

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Obtención y caracterización de películas biodegradables
de almidón de Oca (*Oxalis tuberosa*) y Aloe vera
(*Aloe barbadensis Miller*)**

**Tesis para obtener el título profesional de
Ingeniero Agroindustrial**

Autores:

Bach. Alfaro Huertas, Carlos Sebastián

Código ORCID: 0009-0009-6823-5475

Bach. Cervera Julca, Luis Eusebio

Código ORCID: 0009-0001-3209-4406

Asesora:

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta

DNI N° 19096335

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

Coasesora:

Dra. Arévalo Oliva, María de Fátima

Código ORCID: 0000-0003-3432-9843

Nuevo Chimbote - PERÚ

2026

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



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objeto propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo a la denominación siguiente:

Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Agroindustrial

**“Obtención y caracterización de películas biodegradables de almidón de oca
(*Oxalis tuberosa*) y Aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)”**

AUTORES:

**Bach. Alfaro Huertas Carlos Sebastián
Bach. Cervera Julca Luis Eusebio**

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Asesora

DNI: 19096335

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

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



HOJA AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado "Obtención y caracterización de películas biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)", para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: **Alfaro Huertas Carlos Sebastian** y **Cervera Julca Luis Eusebio**, que tiene como asesor a la **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** designada mediante la resolución decanal N° 319-2024-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 07 de Abril del 2026, por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N° 042-2026-UNS-CFI.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Williams Esteward, Castillo Martínez

DNI: 40169364

Cód. ORCID: 0000-0001-6917-1009

Presidente

Ms. Vásquez Guzmán, Juan Carlos

DNI: 40787083

Cód. ORCID: 0000-0002-7112-4006

Secretario

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta

DNI: 19096335

Cód. ORCID: 0000-0003-1659-9874

Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las dieciséis horas del día siete de abril del año dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso; el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 042-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Dr. Williams Esteward Castillo MartínezPresidente
- Ms. Juan Carlos Vásquez GuzmánSecretario
- Dra. Elza Berta Aguirre Vargas.....Integrante

para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES DE ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*) Y ALOE VERA (*Aloe barbadensis Miller*)”**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

**ALFARO HUERTAS CARLOS SEBASTIÁN
CERVERA JULCA LUIS EUSEBIO**

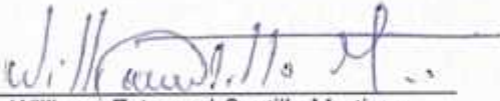
Asimismo, tienen como Asesora a la docente: Dra. Elza Berta Aguirre Vargas y Co-asesora a la Ms. María de Fátima Arévalo Oliva

Finalizada la sustentación, los Tesisistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. Acto seguido 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 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:


NOMBRES Y APELLIDOS			NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
ALFARO SEBASTIAN	HUERTAS	CARLOS	19	EXCELENTE

Siendo las 17:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

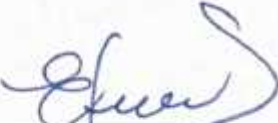
Nuevo Chimbote, 07 de abril del 2026



Dr. Williams Esteward Castillo Martinez
Presidente



Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán
Secretario



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las dieciséis horas del día siete de abril del año dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso; el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 042-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Dr. Williams Esteward Castillo MartínezPresidente
- Ms. Juan Carlos Vásquez GuzmánSecretario
- Dra. Elza Berta Aguirre Vargas.....Integrante

para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: “**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES DE ALMIDÓN DE OCA (Oxalis tuberosa) Y ALOE VERA (Aloe barbadensis Miller)**”, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

**ALFARO HUERTAS CARLOS SEBASTIÁN
CERVERA JULCA LUIS EUSEBIO**

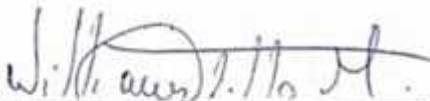
Asimismo, tienen como Asesor al docente: Dra. Elza Berta Aguirre Vargas y Co-asesora a la Ms. María de Fátima Arévalo Oliva

Finalizada la sustentación, los Tesisistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. Acto seguido 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 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:


NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
CERVERA JULCA LUIS EUSEBIO	19	EXCELENTE

Siendo las 17:00 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

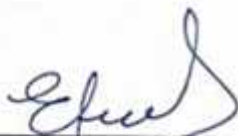
Nuevo Chimbote, 07 de abril del 2026



Dr. Williams Esteward Castillo Martinez
Presidente



Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán
Secretario



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante

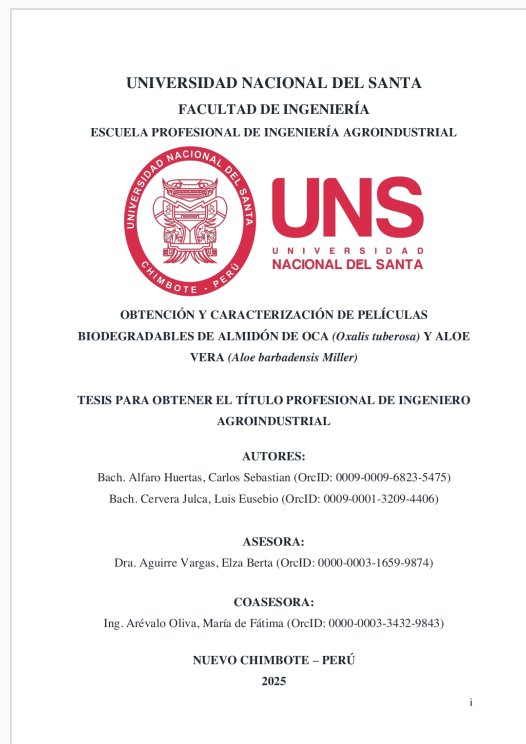


Recibo digital

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: Elza Aguirre
Título del ejercicio: OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADA...
Título de la entrega: OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADA...
Nombre del archivo: OBTENCIÓN_Y_CARACTERIZACIÓN_DE_PELÍCULAS_BIODEGRA...
Tamaño del archivo: 4.23M
Total páginas: 120
Total de palabras: 33,805
Total de caracteres: 184,865
Fecha de entrega: 15-abr-2026 07:10p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2933360437



OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES DE ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*) Y ALOE VERA (*Aloe barbadensis* Miller).pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	15%	5%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unajma.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
9	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
10	oldri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1%
11	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Esta tesis, se la dedico a los dos seres que más amo y respeto en la vida: mis padres. A ellos, por ser mi motor para salir siempre adelante y por ser el apoyo que todo estudiante necesita para progresar en este camino tan difícil llamado universidad.

Asimismo, a Dios, por guiarme siempre, mediante una oración, a escoger el camino adecuado para tomar mis decisiones. A ti, mi Dios, te dedico este esfuerzo por ser la luz en mi vida y por ser el impulso que necesito cuando me siento decaído.

A mi asesora y co-asesora por haber confiado en mí y darme de sus conocimientos sin esperar nada a cambio. A toda la plana docente y Administrativa de mi Alma Mater, la UNS, por siempre haberme dado el plus que necesito para ser un Ingeniero Agroindustrial.

Y a mis angelitos en el cielo, en esta y en mil vidas los volvería a tener junto a mí. Los quiero mucho a todos, con amor.

Luis Eusebio Cervera Julca.

Dedico este informe de tesis a mis padres por estar siempre brindándome su apoyo y su amor incondicional, por ser ejemplo de superación y por enseñarme que el trabajo con humildad y honradez tiene su recompensa.

A Dios por ser la fortaleza de mi corazón y espíritu, por hacerme sentir protegido y no dejarme caer en los momentos difíciles, ya que brinda en mi ser la fuerza y paciencia para poder luchar por mis sueños.

A mi asesor, por su apoyo incondicional, por ser mi guía, por sus consejos, paciencia y dedicación, gracias por siempre alentarme a continuar.

Carlos Sebastián Alfaro Huertas

AGRADECIMIENTO

Concluir esta etapa representa más que un logro académico; es el reflejo del esfuerzo, compromiso y sueños que nos han acompañado durante estos años. Como jóvenes emprendedores, nos llena de orgullo dar este paso y, sobre todo, agradecer a quienes hicieron posible este camino.

Expresamos nuestro agradecimiento, a Dios, por guiarnos en todo momento, por darnos la fortaleza en los momentos difíciles y por permitirnos llegar hasta aquí con fe y propósito.

A nuestras familias, por su amor incondicional, por su apoyo en cada etapa, y por ser nuestro motor día tras día. Este logro también es para ellos.

A la Dra. Elza Bertha Aguirre Vargas, nuestra asesora, gracias por su dedicación, paciencia y exigencia académica, que nos motivó a dar lo mejor de nosotros. A la Ms. María de Fátima Arévalo Oliva, co-asesora, por su orientación precisa y su valioso acompañamiento en este proceso.

A los ingenieros John Kelby Gonzales Capcha y Adriánov Lenin Palacios Ambrocio, por su apoyo en los laboratorios y por brindarnos el espacio y la orientación técnica necesaria para llevar a cabo nuestro trabajo.

Al Ms. Joaquín Álvarez Carrillo, por su guía en nuestra última etapa como estudiantes y por enseñarnos con pasión, preparándonos para el mundo profesional.

Por último y no menos importante, a la Sra. Carmen Altamirano y la Sra. Auria Cabos, gracias por su calidez, por ayudarnos con cada trámite y por el cariño con el que siempre nos atendieron en la Facultad.

A todos, gracias por formar parte de este capítulo tan importante en nuestras vidas.

Con aprecio y gratitud, *Alfaro y Cervera.*

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. ANTECEDENTES	15
2.2. MARCO CONCEPTUAL	23
2.2.1. Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	23
2.2.2. Aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>).....	24
2.2.3. Almidón.....	28
2.2.4. Películas Biodegradables.....	31
2.2.5. Plastificantes.....	31
2.2.6. Glicerol.....	32
2.2.7. Influencia de la gelatinización y del plastificante en las características del almidón.....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. MATERIA PRIMA	33
3.2. OTROS INSUMOS	33
3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	33
3.3.1. Equipos.....	33
3.3.2. Materiales	34
3.3.3. Reactivos	35

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS	35
3.4.1. Caracterización de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	35
3.4.2. Caracterización de gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	40
3.4.3. Caracterización de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	42
3.4.4. Caracterización de Películas Biodegradables.....	44
3.5. METODOLOGÍA.....	48
3.5.1. Variables.....	48
3.5.2. Población y Muestra.....	48
3.5.3. Proceso de obtención de películas biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>).....	49
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	52
3.6.1. Operacionalización de Variables.....	56
3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO	57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1. Caracterización de Materia Prima	59
4.1.1. Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	59
4.1.2. Gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	63
4.1.3. Almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	67
4.2. Obtención de Películas Biodegradables.....	73
4.2.1. Tratamientos Experimentales y Blancos	73
4.2.2. Tratamientos Oficiales	74
4.3. Caracterización de Películas Biodegradables	75
V. CONCLUSIONES	91
VI. RECOMENDACIONES	93
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
VIII. ANEXOS.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Composición fisicoquímica de la oca</i>	24
Tabla 2. <i>Características de algunos almidones comunes.</i>	29
Tabla 3. <i>Rendimiento de almidón de diferentes raíces y tubérculos andinos.</i>	30
Tabla 4. Diseño Experimental para las Películas Biodegradables	54
Tabla 5. Operacionalización de las Variables Dependiente e Independientes.....	56
Tabla 6. Número de Tratamientos según el Software Design Expert 13	57
Tabla 7. Generalización de Factores según el Software Design Expert 13	57
Tabla 8. Modelo del Diseño Factorial 2^3	58
Tabla 9. Composición Química Proximal por 100 g. de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	59
Tabla 10. Análisis Físico Químico de la oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	62
Tabla 11. Composición Química Proximal por 100 g. de gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	63
Tabla 12. Análisis Funcional del gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	66
Tabla 13. Composición Química Proximal por 100 g. de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).67	
Tabla 14. Análisis Funcional del almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	70
Tabla 15. Composición de Tratamientos Experimentales y Blancos de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	73
Tabla 16. Pesos de Tratamientos Experimentales y Blancos de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>).....	73
Tabla 17. Composición Oficial de Tratamientos de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>).....	74
Tabla 18. Pesos Oficiales de Tratamientos de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	74
Tabla 19. Resultados de cada análisis de las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	75
Tabla 20. Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Espesor de las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	77
Tabla 21. Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Solubilidad de las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	80

Tabla 22. Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Permeabilidad al Vapor de Agua de las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).....	83
Tabla 23. Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Compresión de las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller)	86
Tabla 24. Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Biodegradabilidad de las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller)	89
Tabla 25. Valores de Solubilidad para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).....	112
Tabla 26. Valores de Solubilidad para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).....	114
Tabla 27. Valores de Permeabilidad al Vapor de Agua para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller)	116
Tabla 28. Valores de Compresión para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).....	118
Tabla 29. Valores de Biodegradación para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aloe arborescens Mill	26
Figura 2. Aloe barbadensis Miller	27
Figura 3. Aloe ferox Mill.....	28
Figura 4. Aloe succortina.....	28
Figura 5. Extracción de almidón de oca	49
Figura 6. Obtención de gel de aloe vera	50
Figura 7. Proceso de Obtención de Película Biodegradable.....	51
Figura 8. Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Espesor de las Películas Biodegradables	78
Figura 9. Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Solubilidad de las Películas Biodegradables	81
Figura 10. Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Permeabilidad al Vapor de Agua de las Películas Biodegradables.....	84
Figura 11. Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Compresión de las Películas Biodegradables	87
Figura 12. Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Biodegradabilidad de las Películas Biodegradables.....	90
Figura 13. Selección de oca en óptimas condiciones para su extracción de almidón.....	106
Figura 14. Troceado de oca.....	106
Figura 15. Acondicionado de la oca para ser llevada a trituración.....	106
Figura 16. Triturado de oca en licuadora para próximo filtrado con muselinas.....	106
Figura 17. Agua filtrada con almidón de oca lista para ser llevada a refrigeración en cámaras de refrigeración del IITA	107
Figura 18. almidón de oca extraído por sedimentación luego de refrigerado.....	107
Figura 19. almidón de oca seco después de estufa.	107
Figura 20. almidón de oca triturado y tamizado listo para elaboración de películas biodegradables.	107
Figura 21. aloe vera con yodo extraído y listo para extraer su gel.	108
Figura 22. Extracción de gel de aloe vera con el material adecuado.....	108
Figura 23. gel de aloe vera en ultrasonido para eliminación de burbujas.....	108
Figura 24. Porción de gel de aloe vera para elaboración de Películas Biodegradables.....	108

