O., & Rodríguez-Yoldi, M. J. (2021). Phenolic-Rich Extracts from Avocado Fruit Residues as

- Functional Food Ingredients with Antioxidant and Antiproliferative Properties. *Biomolecules*, 11(7), 977. <https://doi.org/10.3390/biom11070977>
- Viswanathan, V., Kulandhaivelu, S., Manivasakan, K., & Ramakrishnan, R. (2024). Development of biodegradable packaging films from carboxymethyl cellulose and oxidised natural rubber latex. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262 (1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129980>
- Wang, Q., Chen, W., Zhu, W., McClements, D.J., Liu, X., & Liu, F. (2022). A review of multilayer and composite films and coatings for active biodegradable packaging. *Science of Food*, 6(18). <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00132-0>
- Wu, Z., Wang, L., Ma, C., Xu, M., Guan, X., Lin, F., Jiang, T., Chen, X., Bu, N., Duan, J., Liu, W., & Pang, J. (2025). Konjac glucomannan/xanthan gum film embedding soy protein isolate–tannic acid–iron complexes for blueberry preservation. *Food Hydrocolloids*, 163, 111040. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.111040>
- Xiaoxue, Y., Juan, Y., Siyi, P., & Fang, Y. (2020). Changes of the Aroma Composition and Other Quality Traits of Blueberry ‘Garden Blue’ during the Cold Storage and Subsequent Shelf Life, *Foods*, 9(9), 2-12. <https://doi.org/10.3390/foods9091223>
- Xing, Q., Yates, K., Vogt, C., Quian, Z., Frost, M. C., & Zhao, F. (2014). Increasing Mechanical Strength of Gelatin Hydrogels. Divalent Metal Ion Removal *Scientific Reports*, 4(4706), 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep04706>
- Xiquan, L., Xinhua, Z., Jiale, L., Xiuling, Z., Yingying, L., Xiaofeng, H., & Wentao, Z. (2024). Development of starch-based films reinforced with curcumin-loaded nanocomplexes: Characterization and application in the preservation of blueberries, *International Journal of Biological Macromolecules*, 264(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130464>
- Xu, M., Fang, D., Shi, C., Xia, S., Wang, J., Deng, B., Kimatu, B.D., Guo, Y., Lyu, L., Wu, Y., Cao, F., & Li, W. (2025). Anthocyanin-loaded polylactic acid/quaternized chitosan electrospun nanofiber as an intelligent and active

- packaging film in blueberry preservation. *Food Hydrocolloids*, 158, 110586.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110586>.
- Xu, D., Zhou, Y., Zheng, J., Li, S., Li, A., & Li, H. (2020). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Natural Antioxidants from the Flower of *Jatropha integerrima* by Response Surface Methodology. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 21(1), 18.  
<https://doi.org/10.3390/molecules21010018>
- Yingbin, Lv., Li, P., Cen, L., Wen, F., Su, R., Cai, J., Chen, J., & Su, W. (2024). Gelatin/carboxymethylcellulose composite film combined with photodynamic antibacterial: New prospect for fruit preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257(1), 128643.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128643>
- Zhang, H., Liang, Y., Li, X., & Kang, H. (2020). Effect of chitosan-gelatin coating containing nano-encapsulated tarragon essential oil on the preservation of pork slices. *Meat Science*, 166.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108137>.
- Zhou, W., He, Y., Liu, F., Liao, L., Huang, X., Li, R., Zou, Y., Zhou, L., Zou, L., Liu, R., & Li, J. (2021). Carboxymethyl chitosan-pullulan edible films enriched with galangal essential oil: Characterization and application in mango preservation. *Carbohydrate Polymers*, 256, 117579.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117579>

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Preparación del extracto de cáscara de *Persea americana* en solución de etanol al 49%.



**Anexo 2.** Maceración del extracto de cáscara de *Persea americana*.

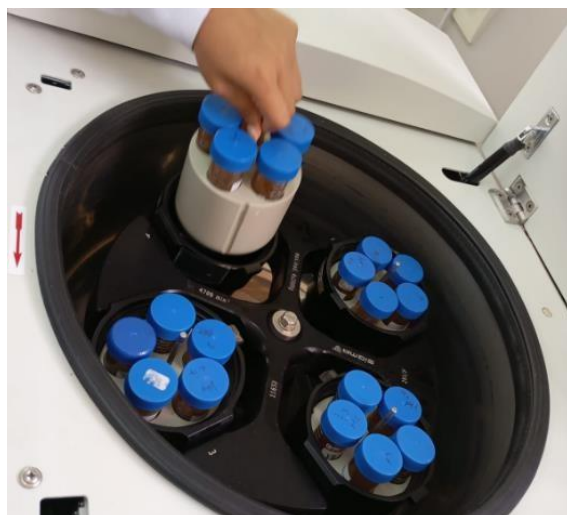




**Anexo 3.** Sonicación del extracto de cáscara de *Persea americana* en el ultrasonido por 60 min.



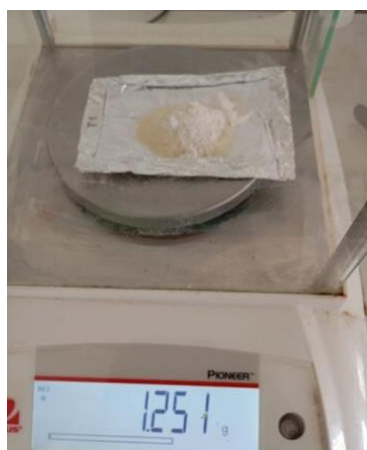
**Anexo 4.** Centrifugación del extracto de cáscara de *Persea americana*.



**Anexo 5.** Rota evaporación el extracto de cáscara de *Persea americana*.



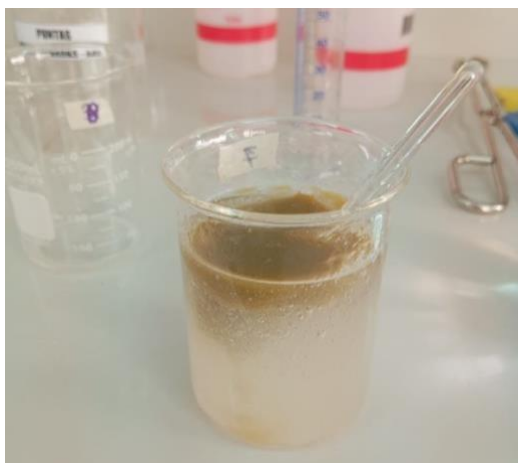
**Anexo 6.** Pesado de la muestra de CMC, gelatina y agua destilada.



**Anexo 7.** Agitación de la mezcla en agua destilada a 60°C.



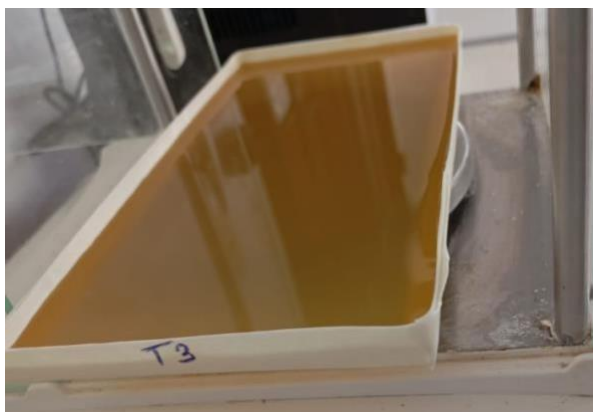
**Anexo 8.** Adición y mezclado del extracto de cáscara de *Persea americana* en la mezcla de CMC y gelatina a 50°C.



**Anexo 9.** Eliminación de las burbujas de la mezcla CMC, gelatina y extracto de cáscara de *Persea americana* por proceso de sonicación.



**Anexo 10.** Vertido y pesado de la solución a la placa.



**Anexo 11.** Secado a una temperatura de 40°C por 24 horas.



**Anexo 12.** Obtención de la película óptima.



**Anexo 13.** Pesado del Dpph y Trolox para el análisis de capacidad antioxidante (DPPH)



**Anexo 14.** Aforo de metanol con el dphh y trolox.



**Anexo 15.** Calibración del equipo.

The image shows a screenshot of a software interface with a data table. The table has columns numbered 1 to 12 and rows labeled A to H. Data is entered in the following cells: Row A, columns 10 (0.034), 11 (0.796), and 12 (0.044); Row B, columns 10 (0.955), 11 (0.827), and 12 (0.049).