Figura 25. Pesado de los materiales adecuados para la elaboración de Películas Biodegradables (almidón de oca, gel de aloe vera, glicerol y Agua Destilada respectivamente)	109
Figura 26. Mezclado de Agua destilada, almidón, gel y glicerol en Agitador Magnético. ..	109
Figura 27. Entrada a Baño María con el fin de gelatinizar la Mezcla.	109
Figura 28. Entrada a Ultrasonido para eliminación de burbujas originadas tras la Mezcla.	109
Figura 29. Vertido de Mezcla en Moldes adaptados para entrada a Estufa.....	110
Figura 30. Entrada de Moldes junto a Mezcla a la Estufa para ser secadas a 40°C o 45°C según el tratamiento indicado.....	110
Figura 31. Películas biodegradables obtenidas de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).....	110
Figura 32. Micrómetro empelado para la Prueba de Películas Biodegradables	111
Figura 33. Prueba de Espesor en μm de Películas Biodegradables	111
Figura 34. Vernier Digital empelado para la Prueba de Películas Biodegradables	111
Figura 35. Prueba de Espesor en mm de Películas Biodegradables	111
Figura 36. Secado de Películas Biodegradables a 70°C en estufa	113
Figura 37. Películas Biodegradables en tubo de centrífuga con 10 ml. de agua destilada ...	113
Figura 38. Tubos de Centrífuga en agitador a 25°C	113
Figura 39. Sólidos restantes secados a 70°C en estufa	113
Figura 40. Pesado del Nitrito de Sodio para su inserción en los Vasos de Prueba para cada Tratamiento	115
Figura 41. Campana lista para ingreso de los Vasos acondicionados por cada tratamiento..	115
Figura 42. Vaso acondicionado junto a Película Biodegradable, Nitrito de Sodio y Liga ...	115
Figura 43. Pesado de las Películas Biodegradables en Balanza Analítica.....	115
Figura 44. Prueba Inicial de Películas Biodegradables en Texturómetro con tipo de sonda TA39 - 2 mm D.....	117
Figura 45. Acondicionamiento de Películas Biodegradables en Texturómetro.....	117
Figura 46. Resultados Obtenidos y Guardados en Texturómetro	117
Figura 47. Preparación de Blanco para Análisis en Texturómetro	117
Figura 48. Acondicionamiento de Tierra compostera para introducción de Películas Biodegradables.....	119
Figura 49. Acondicionamiento de Películas Biodegradables para entrada en tierra	119
Figura 50. Películas Biodegradables antes de ser cubiertas completamente por la tierra compostera.	119
Figura 51. Tratamientos de Películas Biodegradadas en el día 05 de pesado.	119

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Proceso de extracción de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	106
Anexo 2. Proceso de extracción de gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	108
Anexo 3. Proceso de Obtención de Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	109
Anexo 4. Prueba de Espesor para las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	111
Anexo 5. Prueba de Solubilidad para las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	113
Anexo 6. Prueba de Permeabilidad al Vapor de Agua para las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	115
Anexo 7. Prueba de Compresión para las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>)	117
Anexo 8. Prueba de Biodegradabilidad para las Películas Biodegradables de almidón de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis Miller</i>).....	119

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue desarrollar y caracterizar películas biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*), con el fin de evaluar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, y determinar su potencial como alternativa ecológica para la fabricación de materiales biodegradables. Se realizó la caracterización de las materias primas (oca y gel de aloe vera) junto al almidón de oca en base a su composición proximal, análisis fisicoquímico y ciertas propiedades funcionales. Se empleó un Diseño Factorial de 2^3 para combinar diferentes concentraciones de las películas biodegradables, mismas que tuvieron proporciones de almidón de oca (3% - 5%) y gel de aloe vera (2% - 4%) realizándose mediante el Método de Casting a una temperatura de 40°C - 45°C y a un tiempo definido de 20 horas. Se caracterizaron pruebas de Espesor, Solubilidad, Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA), Compresión y Biodegradabilidad de las Películas Biodegradables. Concluyendo que la película T4 (5% almidón y 4% Gel secado a 40°C) obtuvo resultados favorables en su caracterización; donde presentó Espesor de $13.1833 \pm 0.2085 \mu\text{m}$, Solubilidad de $27.1420 \pm 0.0345\%$, PVA de $0.4533 \pm 0.0032 \text{ g}\cdot\text{mm}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kPa})$, Compresión de $3.4570 \pm 0.0171 \text{ N}$ y Biodegradabilidad de $73.4610\% \pm 0.0355$. Estos resultados determinan que las combinaciones de almidón de oca y gel de aloe vera producen películas con un buen balance entre resistencia mecánica, flexibilidad y biodegradabilidad, lo que las convierte en una opción viable para aplicaciones sostenibles, especialmente en la industria de materiales biodegradables.

Palabras clave: Películas biodegradables, almidón de oca, gel de aloe vera, biodegradabilidad, caracterización, bioplásticos, solubilidad.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop and characterize biodegradable films based on oca starch (*Oxalis tuberosa*) and aloe vera gel (*Aloe barbadensis* Miller), in order to evaluate their physical, chemical, and mechanical properties, and determine their potential as an eco-friendly alternative for the production of biodegradable materials. The raw materials (oca and aloe vera gel), along with the oca starch, were characterized based on their proximate composition, physicochemical analysis, and selected functional properties. A 2^3 factorial design was applied to combine different concentrations of the biodegradable films, using proportions of oca starch (3%–5%) and aloe vera gel (2%–4%), prepared through the casting method at a temperature of 40–45 °C for 20 hours. The films were evaluated in terms of thickness, solubility, Water Vapor Permeability (WVP), compression, and biodegradability. It was concluded that treatment T4 (5% starch and 4% gel, dried at 40 °C) showed the most favorable results, presenting a thickness of 13.1833 ± 0.2085 μm , solubility of $27.1420 \pm 0.0345\%$, WVP of 0.4533 ± 0.0032 $\text{g}\cdot\text{mm}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kPa})$, compression of 3.4570 ± 0.0171 N, and biodegradability of $73.4610\% \pm 0.0355$. These results indicate that the combination of oca starch and aloe vera gel produces films with a balanced performance in terms of mechanical strength, flexibility, and biodegradability, making them a viable option for sustainable applications, particularly in the biodegradable materials industry.

Keywords: Biodegradable films, oca starch, aloe vera gel, biodegradability, characterization, bioplastics, solubility.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación ambiental es uno de los problemas más importantes del mundo, a pesar de los esfuerzos de muchas organizaciones y países, todavía estamos lejos de resolverlo; los residuos continúan acumulándose de manera progresiva, generando obstrucciones en los cuerpos de agua y contaminación del suelo, mientras que los desechos tóxicos siguen provocando alteraciones significativas en los ecosistemas (Chucos, 2020). Asimismo, una proporción considerable de la contaminación ambiental global se atribuye a la disposición final de productos como los envases plásticos, los cuales, debido a su composición química, presentan tiempos de degradación extremadamente prolongados, que pueden extenderse por varios siglos e incluso alcanzar hasta 1000 años en el ambiente. Con el tiempo, el plástico se descompone en fragmentos cada vez más pequeños que atraen y retienen sustancias tóxicas. Por ello, el uso masivo de un material tan duradero para artículos desechables es uno de los errores con consecuencias más devastadoras a nivel global. (Ortiz, 2019). Cada año, los consumidores a nivel mundial utilizan billones de bolsas plásticas de un solo uso, que tienen una vida útil promedio de apenas 12 minutos, pero terminan contaminando cuerpos de agua, sofocando humedales y atrapando, enfermando o matando animales. (Ruiz, 2020). Hasta ahora, no se ha logrado reemplazar completamente los plásticos sintéticos por materiales biodegradables en la fabricación de envases. Solo el 30% de las industrias utilizan estos materiales. No obstante, ciertos polímeros sintéticos han sido reemplazados por materiales de origen natural, lo que ha favorecido el desarrollo de productos con propiedades específicas, particularmente en términos de comportamiento mecánico y térmico, destacando su aplicación en envases como películas y materiales de protección (Pérez, 2021).

En base a esta problemática, se plantea el problema de la investigación: ¿Cuál es la formulación más adecuada para la obtención de una película biodegradable a base de almidón de oca (*Oxalis Tuberosa*) y aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)?

Se tiene como hipótesis que las formulaciones adecuadas para la obtención de la película biodegradable son: almidón de oca (3 – 5%), gel de aloe vera (2 – 4%) y temperatura de secado de 40 y 45°C.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de encontrar soluciones prácticas y eficientes para reducir la dependencia de plásticos sintéticos y su impacto negativo en el ecosistema. Al desarrollar una película biodegradable a partir de

recursos naturales y renovables como el almidón de oca y el aloe vera, se ofrece una alternativa ecológica que puede ser utilizada en el empaque de alimentos, proporcionando una doble ventaja: la protección de los productos alimenticios y la reducción de residuos plásticos.

Además, la aplicación de estas películas biodegradables puede promover prácticas de producción más sostenibles entre los productores medianos y grandes, al ofrecer una opción que no solo cumple con las necesidades de empaque, sino que también apoya la sustentabilidad y amigabilidad con el medio ambiente (Islk et al., 2023). Esta alternativa biodegradable se alinea con las crecientes demandas de los consumidores por productos más verdes y con las políticas ambientales que buscan reducir la huella de carbono y los residuos sólidos.

Por lo tanto, la importancia de esta investigación se fundamenta en la contribución significativa que puede ofrecer en la lucha contra la contaminación plástica, al tiempo que proporciona beneficios económicos y sociales a través del desarrollo de tecnologías de empaque más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Objetivo General

Obtener y caracterizar películas biodegradables a base de almidón de oca (*Oxalis Tuberosa*) y aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*).

Objetivos Específicos

-) Caracterizar proximalmente y fisicoquímicamente la materia prima oca (*Oxalis tuberosa*).
-) Extraer y caracterizar proximalmente y funcionalmente el almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) para su aplicación en películas biodegradables.
-) Extraer y caracterizar proximalmente y funcionalmente el gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*).
-) Obtener las películas biodegradables a base de almidón de oca (*Oxalis Tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*).
-) Caracterizar funcionalmente las películas biodegradables a base de almidón de oca (*Oxalis Tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Chocano Peralta, N. del R. (2019), en su tesis “*Propiedades Físicas y Mecánicas de una Biopelícula Formulada con almidón de Papa (Solanum tuberosum) y Mucilago de Nopal (Opuntia ficus)*” evaluó las propiedades físicas y mecánicas de biopelículas elaboradas con almidón de papa, mucilago de nopal, pectina y glicerina. Se formularon seis tratamientos con distintas concentraciones de almidón de papa (50%, 60% y 70%), pectina (22%, 32% y 42%) y mucílago de nopal (0.5%) a dos temperaturas (50°C y 60°C). Las biopelículas se secaron en un horno de convección y se caracterizaron por su solubilidad, color, opacidad, resistencia a solventes y propiedades mecánicas. Los resultados mostraron que la solubilidad aumentó con mayores concentraciones de pectina y temperatura, mientras que la resistencia a disolventes polares disminuyó a bajas temperaturas. En cuanto a las propiedades mecánicas, las biopelículas fabricadas a 60°C presentaron mejor resistencia a la ruptura, mientras que la elongación aumentó con el incremento de almidón de papa. Concluyeron que las biopelículas poseen buenas características para aplicaciones en productos hortofrutícolas o mínimamente procesados, con potencial de uso comercial.

Abdillah & Charles (2021) en su artículo titulado “*Characterization of a natural biodegradable edible film obtained from arrowroot starch and iota-carrageenan and application in food packaging*” [Caracterización de una película comestible biodegradable natural obtenida a partir de almidón de arrurruz y iota-carragenano y aplicación en envases alimentarios], tuvo como objetivo desarrollar películas comestibles biodegradables (BEF) ecológicas utilizando mezclas utilizando mezclas de polímeros (almidón de arrurruz y iota-carragenano). Se combinó almidón de arrurruz (AS) (3,5, 3, 2,5 y 2%) para que de esta manera se pueda desarrollar películas comestibles biodegradables (AS/IC-BEF), que se llegó a comparar con AS-BEF (4%, control). Todas las películas se caracterizaron a base de sus propiedades físico-mecánicas y de barrera. Durante 7 días el AS-BEF exhibió una superficie de forma lisa, alta transparente, pero después de los 30 días recién llegaron a completar la biodegradación. Finalmente, las muestras de AS/IC-BEF inhibieron con mucho éxito la pérdida de peso de los tomates Cherry a temperatura ambiente y también como otro aspecto importante fue que extendieron su vida útil a un tiempo de 10 días.

Maan et al. (2021) en su artículo “aloe vera gel, an excellent base material for edible films and coatings” [Gel de aloe vera, un excelente material base para películas y recubrimientos comestibles] revisan el uso del gel de aloe vera como material para películas y recubrimientos comestibles. Destaca que el gel de aloe vera, por su contenido bioactivo, es eficaz en extender la vida útil de frutas, verduras y mariscos al prevenir la pérdida de humedad, la oxidación de lípidos y el crecimiento microbiano. La investigación revisa su idoneidad y aplicaciones, y señala que las películas de aloe vera puras y en combinación con biopolímeros como gelatina, quitosano y almidón, mejoran propiedades como transparencia, rigidez y permeabilidad al vapor de agua. También menciona los beneficios adicionales de las películas a base de emulsiones que incorporan lípidos. Concluye que, aunque prometedoras, estas películas requieren más investigación para optimizar combinaciones y concentraciones, y mejorar su aplicabilidad en el envasado de alimentos.