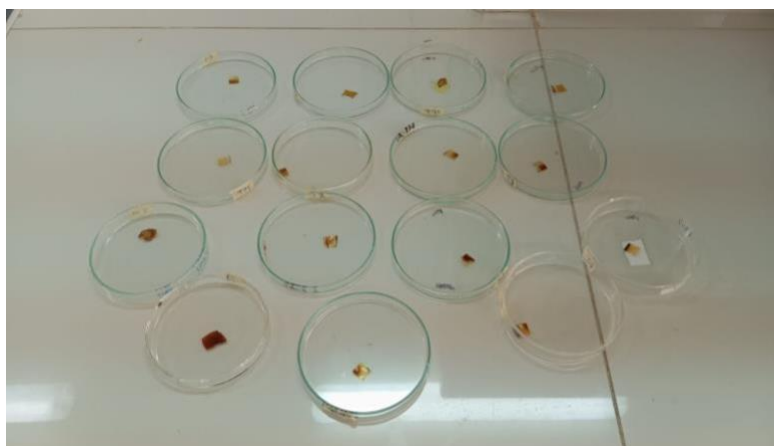
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A										0.034	0.796	0.044
B										0.955	0.827	0.049
C												
D												
E												
F												
G												
H												



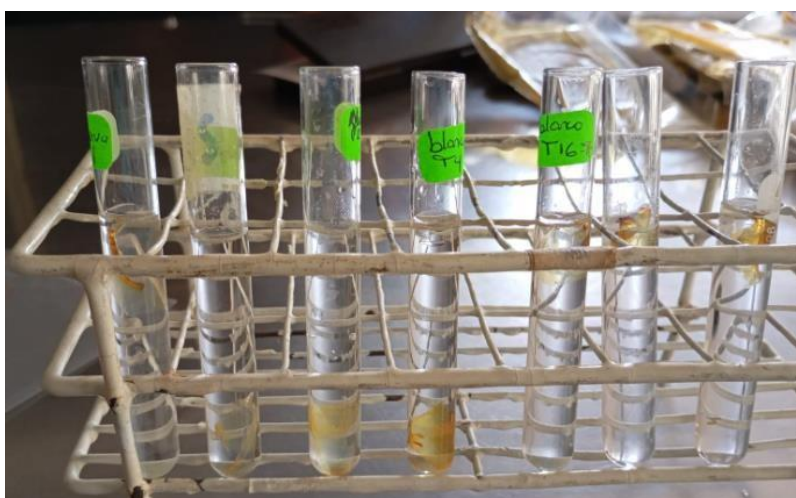
**Anexo 16.** Adición de la muestra a la microplaca para su previo análisis.



**Anexo 17.** Muestras para el análisis de humedad y solubilidad.



**Anexo 18.** Solubilidad de las muestras.



**Anexo 19.** Preparación del agar de levadura.



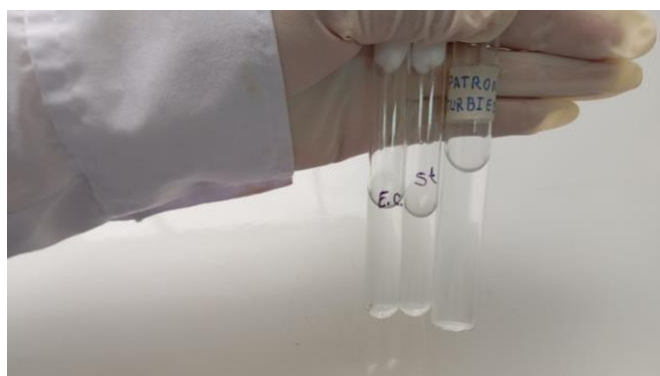
**Anexo 20.** Esterilización del agar, solución salina y materiales.



**Anexo 21.** Vaciado del agar en placas Petri.



**Anexo 22.** Obtención del inóculo bacteriano según la solución patrón.



**Anexo 23.** Siembra del inóculo en el medio de cultivo.



**Anexo 24.** Formación del halo de inhibición en los medios de cultivo con *S. Aureus* y *E. Coli* respectivamente.





**Anexo 25.** Recepción y selección de los arándanos.



**Anexo 26.** Desinfección de los arándanos en agua hipoclorada a 100 ppm.



**Anexo 27.** Pesado y posterior sellado de los arándanos en las bolsas formadas por las películas.



**Anexo 28.** Almacenamiento de los arándanos embolsados en 18 tratamientos de películas.



**Anexo 29.** Medición de brix, pH y acidez del arándano.



**Anexo 30.** *Envasado del arándano en la película optima y una bolsa control.*

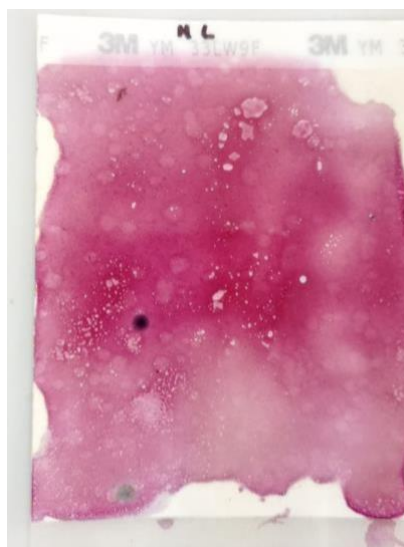


**Anexo 31.**

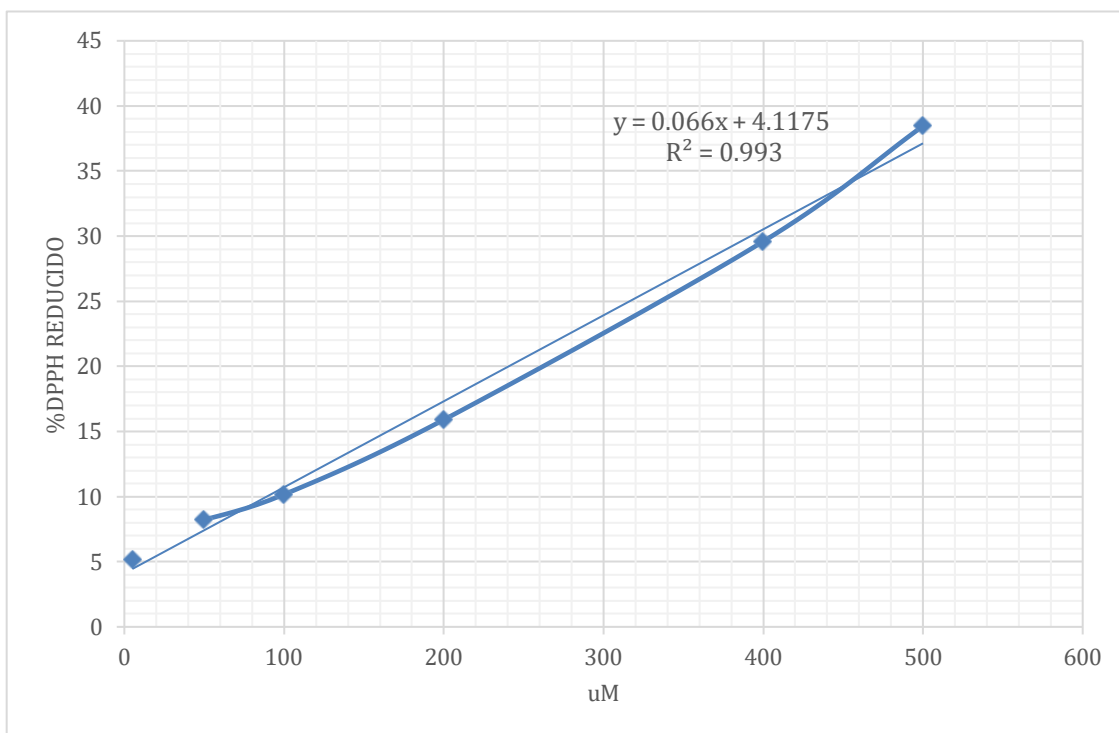
*Caracterización de la materia prima arándano*

Composición	Arándano
pH	$2.63 \pm 0.04$
Acidez	$1.078 \pm 0.07$
Solidos solubles (°Brix)	$12.45 \pm 0.35$
Humedad (%)	$87.69 \pm 0.38$
Cenizas (%)	$0.23 \pm 0.05$