Daza et al. (2022), en su trabajo “*Non-conventional starch from cubio tuber (Tropaeolum tuberosum): Physicochemical, structural, morphological, thermal characterization and the evaluation of its potential as a packaging material*” [almidón no convencional del tubérculo cubio (*Tropaeolum tuberosum*): Caracterización fisicoquímica, estructural, morfológica, térmica y evaluación de su potencial como material de embalaje], investigaron el almidón extraído del tubérculo cubio para evaluar su viabilidad como material para películas biodegradables. Utilizando diversas técnicas de caracterización, como microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD) y análisis de propiedades térmicas, evaluaron la composición química, el tamaño de partícula y las propiedades de pastado del almidón. Los resultados indicaron que el almidón de cubio tiene un contenido intermedio de amilosa (31.2%) y una cristalinidad relativa del 16%, lo que lo hace adecuado para aplicaciones industriales. Las películas a base de almidón de cubio mostraron superficies continuas sin poros, buena estabilidad térmica y alta transparencia. Los resultados de permeabilidad al vapor de agua (WVP) indicaron que las películas tienen buenas propiedades de barrera, siendo una alternativa prometedora para el envasado biodegradable.

Pico et al. (2022), en su trabajo *Nanoscopic Characterization of Starch Biofilms Extracted from the Andean Tubers Ullucus tuberosus, Tropaeolum tuberosum, Oxalis tuberosa, and Solanum tuberosum* [Caracterización Nanoscópica de Biofilms

de almidón Extraídos de los Tubérculos Andinos Ullucus tuberosus, Tropaeolum tuberosum, *Oxalis tuberosa* y *Solanum tuberosum*], analizaron las propiedades de biofilms elaborados a partir de almidón de varios tubérculos andinos, entre ellos la oca (*Oxalis tuberosa*). La metodología incluyó la extracción del almidón de los tubérculos, su mezcla con glicerol como plastificante y la caracterización de las películas resultantes mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) para observar sus propiedades nanoscópicas, además de análisis mecánicos y de permeabilidad. Los resultados mostraron que las películas de almidón de oca presentaron una menor permeabilidad al vapor de agua ($0.054 \text{ g mm min}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ kPa}^{-1}$) y una alta capacidad de elongación en la rotura (EB), lo que las hace adecuadas para aplicaciones donde se requiere flexibilidad y resistencia a la humedad. A nivel nanoscópico, las películas de oca mostraron una topografía fibrosa, lo que correlaciona con su alta elasticidad. El estudio concluye que el almidón de oca tiene un gran potencial para su uso en aplicaciones de películas biodegradables debido a sus excelentes propiedades mecánicas y de barrera.

Acurio et al. (2023) en “*Characterization of Second-Generation Snacks Manufactured from Andean Tubers and Tuberous Root Flours*” [Caracterización de Snacks de Segunda Generación Elaborados a partir de Tubérculos Andinos y Harinas de Raíces Tuberosas] investigó el desarrollo de snacks saludables mediante la mezcla de sémola de maíz y harinas de tubérculos andinos como la zanahoria blanca, achira, papa china, camote, oca y mashua. Utilizando la técnica de extrusión, las mezclas se sometieron a altas temperaturas y tiempos cortos de cocción. Se analizaron propiedades como la actividad de agua (aw), índice de expansión, densidad, y capacidad de absorción de agua (WAI). Los resultados mostraron que los snacks con harinas de oca y mashua presentaron mejores características mecánicas, como mayor expansión, colores más saturados y alta capacidad antioxidante, derivada de altos niveles de carotenoides y fenoles. El estudio concluyó que estos tubérculos son una alternativa viable y nutritiva para producir snacks funcionales y saludables, con potencial comercial por su bajo costo y alto valor nutritivo.

Acurio et al. (2024), en su trabajo “*Third-Generation Snacks Manufactured from Andean Tubers and Tuberous Root Flours: Microwave Expansion Kinetics and Characterization*” [Snacks de Tercera Generación Fabricados a Partir de Tubérculos Andinos y Harinas de Raíces Tuberosas: Cinética de Expansión por Microondas y Caracterización], investigaron la creación de pellets extrudidos a partir de una mezcla

de sémola de maíz y harinas de camote, mashua y oca en una proporción 80:20. Utilizaron un extrusor de laboratorio y realizaron un proceso de expansión mediante microondas para estudiar las propiedades de los snacks. Se evaluaron características como la absorción de agua (WAI), solubilidad (WSI), densidad aparente y porosidad. Los resultados mostraron que los pellets de oca blanca y mashua presentaron una mayor expansión y porosidad, mientras que los de camote morado tuvieron mejores propiedades mecánicas y de barrera. Las pruebas de bioactivos mostraron que los snacks retenían compuestos como carotenoides (7.21 mg/100 g) y fenoles (129 mg/100 g), con una capacidad antioxidante de hasta 9.3 mg TE/100 g. El estudio concluyó que la mezcla de tubérculos andinos mejora las propiedades nutricionales y funcionales de los snacks, haciéndolos adecuados para aplicaciones comerciales.

Affandi et al. (2023) establecen en *“The development of aloe vera-based edible film with the addition of sago starch and glycerol for food packaging”* [El desarrollo de una película comestible a base de aloe vera con la adición de almidón de sagú y glicerol para envasado de alimentos] que las películas comestibles a base de aloe vera, desarrolladas con la adición de almidón de sagú y glicerol, presentan propiedades mecánicas y de barrera que varían según la concentración de almidón. En el estudio, se aplicaron seis concentraciones diferentes de almidón de sagú (2.5%, 3%, 3.5%, 4%, 4.5% y 5%) y se observó que un aumento en la concentración de almidón incrementa la resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación de la película, con rangos de 0.0254-0.4827 N/cm² y 46.67%-61.79%, respectivamente. Sin embargo, la humedad (13.39%-16.65%), la actividad del agua (0.559-0.636) y la tasa de transmisión de vapor de agua (5.6460-10.0810 g/m²/h) disminuyen con mayores concentraciones de almidón. Este estudio establece que las películas con 5% de almidón de sagú y glicerol tienen mejores propiedades mecánicas y de barrera, siendo una alternativa prometedora y biodegradable para el envasado de alimentos.

Hadi et al. (2023) en su artículo titulado *“Development of sodium alginate-aloe vera hydrogel films enriched with organic fibers: study of the physical, mechanical, and barrier properties for food-packaging applications”* [Desarrollo de películas de hidrogel de alginato de sodio-aloe vera enriquecidas con fibras orgánicas: estudio de las propiedades físicas, mecánicas y de barrera para aplicaciones de envasado de alimentos] tuvieron como objetivo reforzar películas compuestas a base de alginato y aloe vera con dos polímeros formadores de hidrogel, a saber, goma tragacanto (GT) e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC). Se realizó un estudio para evaluar su efecto

en las propiedades físicas y mecánicas de las películas y como están mejoran. En aspecto de flexibilidad de las películas tuvieron mejora mediante la incorporación de dos polímeros formadores de hidrogel y estuvieron ocasionaron un aumento en el espesor, el índice de hinchamiento, el contenido de humedad y la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas compuestas. No obstante, el paso del oxígeno a través del material se vio afectado por la adición de GT, lo que dio como resultado en una reducción significativa en la permeabilidad al oxígeno.

Islk et al. (2023) en “*aloe vera Oil-Added Agar Gelatin Edible Films for Kashar Cheese Packaging*” [aloe vera/Películas comestibles de gelatina de agar con aceite añadido para envasado de queso Kashar] como objetivo se prepararon películas de agar-gelatina con aceite añadido y se caracterizaron en términos de contenido de agua, grado de hinchamiento, solubilidad en agua, actividad antioxidante y actividad antimicrobiana. También se investigó la posibilidad de poder emplear estas películas comestibles para el envasado de queso kashar durante el periodo de almacenamiento en frío. Durante el periodo de 20 días de almacenamiento en frío a una temperatura de 4°C, en ese periodo de tiempo se examinaron las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de las muestras de queso. Como resultado tuvieron que el estudio actual mostró que al final de los 20 días de periodo de almacenamiento, el aumento bacteriano en A. Vera las muestras que estuvieron cubiertas con películas con aceite añadido fueron 3,37 log UFC/g más bajas que aquellas muestras de control.

Rahmadi Putri et al. (2023) en su artículo “*Effect of different starch on the characteristics of edible film as functional packaging in fresh meat or meat products: A review*” [Efecto de diferentes almidones sobre las características del film comestibles como empaque funcional en carne fresca o productos cárnicos] tuvo como objetivo analizar los efectos de varios tipos de almidón sobre las características de la película y la efectividad en aplicaciones sobre carne fresca o productos cárnicos. Este artículo también analiza los efectos de varios otros factores sobre las propiedades de la película a base de almidón, como plastificantes, aceites esenciales y cobio-polímeros. Finalmente se determinó que las características de las películas hechas con almidón están significativamente afectadas por los niveles de amilosa y amilopectina en el almidón, así como por la temperatura, los plastificantes y otros aditivos. Por consiguiente, estas películas basadas en almidón pueden ser consideradas como una innovadora alternativa para su uso como recubrimiento en la industria alimentaria.

Tang et al. (2023), en su trabajo "*Preparation and characterization of aloe vera polysaccharide-based packaging film and its application in blueberry preservation*" [Preparación y caracterización de películas de envasado a base de polisacáridos de aloe vera y su aplicación en la conservación de arándanos], investigaron el desarrollo de películas comestibles a base de polisacáridos de aloe vera (AVP) reforzadas con nanocelulosa (CNCs) y modificadas con calcio -hidroxi- -metilbutirato (HMBCa). Utilizaron la metodología de moldeo por fundición y evaporación de solventes, y caracterizaron las propiedades físicas y químicas de las películas mediante SEM, FTIR, XRD y análisis térmico. Las películas AVP-0.25HMBCa-CNCs mostraron mejoras significativas en la resistencia mecánica (39.37 MPa), una disminución del 16% en elongación y una reducción del 40% en la permeabilidad al vapor de agua (WVP). Además, la actividad antioxidante aumentó en un 63%, y la actividad antibacteriana fue efectiva contra bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella paratyphi*. En la aplicación de conservación de arándanos, estas películas mejoraron la resistencia de la fruta y redujeron la tasa de respiración y pérdida de peso, manteniendo su calidad hasta por 15 días. El estudio concluye que las películas AVP-HMBCa-CNCs tienen un gran potencial para su uso en el envasado y transporte de alimentos frescos.

Dai et al. (2024) en su trabajo *Enhanced antibacterial and antioxidant activities of chlorogenic acid loaded sweet whey/starch active films for edible food packaging* [Actividades antibacterianas y antioxidantes mejoradas de películas activas de suero dulce y almidón cargadas con ácido clorogénico para envasado comestible de alimentos], exploraron el uso de ácido clorogénico (CGA) como aditivo bioactivo en una matriz de almidón y suero dulce para desarrollar películas biodegradables con propiedades activas. El almidón y el suero dulce se mezclaron en una proporción 10:1, y se agregó glicerol como plastificante. Posteriormente, se incorporaron diferentes concentraciones de CGA (0%, 0.5%, 1%, 2% y 3%) para mejorar las propiedades UV, antibacterianas y antioxidantes de las películas. Los resultados mostraron que las películas con 3% de CGA mejoraron la barrera UV en un 54.6%, la actividad antibacteriana en un 47.5% y la capacidad antioxidante en un 74.5%, comparado con la matriz de suero dulce y almidón sin CGA. Además, las películas cargadas con CGA presentaron un aumento en la tasa de hinchazón y resistencia mecánica, lo que favorece su aplicación en el envasado de alimentos frescos, alargando su vida útil y previniendo el deterioro.

Kaur et al. (2024) en “*aloe vera/Chitosan-Based Edible Film with Enhanced Antioxidant, Antimicrobial, Thermal, and Barrier Properties for Sustainable Food Preservation*” [aloe vera/Película comestible a base de quitosano con propiedades antioxidantes, antimicrobianas, térmicas y de barrera mejoradas para la conservación sostenible de los alimentos], tuvo como objetivo investigar las capacidades filmógenas de la combinación de AV y quitosano (CH) como posible material activo de envasado de alimentos. Las características mecánicas y fisicoquímicas de las películas formadas de varias combinaciones se elaboraron en distintas concentraciones, o sea, CH (0,5% w/v), AV (100%) y CH:AV (60:40). Los resultados mostraron diferencias significativas entre las distintas películas comestibles preparadas, las diferencias principalmente se notaron más en las películas que tuvieron incorporado el gel AV. Se noto una mejora en las propiedades reológicas y antioxidantes en las formulaciones esto debido al gel AV. Las películas que estuvieron compuestas de CH:AV (60:40) afectaron de manera positiva la solubilidad en agua, en las propiedades térmica y la electrónica de barrido (SEM), las películas compuesta de CH:AH (60:40) mostraron que eran amorfas y tenían una morfología suave.

Núñez-Bretón et al. (2024), en su trabajo “*Functionalization of starches from Mexican Oxalis tuberosa using dual chemical modification*” [Funcionalización de almidones de *Oxalis tuberosa* mexicana utilizando modificación química dual], evaluaron la modificación dual del almidón nativo de la oca mediante sustitución lipofílica con anhídrido octenilsuccínico (OSA) y entrecruzamiento con trimetafosfato de sodio (STMP). Se realizaron diversas concentraciones de STMP (0.25% a 2.50%) para observar sus efectos en las propiedades fisicoquímicas. Los resultados mostraron que la modificación dual redujo el contenido de amilosa, incrementó la cristalinidad y mejoró la viscosidad de los almidones modificados. El tratamiento DMS-0.25 presentó una mayor viscosidad máxima (1558.62 mPa·s), mientras que DMS-1.0 y DMS-2.50 mejoraron las propiedades funcionales como el índice de absorción de agua y la capacidad de hinchamiento, haciéndolos adecuados para aplicaciones industriales como agentes estabilizantes y encapsulantes en productos alimentarios y farmacéuticos. La modificación dual permitió obtener almidones con propiedades mejoradas, útiles en aplicaciones industriales.

Singh et al. (2024), en su trabajo “*Recent advancements in polysaccharides, proteins and lipids based edible coatings to enhance guava fruit shelf-life: A review*”

[Avances recientes en recubrimientos comestibles a base de polisacáridos, proteínas y lípidos para mejorar la vida útil de la guayaba: Una revisión]], abordaron el desarrollo de recubrimientos comestibles utilizando materiales como polisacáridos (almidón, carragenina, aloe vera), proteínas (gelatina, caseína) y lípidos (ceras, aceites) para prolongar la vida útil de las frutas, especialmente la guayaba. La metodología incluyó la revisión de estudios sobre el uso de recubrimientos antimicrobianos y antioxidantes aplicados por inmersión y secado para preservar frutas frescas. Los resultados mostraron que estos recubrimientos reducen la permeabilidad al vapor de agua y gases como el oxígeno y dióxido de carbono, lo que retrasa la maduración de la fruta y disminuye la pérdida de peso y firmeza. Además, el uso de nanomateriales mejoró las propiedades barrera y antioxidantes de las películas, aumentando la vida útil de las frutas recubiertas en un 40% más en comparación con las frutas no tratadas. Concluyeron que estos recubrimientos ofrecen una alternativa ecológica y efectiva para la conservación de frutas frescas, con potencial para reducir el desperdicio alimentario y mejorar la sostenibilidad en la industria.

Wu et al. (2024) en "*Preparation of edible antibacterial films based on corn starch/carbon nanodots for bioactive food packaging*" [Preparación de películas antibacterianas comestibles a base de almidón de maíz/nanopuntos de carbono para envases de alimentos bioactivos] desarrollaron una película biodegradable utilizando almidón de maíz y puntos de carbono (CDs) derivados de zanahorias. Este estudio tuvo como objetivo crear un material de empaque amigable con el medio ambiente que ofreciera propiedades antioxidantes y antimicrobianas. La metodología incluyó la incorporación de CDs en la matriz de almidón de maíz y la evaluación de sus propiedades. Los resultados mostraron una actividad antioxidante con una eliminación de radicales DPPH del 92.77% a una concentración de 512 µg/mL de CDs. Además, la actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* alcanzó un 99.9% con un 5% de CDs. La inclusión homogénea de los CDs mejoró la estabilidad térmica y la elasticidad de la película, que se probó en la preservación de albóndigas fritas, demostrando su efectividad en la protección de alimentos.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Oca (*Oxalis tuberosa*)

2.2.1.1. Origen de la oca

La oca, después de la papa, es uno de los tubérculos más significativos y ampliamente cultivados en la región andina, especialmente en países como Ecuador, Colombia, Venezuela, Bolivia y Perú, donde se cultiva a altitudes comprendidas entre los 2500 y 4100 metros sobre el nivel del mar, esta planta se adapta bien a suelos con bajos niveles de nutrientes y es capaz de resistir climas fríos, las áreas situadas entre los 3000 y 3800 metros de altitud, caracterizadas por climas frescos y abundantes precipitaciones, suelen ser las que producen los mayores rendimientos de este cultivo (Oropeza et al., 2021).

El origen de la oca se encuentra en la región que abarca Puno y Cusco, donde se ha identificado una gran diversidad de variedades, estas zonas destacan por tener una producción de oca superior a la de otras áreas altoandinas, consolidándose como centros clave de cultivo tanto en Perú como en Bolivia (Carpano, 2019). En Perú, se han identificado 82 variedades de oca que pertenecen a diferentes países, de las cuales 50 son originarias de este país (Chevez, 2024).

2.2.1.2. Características Químicas

La oca presenta una notable variedad en cuanto a formas y tamaños, lo que es indicativo de su rica composición en metabolitos, entre sus componentes principales se encuentran azúcares, almidón, minerales, proteínas y grasas insaturadas, acompañados de metabolitos secundarios como carotenos, oxalatos y saponinas; además, este tubérculo contiene ácidos como el cafeico, cinámico y vanílico, junto con una amplia gama de flavonoides y antocianinas, la oca es también una excelente fuente de vitaminas del complejo B, vitamina C y otros nutrientes esenciales, como el ácido L-ascórbico, vitamina A, tiamina y riboflavina, entre otros (Ore et al., 2020).

2.2.1.3. Taxonomía

La oca se desarrolla en una amplia zona geográfica que va desde Argentina hasta Venezuela, y se cultiva a altitudes que varían entre los 2000 y 4000 metros sobre el nivel del mar; no obstante, su mayor adaptabilidad y rendimiento se encuentran en altitudes de entre 3000 y 3900 metros (Castañeta et al., 2022).

La oca (*Oxalis tuberosa*), perteneciente al género *Oxalis*, es considerada la especie más importante dentro de este grupo desde un punto de vista económico,

debido a su elevado contenido de proteínas, carbohidratos, minerales y oxalatos (Chocano, 2019). Este tubérculo ocupa el tercer lugar en importancia en cuanto a cultivo en los Andes, después de la papa y el olluco; además, la oca tiene la ventaja de poder ser cultivada en terrenos y a altitudes donde otros cultivos alimentarios tienen dificultades para desarrollarse (Pico, 2022).

2.2.1.4. Composición Fisicoquímica

Según Chocano (2019) la oca presenta la siguiente composición proximal.

Tabla 1.

Composición fisicoquímica de la oca

Componente	oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)
Humedad (g/100g)	86.79
Proteína (g/100g)	0.77
Extracto etéreo (g/100g)	0.47
Fibra cruda (g/100g)	0.78
Carbohidratos (g/100g)	10.41
Cenizas (g/100g)	0.78
Fósforo (g/100g)	28.20
Hierro (g/100g)	12.53
Calcio (g/100g)	17.18
Cinc (g/100g)	1.79
Vitamina A (UI/100 g)	0.99
Vitamina B1 (mg/100 g)	0.05
Vitamina B2 (mg/100 g)	0.94
Vitamina B3 (mg/100 g)	1.09
Vitamina B12 (mg/100 g)	0.91
Vitamina C (mg/100 g)	39.68

*1 UI vitamina C = 50 µg (0,05 mg) de vitamina C. 1 mg B12 = 1000 µg de vitamina B12.

Fuente: (Quineche, 2018).

2.2.2. Aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)

2.2.2.1. Origen y Ubicación

Según diversos autores, el nombre del género Aloe parece tener su origen en el griego, donde significa "mar", ya que muchas especies de este género crecen cerca del océano en su estado natural (Domínguez et al., 2022). Esta planta es originaria de África o de la región norte del Nilo, y crece de manera silvestre en Sudáfrica y Kenia; además, su cultivo es común en Venezuela, la cuenca del Caribe, así como en Texas, Arizona y Florida (Hadi et al., 2023).

2.2.2.2. Estructura del aloe vera

La planta de sábila está formada por raíz, tallo, hojas y flores, siendo las hojas el foco de atención, estas crecen a nivel del suelo y presentan una forma lanceolada y dentada, lo que les proporciona una defensa natural, la estructura de las hojas está compuesta por el exocarpio o corteza, recubierta por una delgada cutícula; la corteza constituye aproximadamente entre el 20 y el 30% del peso total de la planta y varía en su coloración entre verde y verde azulado, dependiendo de factores como la ubicación, el clima y la nutrición de la planta: en el centro de la hoja se encuentra el parénquima, también llamado pulpa o gel, que representa entre el 65 y el 80% de la hoja y entre la corteza y la pulpa se localizan los conductos de aloína, unos canales longitudinales de pocos milímetros de diámetro, a través de los cuales fluye la savia de la planta, conocida como acíbar (Domínguez et al., 2022).

2.2.2.3. Composición

En la composición química del aloe vera se encuentran una variedad de compuestos fenólicos, los cuales se agrupan principalmente en dos grandes categorías: las cromonas, entre las que se destaca la aloensina, y las antraquinonas, que pueden presentarse tanto en su forma libre como glicosilada (). Dentro de este último grupo, se encuentran compuestos importantes como la barbaloina, isobarbaloina y aloemodina (Affandi et al., 2023). Estos elementos se localizan específicamente en la capa interna de las células epidérmicas de la planta, y su función más destacada es la de proporcionar un potente efecto laxante, lo cual convierte al aloe vera en un recurso natural conocido por sus propiedades medicinales, especialmente en el alivio del estreñimiento (Carpano et al., 2019).

La aloína, que es un glicósido antraquinónico, se reconoce como el componente principal del acíbar de la planta, el cual es responsable de sus marcadas propiedades laxantes. Este compuesto juega un papel esencial en el sistema de defensa del aloe vera, ya que es lo que la planta segrega para alejar a posibles depredadores debido a su desagradable olor y sabor amargo, características que la protegen eficazmente. Además de sus funciones defensivas, la aloína también tiene un rol importante en la regulación del proceso de transpiración de la planta, especialmente en condiciones de elevada exposición solar, lo que permite que el aloe vera se mantenga hidratado en climas cálidos y áridos. (Rivero et al., 2023)

Por otro lado, en el gel o mucílago que se encuentra en las hojas del aloe vera, se identifican otros compuestos bioactivos relevantes, tales como polisacáridos, glicoproteínas y aminoácidos. Este gel, que se caracteriza por ser incoloro e insípido, constituye un elemento fundamental en las aplicaciones terapéuticas y cosméticas de la planta, gracias a sus propiedades humectantes, regenerativas y cicatrizantes. Además, la presencia de estos componentes aporta beneficios adicionales al aloe vera, incrementando su valor tanto en el ámbito médico como en la industria de los productos de cuidado personal (Domínguez et al., 2022).

2.2.2.4. Variedades

a) Aloe arborescens Mill

Esta planta presenta un tallo erguido y bien desarrollado, que alcanza alturas de entre 1 y 3 metros. Sus hojas son numerosas, dispuestas en forma de rosetas terminales y pueden variar desde una postura erecta hasta una extendida deflexa, estas hojas tienen forma lanceolada y acuminada, con longitudes que oscilan entre 50 y 60 cm, y un ancho en la base de 5 a 7 cm., su color varía desde un verde oscuro hasta un verde azulado, y los márgenes de las hojas presentan dientes curvados hacia adelante, que miden entre 3 y 5 mm de largo, con una separación de 5 a 20 mm entre ellos; la inflorescencia de la planta es racimosa y generalmente simple, esta planta ha sido exportada a numerosos países tropicales y subtropicales, donde se cultiva principalmente como ornamental (Carpano et al., 2019).



Figura 1. *Aloe arborescens Mill*

Fuente: (PlantNet, 2024)

b) *Aloe barbadensis* Miller

Esta planta presenta un tallo erguido y bien desarrollado, que mide entre 30 y 40 cm de longitud, sus hojas son alargadas, carnosas y con un alto contenido de agua, alcanzando alturas de entre 50 y 70 cm, en la base, las hojas tienen un ancho de 5 a 7 cm, y su color varía de verde oscuro a verde azulado; los márgenes de las hojas están decorados con dientes curvados hacia adelante, que miden de 3 a 5 mm de longitud y están espaciados entre 5 y 20 mm, las flores de la planta son tubulares, colgantes y de color amarillo; además, una planta puede tener entre 12 y 16 hojas (Estupiñán, 2022).



Figura 2. *Aloe barbadensis* Miller

Fuente: (Roger's Gardens, 2024)

c) *Aloe feros* Mill

Este arbusto perenne posee un tallo que alcanza una altura de entre 2 y 3 metros, sus hojas, dispuestas en forma de rosetas, son de color verde claro, con una forma ovalada-lanceolada y miden entre 40 y 60 cm de largo, las hojas presentan espinas tanto en las cimas como en los bordes, lo que les proporciona una característica defensiva; la inflorescencia se presenta en un racimo erecto que puede llegar a medir 60 cm de altura, y sus flores tienen un perianto de aproximadamente 2,5 cm de longitud, con colores que varían entre el rojo, amarillo o naranja (Estupiñán, 2022).



Figura 3. *Aloe ferox* Mill

Fuente: (Etsy, 2024)

d) *Aloe succortina*

Planta caulescente, con tallo erecto, corto; hojas en forma de rosetas, lanceoladas, de color verde a gris-verde, en ocasiones con unas pocas manchas blancas; dientes marginales de (2-4) mm, firmes, blancos, distanciados hasta 10 mm. Flores de color rojo con ápice verde. Tépalos libres hasta la base. (Estupiñán, 2022)



Figura 4. *Aloe succortina*

Fuente: (Walker et al., 2015)

2.2.3. Almidón

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos: la amilosa y la amilopectina, la amilosa resulta de la condensación de moléculas de glucosa mediante enlaces glucosídicos α -(1,4), formando largas cadenas lineales que pueden contener entre 200 y 2500 unidades de glucosa, con pesos moleculares que pueden llegar hasta un millón, este polisacárido, conocido como una α -D-(1,4)-glucana, es capaz de

adoptar una estructura tridimensional en forma de hélice, donde cada vuelta incluye seis moléculas de glucosa (Chocano, 2019).