**Anexo 32.** *Análisis microbiológico de arándanos conservados en refrigeración y envasados en película óptima tras 7 días.*



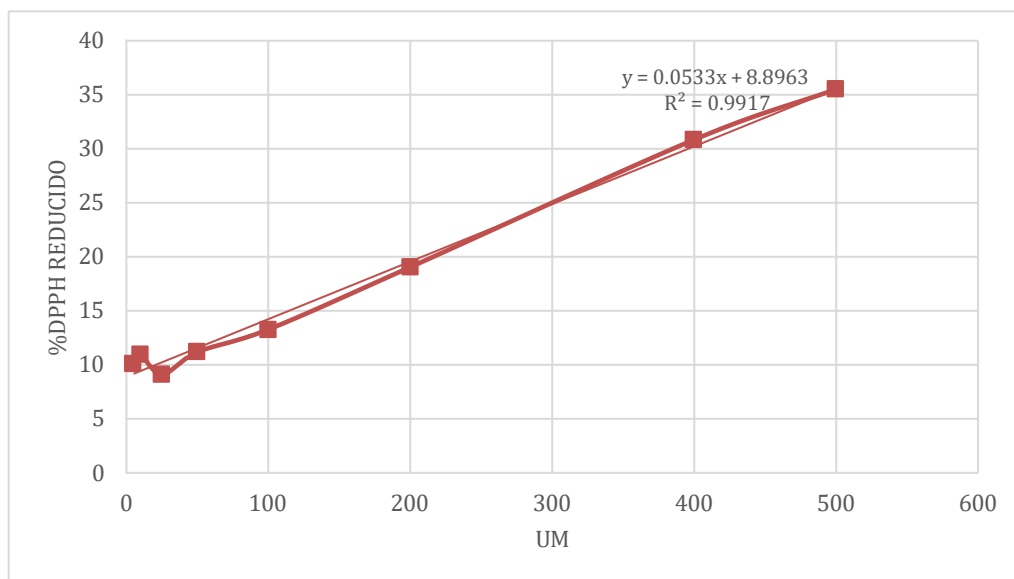
**Anexo 33.** Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante del extracto de cáscara de *Persea americana*.



**Anexo 34.** Resultado del análisis de capacidad antioxidante del extracto de cáscara de *Persea americana*.

Muestra	%DPPH REDUCIDO			uMol Trolox			umol trolox/g	umol trolox/g	umol trolox/g	prome	desv
Extracto	39.2438	40.1565	39.2438	532.2243	546.0523	532.2243	266.112	273.026	266.112	269.569	4.889

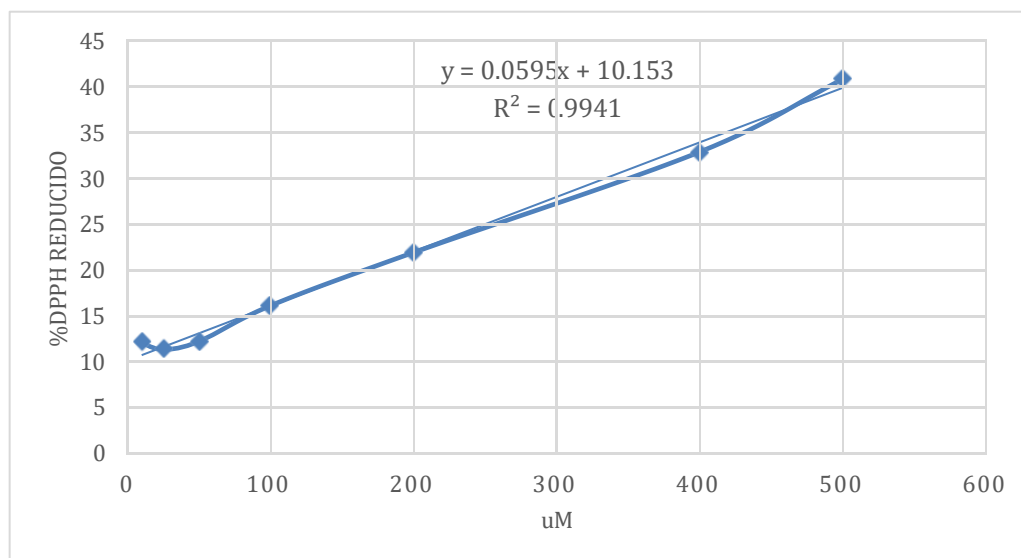
**Anexo 35.** Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante de las 18 películas multifuncionales.