La amilopectina, por otro lado, se diferencia de la amilosa debido a sus ramificaciones, lo que le otorga una estructura molecular que recuerda a la forma de un árbol, las ramas están conectadas al tronco central (similar a la estructura de la amilosa) mediante enlaces α -D-(1,6), y se encuentran cada 15 a 25 unidades lineales de glucosa; su peso molecular es considerablemente elevado, llegando algunas fracciones a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque también se han reportado pesos en el rango de 300,000 a 500,000 (Oropeza et al., 2021). En general, los almidones contienen entre un 15% y 30% de amilosa, siendo el resto amilopectina, en algunos cereales como el maíz, sorgo y arroz, existen variedades llamadas "cerosas" que están compuestas casi exclusivamente de amilopectina, mientras que otras pueden contener hasta un 90% de amilosa; la proporción de estos dos polímeros en los almidones está determinada por factores genéticos propios de cada producto (Acurio et al., 2023).

Tabla 2.

Características de algunos almidones comunes.

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Tamaño
Maíz	73	23	5 a 25 μ m
Maíz amiláceo	20 – 45	55 – 80	5 a 25 μ m
Papa	78	22	5 a 100 μ m
Arroz	83	17	5 a 55 μ m
Yuca	82	18	5 a 35 μ m
Maíz céreo	99 – 100	0 – 1	5 a 25 μ m
Sorgo	99 – 100	0 – 1	5 a 45 μ m
Trigo	76	24	11 a 41 μ m
oca	71	29	20 a 29 μ m
Mashua	73	27	5 a 10 μ m

Fuente: (Badui, 1995 citado por Quineche, 2018)

2.2.3.1. Usos del almidón

El almidón es un agente aglutinante y espesante ampliamente utilizado en la industria alimentaria, especialmente en la elaboración de pudines, sopas, salsas, alimentos para bebés, productos de panadería, mayonesas, entre otros; el almidón de maíz es el principal tipo de almidón comestible y se considera una materia prima fundamental para la producción de jarabes de almidón y glucosa, además, la amilosa, uno de los componentes del almidón, se emplea como recubrimiento protector para frutas como los dátiles y frutas desecadas o

glaseadas, lo que evita que se adhieran entre sí; la capacidad de la amilosa para formar geles estables la hace especialmente adecuada para su uso en pudines y salsas instantáneas, también, las películas de amilosa se utilizan en el envasado de alimentos como café y té instantáneos, por su parte, la amilopectina es utilizada extensamente como espesante, estabilizante y adhesivo en una variedad de productos alimenticios, destacando su importancia como ligante en diversas aplicaciones (Daza et al., 2022).

2.2.3.2. Obtención de almidón

El almidón, como ingrediente y aditivo, tiene un uso extendido en la producción de una amplia variedad de alimentos, por esta razón, se obtiene de manera industrial a partir de diversas fuentes, siendo el maíz la más común, el método de extracción, conocido como molienda húmeda, comienza con la limpieza de los granos, seguidos por un proceso de maceración en agua a una temperatura de 50°C durante un período de 24 a 48 horas, en esta etapa, puede añadirse entre un 0.1% y 0.2% de anhídrido sulfuroso como agente antimicrobiano; durante la maceración, el producto absorbe agua hasta alcanzar entre un 45% y 50% de contenido, lo que ablanda los granos y facilita su trituración; a lo largo de este proceso, el germen del maíz se separa y se recupera mediante flotación o utilizando un sistema de hidrociclones (Hernández & Ríos, 2023).

Posteriormente, la suspensión resultante se muele y se filtra, permitiendo la separación del almidón de las proteínas por medio de sus diferencias en densidad. La fracción que contiene el almidón se somete a un proceso de purificación para reducir su contenido proteico a menos del 0.3%. Finalmente, el almidón se concentra y se seca mediante un tambor rotatorio o un secado por aspersión. (Oropeza et al., 2021).

Tabla 3.

Rendimiento de almidón de diferentes raíces y tubérculos andinos.

Tubérculo / Raíz	Rendimiento (%)
oca	14
Melloco	7.17
Mashua	4.61
Zanahoria blanca	16.2
Papa	16.1

Fuente: Espín et al., (1999) citado por Quineche (2018)

2.2.4. Películas Biodegradables

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define a los materiales biodegradables como aquellos capaces de degradarse en compuestos tales como dióxido de carbono, metano, agua, biomasa o sustancias inorgánicas. Esta descomposición ocurre gracias a la acción enzimática de microorganismos y puede ser evaluada a través de pruebas estandarizadas durante un tiempo determinado, bajo condiciones controladas de depósito (ASTM, 2005), según lo citado por Quineche (2018).

Los polímeros biodegradables se clasifican en cuatro grupos principales:

- J Polímeros naturales: Son aquellos polímeros que se encuentran en la naturaleza, obtenidos de fuentes animales o también de vegetales, como las proteínas, la celulosa y el almidón.
- J Polímeros naturales modificados o sintetizados mediante procesos químicos convencionales a partir de monómeros biológicos renovables: Ejemplos de estos son los polialcanoatos y el acetato de celulosa.
- J Materiales compuestos: Se caracterizan por la incorporación de partículas biodegradables, tales como almidón, celulosa regenerada o gomas naturales, en matrices de polímeros sintéticos, dando lugar a sistemas mixtos como las combinaciones de almidón con poliestireno o almidón con policaprolactona.
- J Polímeros sintéticos: Abarcan una amplia variedad de materiales, entre los que se encuentran los poliésteres, las poliésteramidas y los poliuretanos, entre otros.

2.2.5. Plastificantes

Un plastificante es una sustancia que se añade a un material plástico o elastómero con el propósito de incrementar su flexibilidad y facilitar su proceso de transformación. La incorporación de un plastificante puede reducir la viscosidad del material en estado fundido, disminuir la temperatura de transición vítrea y reducir el módulo elástico del material fundido (Quineche, 2018).

De acuerdo con la normativa ASTM D-883, un plastificante es un material que se agrega a un plástico para facilitar su procesamiento y mejorar su flexibilidad o capacidad de deformación. Al añadir un plastificante, se pueden observar reducciones en la viscosidad del plástico en estado fundido, así como en su módulo de elasticidad y temperatura de transición vítrea, lo que mejora sus propiedades de manejo y procesamiento.

Entre los plastificantes más comúnmente utilizados se encuentran los polioles, siendo el glicerol o glicerina los más destacados. Andersen también documentó el uso de otros plastificantes como el etilenglicol, propilenglicol, butanodiol, sorbitol, manitol, arabitol, monoglicéridos, diglicéridos, así como derivados del propanodiol, hexanodiol y alditol (Singh, 2024).

2.2.6. Glicerol

El glicerol es un compuesto químico esencial que se obtiene principalmente como un subproducto en la industria oleoquímica. Por otro lado, la glicerina es el nombre comercial que se le da a las mezclas que tienen un alto contenido de glicerol (Posada-Duque, 2020).

Las mezclas que contienen glicerol suelen presentar un aspecto morfológico suave y uniforme. En teoría, deberían mostrar una apariencia final homogénea, lo cual es un indicador claro de que el almidón ha sido correctamente plastificado (Charro, 2021).

2.2.7. Influencia de la gelatinización y del plastificante en las características del almidón

El almidón termoplástico se obtiene a partir del almidón nativo mediante la desestructuración de sus gránulos y un proceso de plastificación, en el cual el material adquiere una matriz uniforme como resultado de la ruptura de los enlaces de hidrógeno intermoleculares propios del almidón; este fenómeno facilita la interacción entre el almidón y el plastificante incorporado, promoviendo la formación de nuevos enlaces de hidrógeno que confieren características termoplásticas al sistema (Suárez, 2021).

La plastificación del almidón se alcanza mediante la adición de un plastificante apropiado, combinada con la aplicación de calor y un proceso continuo, como la extrusión, lo que posibilita la formación de una fase fundida uniforme; el nivel de gelatinización del almidón está condicionado tanto por la naturaleza y concentración del plastificante como por las condiciones operativas del proceso, entre las que se incluyen el esfuerzo cortante, la viscosidad del sistema en estado fundido, el tiempo de procesamiento y la temperatura aplicada (Oropeza et al., 2021)..

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIA PRIMA

-) almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)
-) gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)

3.2. OTROS INSUMOS

-) glicerol (Q.P.).

3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

3.3.1. Equipos

-) Destilador de Agua
Marca: Barmstead
Modelo: D119111
País: Estados Unidos
-) Balanza Analítica Digital
Marca: Precisa
Modelo: LX22OASCS
Serie: 321LX7000587
-) Agitador Magnético
Marca: Intllab
Modelo: Ms-500 Magnetic Igv).
-) Baño María
Marca: Cole Parmer
Modelo: 8892
-) Lavador Ultrasonido
Marca: Branson
Modelo: CPX-5800H-E
Serie: B1C021510500B
-) Estufa
Marca: Barnstead Thermolyne
País: Estados Unidos
-) Incubadora
Marca: P – Selecta.

Modelo: 206.

País: España

) Refrigerador

Marca: Phillips

País: Perú.

) Colorímetro

Marca: Konica Minolta Sensing Inc.

Modelo: CR-400

) pH-Metro

Marca: Record

Capacidad: 7.5 litros.

País: Perú.

) Refractómetro de marca

Marca: Rudolf Research Analytical

País: Estados Unidos

) Espectrofotómetro Digital de UV- Visible

Marca: Único

Modelo: SQ 2800

) Texturómetro

Marca: Brookfield

Modelo: CT3 – 4500

) Determinador de Muestras

Marca: Leco

Modelo: CHN 6283C

) Analizador de Fibra

Marca: Foss

Modelo: FIBERTEC 1023

3.3.2. Materiales

) Vasos de Precipitados de 50 ml., 100 ml. y 250 ml.

) Espátulas de Laboratorio.

) Bandejas acrílicas de 20 cm. x 20 cm. de 3 mm.

) Varilla de vidrio.

3.3.3. Reactivos

- Agua Destilada.
- Éter de Petróleo AR
- Etanol al 99%.
- Hidróxido de Sodio (NaOH) al 1 M.
- Fenolftaleína al 0.1%.
- Solución de Yodo al 0.2%.
- Ácido Acético al 1 M..
- Azul de Coomassie.
- Etanol.
- Ácido fosfórico.
- Nitrito de Sodio.

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. Caracterización de oca (*Oxalis tuberosa*)

3.4.1.1. Análisis Químico Proximal

A. Humedad

El contenido de humedad se determinó aplicando el método de desecación en estufa establecido por la Norma Técnica ITINTEC 205.037 (1974), el cual incluyó el pesado inicial de las placas vacías en una balanza analítica; seguidamente, se dispusieron 10 g de muestra en dichas placas y se sometieron a secado en estufa a 105 °C hasta obtener masa constante; concluido el secado, las muestras se colocaron en un desecador durante aproximadamente 15 minutos para su enfriamiento, tras lo cual se realizó un nuevo pesado, permitiendo calcular el porcentaje de humedad mediante la fórmula correspondiente.

$$\%H = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

) P_1 = Peso de la placa más muestra.

) P_2 = Peso de la placa más muestra seca

) m = Peso de la muestra.

B. Grasa

(Método de Soxhlet – AOAC, 1989) Primero se pesa una cantidad específica de la muestra seca (3 gramos). Luego, esta muestra se coloca en un dedal de celulosa y se introduce en un vaso de extracción donde se añade un solvente. A continuación, se programa el equipo para realizar el proceso de extracción, el cual incluye un lavado de 10 minutos, una recuperación de 45 minutos, un enjuague de 10 minutos y un secado de 5 minutos. Seguidamente, se ajustan los controles del equipo para cada una de estas etapas. Finalmente, los vasos de extracción se secan a una temperatura de 100°C durante una hora. Una vez seco, se pesa nuevamente el vaso con la muestra para determinar la cantidad de grasa extraída y calcular el porcentaje de grasa presente en la muestra original por medio de la siguiente ecuación:

$$\%g = \frac{m(g)}{m(M)} \times 100$$

) m (grasa): (Peso de matraz y grasa en g.) – (Peso de Matraz Vacío en g.)

) m (M): Peso de masa inicial en g.

C. Fibra Dietaria Total

(Método AOAC 991.43, AOAC 32-05.01, AOAC 985.29) El procedimiento para la determinación de fibra dietaria comienza con la preparación de los reactivos. Para el buffer fosfato 0.08 M a pH 6.0, se disuelven 1.4 g de fosfato dibásico de sodio y 8.4 g de fosfato monosódico de sodio en agua destilada, ajustando el pH a 6.0. Para el hidróxido de sodio (0.275 N), se disuelven 2.7 g de NaOH en agua destilada y se afora a 250 mL. Para el ácido clorhídrico (0.325 N), se diluyen 10 mL de HCl concentrado en agua destilada hasta obtener 1 L.

En el proceso de secado del célite, se pesan los crisoles y se agregan 0.5 g de célite, registrando los pesos. Luego, los crisoles con célite se colocan en un horno a 130°C durante 3 horas. Después de enfriar, se pesan nuevamente los crisoles junto con el célite.

Para obtener la fibra dietaria, se agrega 1 g de muestra desgrasada en cada placa (Placa 1 y Placa 2 en caso sea para una sola repetición, esto dependerá

de las repeticiones que se establezcan para la elaboración del análisis), registrando los pesos. Luego, se agrega 50 mL de buffer fosfato pH 6.0 y 50 µL de enzima α -amilasa a cada frasco. Los frascos se tapan con papel aluminio y se colocan en baño maría con agitación a 80°C por 30 minutos. Después, se enfrían los frascos con agua destilada hasta vaciar lo que se pegó en las paredes. Posteriormente, se mide el pH y se ajusta a 7.5 con NaOH 0.275 N, se agrega 100 µL de proteína proteasa a cada frasco y se colocan nuevamente en baño maría con agitación a 60°C por 30 minutos. A continuación, se enfrían los frascos con agua destilada y se mide el pH ajustándolo a 4.4 – 4.6 con HCl 0.325 N. Así, se agregan 200 µL de amiloglucosidasa y finalmente se colocan los frascos a baño maría con agitación a 60°C por 30 minutos junto al alcohol (usado para FDT).

Para la Fibra Dietaria Total se comienza agregando 280 mL de alcohol de 96° a 60°C y dejando reposar durante 1 hora. Luego, se humedece el célite con alcohol de 78° y se monta el equipo, manteniendo una succión suave para transferir cuantitativamente el precipitado y la suspensión de cada frasco a su crisol respectivo. Posteriormente, se lavan los residuos con alcohol de 78°, luego con alcohol de 96° y finalmente con acetona. Los frascos se llevan a estufa durante 12 horas a 105°C, luego se colocan en una campana para enfriar. Finalmente, se determinan las cenizas (Placa 1) y las proteínas (Placa 2). Utilizando las siguientes fórmulas:

Fórmula para cálculo de Blanco (B):

$$B = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - B - B$$

) BR = Residuo del Blanco

) BP = Proteínas del Blanco BR₁

) BA = Ceniza del Blanco BR₂

Fórmula para cálculo de FDT:

$$\%F = \frac{\left(\frac{R_1 + R_2}{2}\right) - P - C - B}{\left(\frac{M_1 + M_2}{2}\right)}$$

-) R_1 = Peso del Residuo 1 de Placa 1
-) R_2 = Peso del Residuo 2 de Placa 2
-) P = Peso de Proteína de R_1
-) C = Peso de Cenizas de R_2
-) B = Peso de Blanco
-) Placa 1 y Placa 2 = Pesos de Muestra Inicial

D. Cenizas

Para determinar el porcentaje de cenizas en una muestra, siguiendo la Norma Técnica ITINTEC 205.038 (1974), se pesa un crisol vacío y se le añaden entre 3 y 4 gramos de muestra. Antes de introducir el crisol en la mufla, se recomienda quemar parcialmente la muestra en una cocina eléctrica durante 15 minutos para evitar la expansión de olores desagradables y el ensuciamiento de la mufla. Luego, se coloca el crisol en la mufla y se calienta a 600°C durante 2 horas y media. Después de este tiempo, se retira el crisol de la mufla y se deja enfriar durante 15 minutos en un desecador. Finalmente, se pesa nuevamente el crisol con las cenizas y, mediante un cálculo específico, se determina el porcentaje de cenizas en la muestra original.

$$\%C = \frac{(P_1 - P_0)}{P} \times 100 \times \frac{85}{100 - H}$$

-) P_1 = Peso del Crisol más las cenizas
-) P_0 = Peso del Crisol
-) P = Peso inicial de la porción de muestra
-) H = Humedad de la Muestra (%)

E. Proteínas

Para la determinación de proteínas mediante el método Dumas, se preparó el instrumento siguiendo el manual del operador y se determinó el espacio en blanco ingresando 1,0000 g de muestra con el nombre "Blank", seleccionando 10 réplicas e iniciando la secuencia de análisis. Al menos cinco resultados establecieron el espacio en blanco, asegurando una precisión del nitrógeno inferior al 0,001%. Luego, se calibró o corrigió la deriva pesando aproximadamente 0,25 g de un compuesto puro de calibración (EDTA, fenilalanina, etc.) en papel de aluminio, sellándolo si fue necesario. Se ingresó la masa y la identificación en el sistema, se transfirió la muestra al carrusel y se repitió el procedimiento al menos cinco veces por cada muestra de calibración o deriva, garantizando precisión y confiabilidad en el análisis.

F. Carbohidratos

Se determina por diferencia:

$$[C_t = 100\% - (H + P \text{ ín} + G + F + C)]$$

3.4.1.2. Análisis Físicoquímico

A. Determinación de pH

La determinación se realizó conforme al método potenciométrico AOAC 981.12 (2000), empleando un pH-metro digital, mediante la medición directa del pH por inmersión del electrodo en la solución de la muestra.

B. °Brix (Sólidos Solubles Totales)

Se determina según el método 923.12 de la AOAC (2000) usando el refractómetro digital. Se depositan 3 gotas de las muestras en el refractómetro y se procedió a lecturar.

C. Determinación de Acidez Titulable

Se determina por titulación potenciométrica usando la metodología AOAC (1995). El ácido oxálico es el que predomina en la oca, razón por la que los resultados de acidez titulable se expresan en cantidad de ácido oxálico, la

disminución de la acidez se relaciona con el aumento de sólidos solubles (Palate, 2013).

Se aplica la siguiente fórmula:

$$\% a = \frac{(V_g)(N)(P_e)}{Q} \times 100$$

V_g : Volumen de NaOH gastados (ml.)

N : Concentración de Solución de NaOH utilizado (0.1 mol/L)

P_e : Masa molar equivalente del ácido orgánico que predomina en la muestra (g/eq)

Q : Masa de la muestra (g. o ml.)

3.4.2. Caracterización de gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)

3.4.2.1. Análisis Químico Proximal

Metodología ya descrita en la caracterización químico proximal de la oca (*Oxalis tuberosa*).

3.4.2.2. Análisis Funcional

A. Determinación de pH

La determinación se efectuó de acuerdo con el método potenciométrico AOAC 981.12 (2000), utilizando un pH-metro digital, mediante la medición directa del pH por inmersión del electrodo en la solución de la muestra.

B. Determinación de Viscosidad Reológica

Las medidas reológicas se obtuvieron utilizando un Reómetro Digital R/S Plus modelo BROOKFIELD R/S-CC, el cual es controlado por medio de una computadora que permite regular con precisión la temperatura, el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Para garantizar la fiabilidad de los resultados, los experimentos fueron realizados por duplicado, asegurando que en cada repetición se utilizara una nueva muestra.

La caracterización del flujo del gel se llevó a cabo mediante una curva de flujo específica, la cual constó de cuatro etapas bien definidas:

1. Se estableció un período inicial de 60 segundos en el que se aplicó un gradiente de velocidad de deformación de 1 s^{-1} , con el propósito de eliminar el comportamiento tixotrópico de la muestra y permitir que, a

partir de ese punto, el esfuerzo cortante se volviera independiente del tiempo.

2. En una etapa de 60 segundos, el gradiente de velocidad fue incrementado progresivamente desde 1 hasta 100 s^{-1} , registrándose 15 puntos durante esta fase de la corrida.
3. La tercera etapa consistió en mantener el gradiente de velocidad constante en 1 s^{-1} durante 60 segundos adicionales.
4. La última fase de la prueba también tuvo una duración de 60 segundos y consistió en una reducción progresiva del gradiente de velocidad desde 100 hasta 1 s^{-1} , registrándose nuevamente 15 puntos a lo largo de la corrida. Con el fin de asegurar la precisión y reproducibilidad de los datos obtenidos, cada una de estas curvas fue ejecutada por duplicado para cada temperatura analizada.

Adicionalmente, siguiendo las recomendaciones del fabricante y para garantizar que la temperatura de operación se mantuviera estable, las muestras fueron dejadas en reposo dentro del reómetro durante un lapso de 5 minutos previos al inicio de cada corrida experimental.

C. Determinación de Actividad Antioxidante

Se agregaron 5 mL de una solución metanólica al 80 %, acidificada con HCl 2N hasta un pH de 2, a 0.05 g de muestra. Las muestras fueron sometidas a agitación en vortex durante 10 segundos, seguida de un proceso de sonicación por 30 minutos. Para el análisis, se colocaron en una microplaca una curva de calibración, un blanco y el sobrenadante de cada muestra, añadiendo $10 \mu\text{L}$ por triplicado. La solución de DPPH (1 mM) en metanol se preparó disolviendo 4 mg de DPPH en 10 mL de metanol. Posteriormente, las muestras fueron incubadas durante 30 minutos a temperatura ambiente y en condiciones de oscuridad. La medición se realizó en un lector multimodal. La concentración de DPPH remanente (no reaccionado) se determinó mediante la absorbancia a 515 nm.

3.4.3. Caracterización de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)

3.4.3.1. Análisis Químico Proximal

Metodología ya descrita en la caracterización químico proximal de la oca (*Oxalis tuberosa*).

3.4.3.2. Análisis Funcional

A. Prueba de Amilografía

Bajo el Método Oficial de la AACC, se mide con una bureta graduada un volumen de 450 ml de agua destilada y se determina la humedad de la muestra de almidón a utilizar. Posteriormente, se pesaron 80 g de almidón, los cuales se colocaron en un matraz al que se añadió de manera progresiva el volumen de agua previamente determinado, realizando una agitación continua con el fin de evitar la formación de grumos y asegurar la obtención de una suspensión uniforme, manteniendo una fracción del agua en la bureta; una vez alcanzada la completa dispersión del almidón, la mezcla homogénea se transfirió a un cilindro de calentamiento, y el material residual adherido al matraz se enjuagó con el agua retenida en la bureta para luego incorporarlo al mismo cilindro; seguidamente, se introdujo el sistema de agitación y se dio inicio al proceso de calentamiento bajo condiciones iniciales de 30 °C y una tasa de incremento térmico de 1,5 °C/min, registrándose al finalizar el ensayo la curva de comportamiento y la tabla de resultados correspondientes, que incluyeron las Unidades Brabender (UA), la temperatura (°C) y el tiempo (min).

B. Viscosidad Reológica

Las medidas reológicas se obtuvieron utilizando un Reómetro Digital R/S Plus modelo BROOKFIELD R/S-CC, el cual es controlado por medio de una computadora que permite regular con precisión la temperatura, el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Para garantizar la fiabilidad de los resultados, los experimentos fueron realizados por duplicado, asegurando que en cada repetición se utilizara una nueva muestra.

La caracterización del flujo del gel se llevó a cabo mediante una curva de flujo específica, la cual constó de cuatro etapas bien definidas:

1. Se estableció un período inicial de 60 segundos en el que se aplicó un gradiente de velocidad de deformación de 1 s^{-1} , con el propósito de eliminar el comportamiento tixotrópico de la muestra y permitir que, a partir de ese punto, el esfuerzo cortante se volviera independiente del tiempo.
2. En una etapa de 60 segundos, el gradiente de velocidad fue incrementado progresivamente desde 1 hasta 100 s^{-1} , registrándose 15 puntos durante esta fase de la corrida.
3. La tercera etapa consistió en mantener el gradiente de velocidad constante en 1 s^{-1} durante 60 segundos adicionales.
4. La última fase de la prueba también tuvo una duración de 60 segundos y consistió en una reducción progresiva del gradiente de velocidad desde 100 hasta 1 s^{-1} , registrándose nuevamente 15 puntos a lo largo de la corrida. Con el fin de asegurar la precisión y reproducibilidad de los datos obtenidos, cada una de estas curvas fue ejecutada por duplicado para cada temperatura analizada.

Adicionalmente, siguiendo las recomendaciones del fabricante y para garantizar que la temperatura de operación se mantuviera estable, las muestras fueron dejadas en reposo dentro del reómetro durante un lapso de 5 minutos previos al inicio de cada corrida experimental.

C. Índice de Solubilidad en Agua (ISA), Índice de Absorción de Agua (IAA) y Poder de Hinchamiento

Siguiendo la metodología propuesta por Anderson et al. (1969), citada por Contreras et al. (2013), se emplearon tubos de centrífuga previamente secos y pesados, en los cuales se añadieron 1,25 g de almidón en base seca (Pm) y 30 mL de agua destilada precalentada a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, procediéndose a su agitación; posteriormente, las muestras fueron colocadas en un baño María a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 minutos, con una nueva agitación a los 10 minutos de iniciado el calentamiento, tras lo cual se centrifugaron a temperatura ambiente a 4900 rpm durante 30 minutos; finalizada la centrifugación, el sobrenadante se decantó inmediatamente y se registró su volumen (V), de donde se tomó una alícuota de 10 mL que fue transferida a un vaso de precipitados de 50 mL previamente tarado y secada en estufa a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ durante

12 horas, determinándose finalmente la masa del tubo de centrifuga con el gel (Pg) y la del vaso de precipitados que contenía los sólidos solubles (Ps).

$$L = \frac{P \quad d \quad g \quad (g) \times V_t \quad d \quad S_t \quad (m) \times 10}{P \quad d \quad l_t \quad M \quad (g)}$$

$$L = \frac{P \quad d \quad G \quad (g)}{P \quad d \quad l_t \quad M \quad (g)}$$

$$P \quad (g) = \frac{P \quad d \quad G \quad (g)}{P \quad d \quad l_t \quad M \quad (g) - P \quad d \quad S \quad (g)}$$

D. Determinación del Porcentaje de Amilosa y Amilopectina (%)

Brevemente, se pesaron 0.1 g de la muestra en un matraz volumétrico de 100 cm³ y se añadieron cuidadosamente 1 cm³ de etanol al 99% y 9 cm³ de solución de hidróxido de sodio 1 M. Los contenidos se mezclaron completamente y la solución de muestra se calentó durante 10 minutos en agua hirviendo para gelatinizar el almidón. Después de enfriar, la solución se completó hasta la marca con agua destilada y se agitó vigorosamente. Cinco (5) cm³ de la solución de almidón en matraces volumétricos de 100 cm³ se trataron con 1.0 cm³ de ácido acético 1M y 2.0 cm³ de solución de yodo. La solución se diluyó hasta el enrase con agua destilada y se leyó la absorbancia mediante espectrofotómetro a 620 nm. Los contenidos de amilosa y amilopectina se calcularon utilizando las ecuaciones:

$$\begin{aligned} C \quad d \quad A \quad (\%) &= 3,06 \times a \quad x \quad 20 \\ C \quad d \quad A_1 \quad (\%) &= 100\% - \% C \quad d \quad A \end{aligned}$$

3.4.4. Caracterización de Películas Biodegradables

A. Prueba de Espesor

Se determinó el espesor utilizando un micrómetro digital electrónico (ZAAS Precision). Se midieron 10 puntos seleccionados al azar en la película. La densidad aparente de la película se obtuvo a partir del espesor promedio tanto en mm como μm , un área conocida de la película y la masa de la película. La

densidad determinada corresponde a la media de al menos diez determinaciones, utilizando un vernier digital para medir en mm y un micrómetro para obtener valores en μm .