**Anexo 36.** Resultados del análisis de capacidad antioxidante de las 18 películas multifuncionales.

Muestra	%DPPH REDUCIDO			uMol Trolox			umol trolox/g	umol trolox/g	umol trolox/g	prome	desv
T1	32.924	37.101	31.941	450.798	529.164	432.359	45.080	52.916	43.236	47.077	5.140
T2	21.622	21.867	22.850	238.749	243.359	261.798	23.875	24.336	26.180	24.797	1.220
T3	34.767	35.504	34.644	485.371	499.200	483.066	48.537	49.920	48.307	48.921	0.873
T4	27.518	27.273	28.624	349.383	344.773	370.127	34.938	34.477	37.013	35.476	1.351
T5	35.012	35.381	35.504	489.981	496.896	499.200	48.998	49.690	49.920	49.536	0.480
T6	38.698	39.312	36.241	559.127	570.652	513.030	55.913	57.065	51.303	54.760	3.049
T7	31.327	31.327	30.098	420.835	420.835	397.786	42.083	42.083	39.779	41.315	1.331
T8	30.958	35.012	34.398	413.920	489.981	478.457	41.392	48.998	47.846	46.079	4.099
T9	29.465		29.335	384.067		382.092	38.407		38.209	38.308	0.140
T10	28.256	27.887	27.150	363.213	356.298	342.469	36.321	35.630	34.247	35.399	1.056
T11	28.010	28.378	27.150	358.603	365.517	342.469	35.860	36.552	34.247	35.553	1.183
T12	31.327	31.327	30.098	420.835	420.835	397.786	42.083	42.083	39.779	41.315	1.331
T13	31.327	31.327	30.098	420.835	420.835	397.786	42.083	42.083	39.779	41.315	1.331
T14	31.572	30.221	30.590	425.444	400.091	407.005	42.544	40.009	40.701	41.085	1.311
T15	30.713	30.590	31.081	409.310	407.005	416.225	40.931	40.701	41.622	41.085	0.480
T16	35.593	36.897	36.115	476.912	496.667	484.814	47.691	49.667	48.481	48.613	0.994
T17	28.993	28.624	28.747	377.042	370.127	372.432	37.704	37.013	37.243	37.320	0.352
T18	31.327	31.327	30.098	420.835	420.835	397.786	42.083	42.083	39.779	41.315	1.331

**Anexo 37.** Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante del arándano envasado en los 18 tratamientos de películas.