B. Prueba de Solubilidad

La solubilidad de la película en agua se determinó según (Soazo et al., 2013) citado por (Pérez et al. 2016). Brevemente, se secaron pequeñas piezas de las películas ($15 \times 7.5 \text{ m}^2$) en un horno a 70°C hasta peso constante para obtener el peso seco inicial de la película. Luego, la pieza de película se colocó en un tubo de centrífuga con 10 ml. de agua destilada.

Posteriormente, los tubos se agitaron a 240 rpm en una plataforma de agitación durante 24 h a 25°C . Después de la inmersión, los sólidos restantes se secaron en el horno a 70°C hasta peso constante para determinar el peso de la materia seca no disuelta en agua. La solubilidad, expresada como sólidos solubles (%), se determinó a partir de la ecuación, realizando el análisis por triplicado:

$$\text{Sólidos Solubles (\%)} = 100 \times \frac{(M_{S_h} - M_{S_h})}{M_{S_h}}$$

C. Prueba de Permeabilidad al Vapor de Agua

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) se determinó según el método establecido por la norma ASTM E96-05 empleado por (Caldas, 2019), realizando los ensayos en triplicado para cada tratamiento. Antes de iniciar las pruebas, los films fueron acondicionados a un 64% de humedad relativa (HR) durante 48 horas en una campana que contenía una solución saturada de NaNO_3 .

Se utilizaron vasos de vidrio con un diámetro interno de 4.25 cm, un diámetro externo de 4.7 cm y una profundidad de 4.5 cm. Dentro de estos, se colocó cloruro de calcio (HR 0%), dejando un espacio de 6 mm medido desde el borde superior. El film se colocó sobre el vaso, se selló el borde con silicona para garantizar la hermeticidad y se pesó el conjunto cada 24 horas durante un total de 96 horas, con el conjunto en una campana de desecación a 25°C y 54% HR. Los datos de peso obtenidos se graficaron en función del tiempo

para obtener la Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua (VTVA) mediante la ecuación:

$$V = \frac{\Delta G}{t \cdot A}$$

Donde:

- ΔG : Variación de Peso con el paso del tiempo (g.)
- t : Tiempo entre lecturas (h)
- A : Área expuesta de película (m^2)

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) se calculó utilizando la ecuación:

$$P = \frac{V}{\Delta P} \cdot e$$

Donde:

- VTVA: Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua
- ΔP : Variación de Presión de Vapor de Agua en cámara (kPa)
- e : Espesor (mm.)

D. Prueba de Compresión

La prueba de compresión se empleó utilizando el texturómetro marca BROOKFIELD LFRA 1500 con tipo de sonda TA39 - 2 mm D, 20 mm/L, de extremo plano. Se aseguró por completo la película dentro de un cubo hueco de 10 cm. por lado para ser medida la compresión tras cada reporte emitido por el programa propio de la marca Brookfield.

E. Prueba de Biodegradabilidad

La evaluación de la biodegradabilidad de las películas biodegradables se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ISO 20200:2015 y empleados por (Afshar et al., 2025).

Inicialmente, se prepararon muestras cuadradas de las películas biodegradables, con dimensiones de 5 cm \times 5 cm y un espesor en el rango de 5 μ m a 20 μ m. Cada muestra fue pesada para obtener la masa inicial,

utilizando una balanza analítica con precisión de 0,001 g. Posteriormente, las muestras fueron enterradas en bandejas llenas de compost, con aproximadamente 400 g de suelo tratado con características adecuadas de humedad (alrededor del 55-60%) y pH entre 6 y 8.

Las bandejas con las muestras fueron colocadas en una cámara de incubación a una temperatura controlada constante de $58 \pm 2^\circ\text{C}$ durante un período total de 15 días por intervalos de dos días. Durante este tiempo, se realizaron mediciones de la pérdida de masa cada día. En cada intervalo establecido, se extrajeron cuidadosamente las muestras, eliminando residuos de suelo adherido, y se pesaron nuevamente para determinar la masa final. La pérdida de masa se calculó restando la masa final obtenida de la masa inicial, y el porcentaje de biodegradación se determinó mediante la fórmula:

$$\% \text{ d } B \quad \text{ón} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100\%$$

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1. Variables

3.5.1.1. Variable Independiente

-) Porcentaje de gel de aloe vera [2 – 4%].
-) Porcentaje de almidón de oca [3 – 5%].
-) Temperatura de Secado [40 – 40 °C].

3.5.1.2. Variable Dependiente

-) Prueba de Espesor de las películas biodegradables [μ].
-) Prueba de Solubilidad de las películas biodegradables [%].
-) Prueba de Permeabilidad al Vapor de Agua de las películas biodegradables [$g.m /h.m^2.k$].
-) Prueba de Compresión de las películas biodegradables [N].
-) Prueba de Biodegradabilidad de las películas biodegradables [%].

3.5.2. Población y Muestra

Población

- La variedad de oca amarilla proveniente del mercado “La Perla” ubicado en Av. Pardo S/N, Chimbote.
- La población para sábila de variedad *Aloe barbadensis Miller* será proveniente del C.P.M. Huambacho “La Huaca”, Samanco.

Muestra

- Las muestras de oca de variedad amarilla obtenidas en el mercado “La Perla” ubicado en Av. Pardo S/N, Chimbote, estas muestras deben poseer un tamaño uniforme de calibre mediano con buena calidad en rubros como su textura y color. Cabe recalcar que estas muestras deben encontrarse libres de magulladuras, golpes o de presencias de plaga. Sumando así un total de 20 kg.
- El aloe vera de variedad *Aloe barbadensis Miller* del C.P.M. Huambacho “La Huaca”, Samanco, deben poseer un tamaño uniforme característico de 30 cm. con buena calidad en rubros como su textura, olor, color y aspecto general. Cabe recalcar que estas muestras deben encontrarse libres de magulladuras, golpes o de presencias de plaga.
- El glicerol obtenido de la empresa “ORFALAB” ubicada en la Av. Emancipación 553 – Cercado De Lima Int. 201.

3.5.3. Proceso de obtención de películas biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

3.5.3.1. Obtención del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)

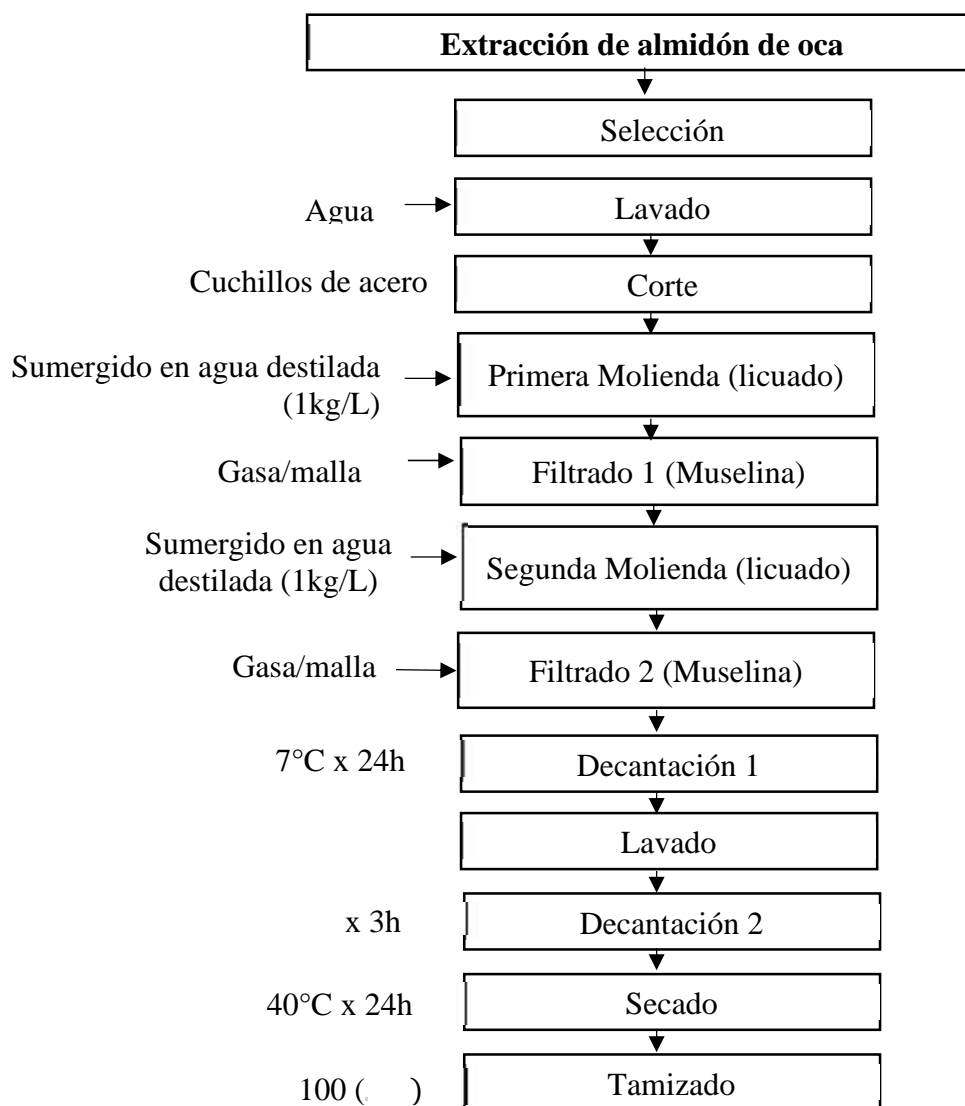


Figura 5. Extracción de almidón de oca

Se selecciona la oca con el mejor aspecto para obtener un alto aporte de almidón. Luego, se lava cuidadosamente para eliminar impurezas y suciedad superficial que puedan afectar las etapas posteriores. A continuación, se corta la oca para facilitar su manipulación y eficiencia durante el proceso de molienda. La primera molienda o licuado transforma los pedazos de oca, y posteriormente se filtran usando muselina para separar el almidón de los sólidos restantes. Los sólidos retenidos tras este filtrado se someten a una segunda molienda, seguida de un segundo filtrado con muselina para separar nuevamente el líquido de los sólidos. El líquido obtenido se deja decantar a 7°C durante 24 horas. Tras este periodo,

se realiza un lavado y se repite un segundo decantado durante 3 horas adicionales para asegurar la pureza del almidón sedimentado. Finalmente, el almidón se seca a 40°C durante 24 horas y se tamiza para obtener un polvo fino y uniforme.

3.5.3.2. Extracción del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

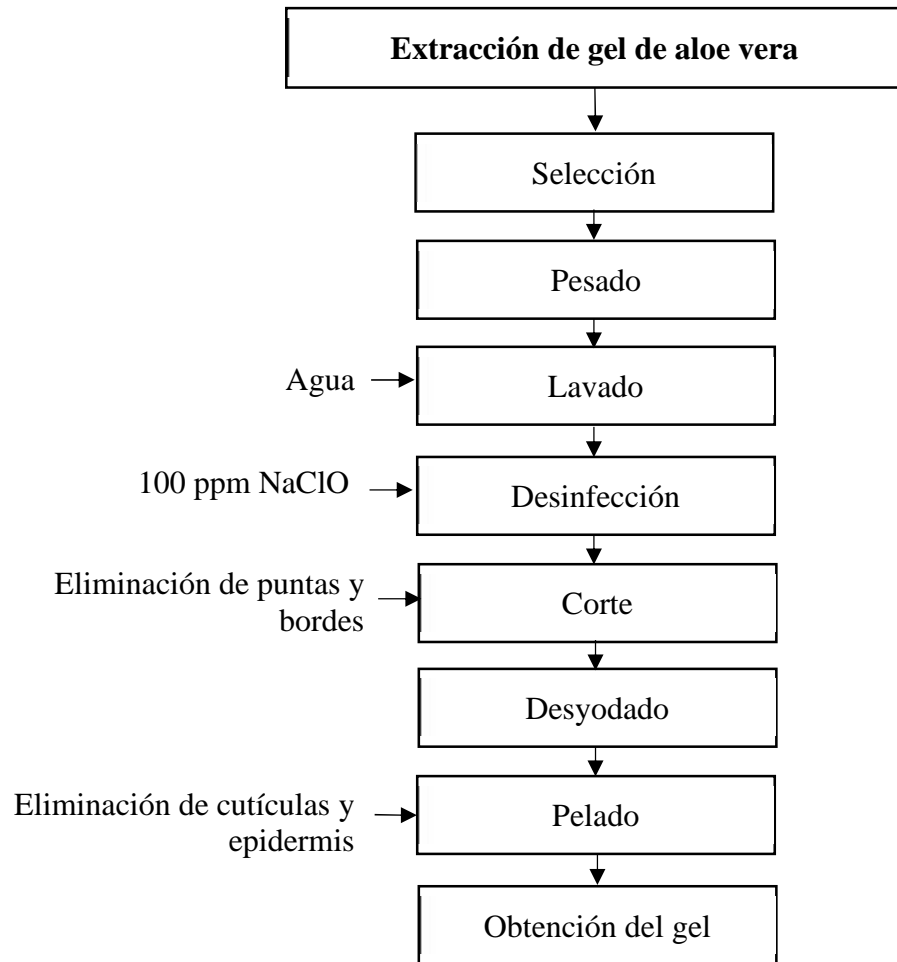


Figura 6. Obtención de gel de aloe vera

La aloe vera se selecciona cuidadosamente para asegurar un buen contenido de gel. Luego, se pesa para determinar la cantidad que se va a utilizar y el volumen de gel que se puede obtener. Posteriormente, se lava con agua para eliminar cualquier rastro de suciedad presente en las hojas. Una vez limpias, las hojas se desinfectan sumergiéndolas en una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio (NaClO). A continuación, se cortan en secciones para facilitar el pelado, se retira el yodo eliminando las puntas de las hojas, y se procede a pelarlas retirando las cutículas y la epidermis. Finalmente, se extrae el gel de aloe vera de las hojas peladas.