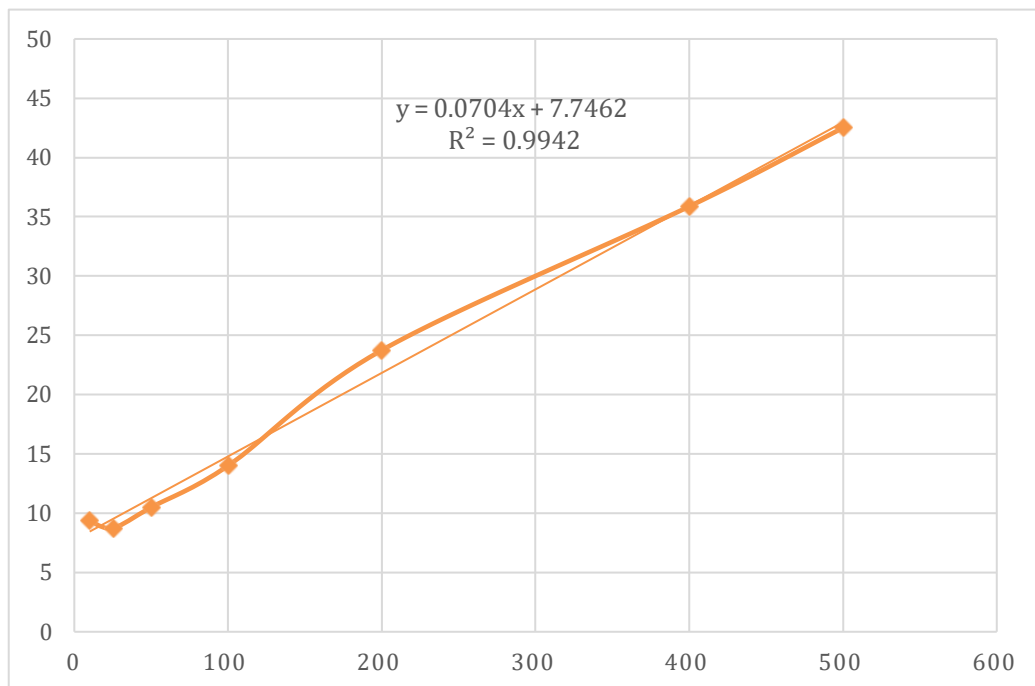


**Anexo 38.** Resultados del análisis de capacidad antioxidante del arándano envasado en los 18 tratamientos de películas.

Muestra	%DPPH REDUCIDO			uMol Trolox			umol trolox/g	umol trolox/g	umol trolox/g	prome	desv
Inicial	32.432	29.115	33.170	441.578	379.347	455.408	41.631	35.764	42.935	40.110	3.820
T1	33.039	34.300	33.922	384.640	405.834	399.476	36.174	38.167	37.569	37.304	1.023
T2	36.444	36.318	36.948	441.864	439.744	450.341	40.357	40.163	41.131	40.550	0.512
T3	36.066	37.074	35.939	435.505	452.461	433.386	43.524	45.219	43.313	44.019	1.045
T4	37.453	37.957	38.966	458.819	467.296	484.251	44.241	45.058	46.693	45.330	1.249
T5	37.579	37.957	37.579	460.938	467.296	460.938	43.608	44.210	43.608	43.809	0.347
T6	35.939	36.570	36.066	433.386	443.983	435.505	42.422	43.460	42.630	42.837	0.549
T7	37.201	37.074	37.831	454.580	452.461	465.177	43.273	43.071	44.281	43.542	0.649
T8	45.649	42.875	41.740	596.579	549.952	530.878	56.494	52.079	50.273	52.949	3.201
T9	35.183	35.057	35.309	420.670	418.550	422.789	42.046	41.834	42.258	42.046	0.212
T10	33.544	34.426	34.678	393.118	407.953	412.192	38.873	40.340	40.759	39.990	0.990
T11	39.092	37.579	37.074	486.371	460.938	452.461	46.071	43.662	42.859	44.197	1.672
T12	37.201	37.074	37.831	454.580	452.461	465.177	43.273	43.071	44.281	43.542	0.649
T13	37.201	37.074	37.831	454.580	452.461	465.177	43.273	43.071	44.281	43.542	0.649
T14	33.544	33.796	34.174	393.118	397.357	403.715	37.422	37.825	38.431	37.893	0.508
T15	39.470	39.596	40.227	492.729	494.848	505.445	46.904	47.106	48.115	47.375	0.649
T16	38.335	37.579	38.209	473.654	460.938	471.535	46.730	45.475	46.521	46.242	0.672
T17	37.327	37.579	38.335	456.699	460.938	473.654	41.085	41.466	42.610	41.720	0.794

<b>T18</b>	37.201	37.074	37.831	454.580	452.461	465.177	43.273	43.071	44.281	43.542	0.649
------------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------	-------

**Anexo 39.** Curva de calibración de Trolox mediante el método DPPH para el análisis de capacidad antioxidante de la película óptima y del arándano envasado en ella.



**Anexo 40.** Resultados del análisis de capacidad antioxidante de la película óptima y del arándano envasado en ella.

Muestra	%DPPH REDUCIDO			uMol Trolox			umol trolox/g	umol trolox/g	umol trolox/g	prome	desv
<b>Película óptima</b>	44.3750	41.5000	43.7500	520.2955	479.4574	511.4176	51.41	47.95	51.14	50.167	1.928
<b>Arándano día 0</b>	51.6250	50.5000	50.6250	623.2784	607.2983	609.0739	61.56	60.73	60.91	61.067	0.440
<b>Arándano control día 7</b>	51.6250	51.7500	51.0000	623.2784	625.0540	614.4006	59.19	59.36	58.35	58.966	0.542
<b>Arándano óptimo día 7</b>	52.5000	53.0000	52.1250	635.7074	642.8097	630.3807	62.89	63.59	62.36	62.950	0.617