3.5.3.3. Elaboración de las Películas Biodegradables

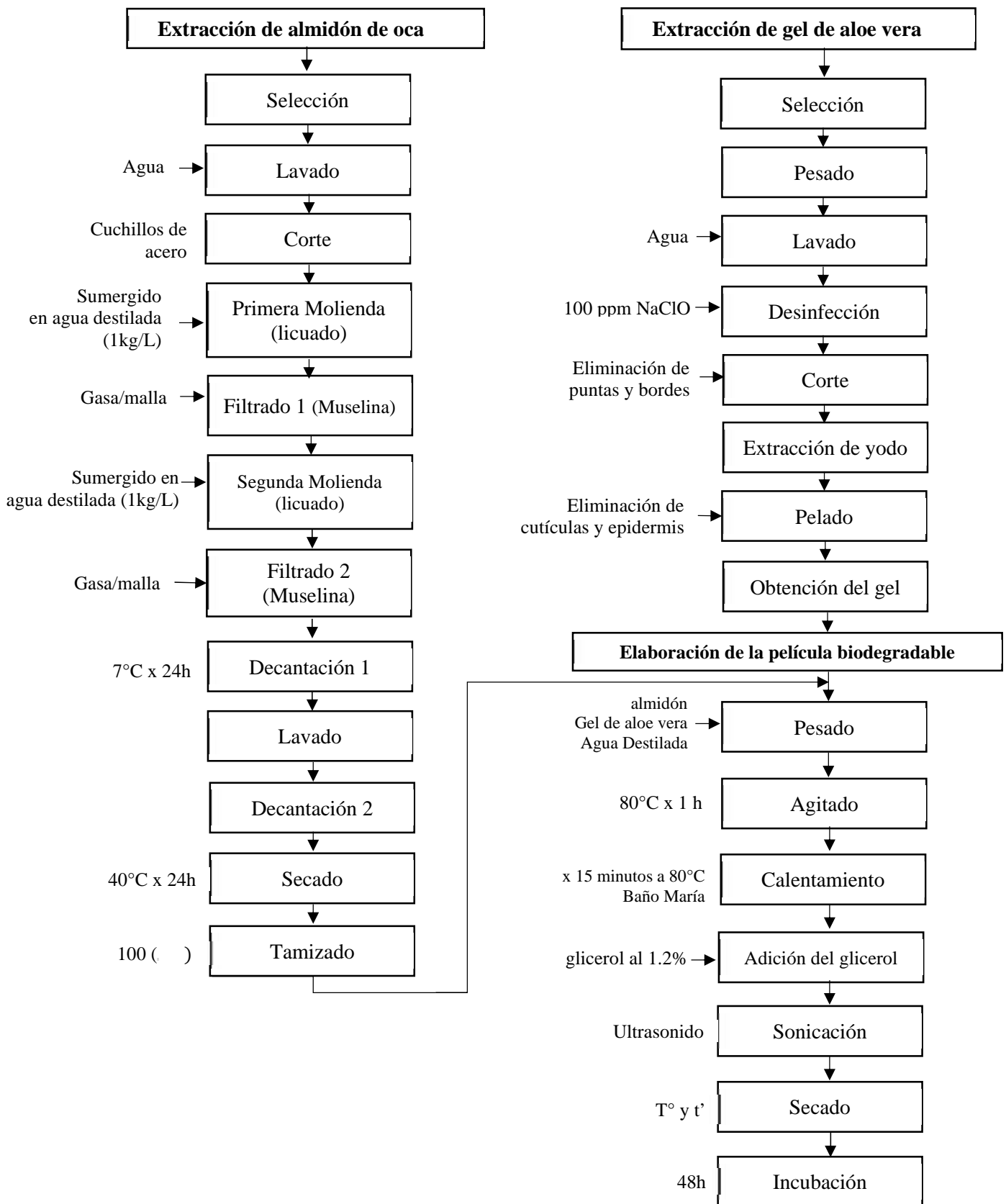


Figura 7. *Proceso de Obtención de Película Biodegradable*

El procedimiento para fabricar una película biodegradable consta de tres fases principales: la obtención del almidón de oca, la extracción del gel de aloe vera y la preparación de la película final. En la primera fase, se seleccionaron ocas en buen estado, que se lavaron para remover impurezas, y luego se cortaron utilizando cuchillos de acero inoxidable. Los trozos fueron sometidos a una primera molienda para liberar el almidón, tras lo cual la mezcla fue filtrada con muselina para separar los líquidos de los sólidos. Posteriormente, los sólidos se molieron por segunda vez para maximizar la extracción del almidón, seguido por un segundo proceso de filtrado. El líquido resultante se dejó decantar a 7°C por 24 horas para sedimentar el almidón, que luego fue lavado y sometido a una segunda decantación de 3 horas para aumentar su pureza. Posteriormente, el almidón se secó a 40°C durante 24 horas y fue tamizado hasta obtener un polvo fino y homogéneo. En la segunda fase, las hojas de aloe vera de alta calidad se lavaron, desinfectaron con hipoclorito de sodio (100 ppm), cortaron y pelaron para extraer el gel. En la tercera fase, se pesaron los ingredientes de la película utilizando un 4% de almidón de oca (8 g) y agua destilada (192 g). La mezcla fue agitada durante 1 hora para asegurar una distribución homogénea del almidón, luego se calentó a 80°C por 15 minutos para gelatinizarlo. Después, se añadió el glicerol como plastificante para mejorar la flexibilidad de la película. Finalmente, la mezcla fue sometida a ultrasonido para garantizar una dispersión uniforme de los componentes junto a la eliminación de burbujas originadas, y la película fue secada según convenga por cada tratamiento durante 20 horas bajo condiciones controladas, asegurando una correcta formación.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleará un diseño de mezclas, utilizando el software Design Expert 13 para hallar las muestras que se emplearán en el diseño experimental. Este software se utiliza debido a su capacidad para analizar y optimizar diseños de experimentos, proporcionando herramientas estadísticas que facilitan la determinación de combinaciones de factores y la interpretación de resultados. El diseño tendrá 8 corridas que representarán las combinaciones de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*), gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*) y glicerol con temperaturas diferentes. Con el fin de determinar los factores en los que se basa la investigación como lo son almidón de oca, gel de aloe vera y temperaturas de secado de la película en las

características de una película biodegradable (estableciendo la película que tiene mayor tasa de aceptación), se dispone un diseño factorial de 2^3 , en el cual se intersectarán nuestras 3 variables independientes. Resultando así, 8 intersecciones establecidas en la tabla 4. Considerando en cada una de las muestras, 30% de glicerol en función a las concentraciones de almidón (0.30 p/p).

Esquema del Diseño Factorial

FACTOR A: almidón de oca (valores mínimo y máximo)

Símbolo	Almidón (%)
A ₁	3
A ₂	5

FACTOR B: aloe vera (valores mínimo y máximo)

Símbolo	Aloe vera (%)
B ₁	2
B ₂	4

FACTOR C: Temperatura de secado

Símbolo	Temperatura (°C)
C ₁	40
C ₂	45

Leyenda:

A₁: Almidón de oca al 3%

A₂: Almidón de oca al 5%

B₁: Aloe vera al 2%

B₂: Aloe vera al 4%

C₁: Temperatura de Secado a 40°C

C₂: Temperatura de Secado a 45°C

ESQUEMA DE DISEÑO FACTORIAL

Tabla 4.

Diseño Experimental para las Películas Biodegradables

FACTORES		TIEMPO DE SECADO		VARIABLE DEPENDIENTE
		20 h		
FACTOR A ALMIDÓN	FACTOR B ALOE VERA	FACTOR C TEMPERATURA DE SECADO		
		C ₁ 40°C	C ₂ 45°C	
A ₁ 3%	B ₁ 2%	T ₁ (A ₁ B ₁ C ₁)	T ₅ (A ₁ B ₁ C ₂)	
A ₂ 5%		T ₂ (A ₂ B ₁ C ₁)	T ₆ (A ₂ B ₁ C ₂)	
A ₁ 3%	B ₂ 4%	T ₃ (A ₁ B ₂ C ₁)	T ₇ (A ₁ B ₂ C ₂)	
A ₂ 5%		T ₄ (A ₂ B ₂ C ₁)	T ₈ (A ₂ B ₂ C ₂)	

Propiedades Mecánicas y
Biodegradables de las Películas
Biodegradables

Nota: Realizado en Software Design Expert 13

Los grupos experimentales se definen de la siguiente manera:

T1: Representa a la película biodegradable formulada con 3% de almidón de oca y 2% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 40°C por un tiempo de secado de 20 horas.

T2: Representa a la película biodegradable formulada con 5% de almidón de oca y 2% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 40°C por un tiempo de secado de 20 horas.

T3: Representa a la película biodegradable formulada con 3% de almidón de oca y 4% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 40°C por un tiempo de secado de 20 horas.

T4: Representa a la película biodegradable formulada con 5% de almidón de oca y 4% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 40°C por un tiempo de secado de 20 horas.

T5: Representa a la película biodegradable formulada con 3% de almidón de oca y 2% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 45°C por un tiempo de secado de 20 horas.

T6: Representa a la película biodegradable formulada con 5% de almidón de oca y 2% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 45°C por un tiempo de secado de 20 horas.

T7: Representa a la película biodegradable formulada con 3% de almidón de oca y 4% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 45°C por un tiempo de secado de 20 horas.

T8: Representa a la película biodegradable formulada con 5% de almidón de oca y 4% de gel de aloe vera, donde se empleó la temperatura de secado a 45°C por un tiempo de secado de 20 horas.

3.6.1. Operacionalización de Variables

Tabla 5.

Operacionalización de las Variables Dependiente e Independientes

1	2	3	4	5	6	7
VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONSTITUTIVA	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Proporción de la Mezcla	Independiente	Proporción adecuada para la fabricación de la Película Biodegradable.	Establecido según las características de la Película Biodegradable.	Porcentaje	Gel de aloe vera Almidón de oca Glicerol	%
Temperatura de Secado	Independiente	La temperatura del aire durante el proceso de secado es el factor más adaptable en un sistema de secado.	Establecido en el panel de control de la estufa.	Temperatura	Temperatura de Secado Experimental	°C
Medición de la Calidad por Pruebas Físicas y Biológicas	Dependiente	1. Grosor de la Película biodegradable.	1. Establecido por el Micrómetro	Espesor	μm (micrómetros)	μm
		2. Habilidad de una sustancia para mezclarse y disolverse en un líquido.	2. Establecido por el % de solubilidad.	Porcentaje	% de solubilidad	%
		3. Capacidad del material para permitir paso del vapor de agua.	3. Medida según norma ASTM E96-05 (método gravimétrico).	Transmisión de vapor	VTVA, PVA	(g·mm)/(h·m ² ·kPa)
		4. La máxima fuerza de tensión que un material puede resistir antes de llegar a su punto de ruptura.	4. Establecido por el analizador de texturas.	Presión	N	N
		5. La descomposición en dióxido de carbono, metano, agua y compuestos inorgánicos o biomasa.	5. Establecido por el % de pérdida de peso según la Norma ISO 20200:2015.	Porcentaje	% Pérdida de Peso	%

3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO

Tabla 6.

Número de Tratamientos según el Software Design Expert 13

Tratamiento	A: ALMIDON DE OCA	B: GEL DE ALOE VERA	C: TEMPERATURA DE SECADO
	%	%	°C
T1	3	2	40
T2	5	2	40
T3	3	4	40
T4	5	4	40
T5	3	2	45
T6	5	2	45
T7	3	4	45
T8	5	4	45

Tabla 7.

Generalización de Factores según el Software Design Expert 13

Factor	Nombre	Unidades	Tipo	Subtipo	Mínimo	Máximo	Coded Low	Coded High	Mean	Std. Dev.
A	almidón de oca	%	Numérico	Contínuo	3.00	5.00	-1↔3.00	+1↔5.00	4.00	1.07
B	gel de aloe vera	%	Numérico	Contínuo	2.00	4.00	-1↔2.00	+1↔4.00	3.00	1.07
C	T° de Secado	°C	Numérico	Contínuo	40.00	45.00	- 1↔40.00	+1↔45.00	42.50	2.67

La tabla 7 presenta un diseño experimental para evaluar el efecto de tres factores: concentración de almidón de oca, concentración de gel de aloe vera y temperatura de secado. Cada factor está definido por su nombre, unidad, rango (mínimo y máximo), valor promedio y desviación estándar, estableciendo los parámetros para el estudio.

Tabla 8.

Modelo del Diseño Factorial 2³

Std	Run	A: ALMIDON DE OCA	B: GEL DE ALOE VERA	C: T° DE SECADO	PRUEBA DE ESPESOR (v)	PRUEBA DE SOLUBILIDAD (w)	PRUEBA DE PERMEABILIDAD (x)	PRUEBA DE COMPRESIÓN (y)	PRUEBA DE BIODEGRABILIDAD (z)
		%	%	°C	μM	% Solubilidad	(g·mm)/(h·m ² ·kPa)	N	% Pérdida de peso
1	1	3	2	40	v _{1.1}	w _{1.1}	x _{1.1}	y _{1.1}	z _{1.1}
2	1	3	2	40	v _{1.2}	w _{1.2}	x _{1.2}	y _{1.2}	z _{1.2}
3	1	3	2	40	v _{1.3}	w _{1.3}	x _{1.3}	y _{1.3}	z _{1.3}
4	2	5	2	40	v _{2.1}	w _{2.1}	x _{2.1}	y _{2.1}	z _{2.1}
5	2	5	2	40	v _{2.2}	w _{2.2}	x _{2.2}	y _{2.2}	z _{2.2}
6	2	5	2	40	v _{2.3}	w _{2.3}	x _{2.3}	y _{2.3}	z _{2.3}
7	5	3	4	40	v _{3.1}	w _{3.1}	x _{3.1}	y _{3.1}	z _{3.1}
8	5	3	4	40	v _{3.2}	w _{3.2}	x _{3.2}	y _{3.2}	z _{3.2}
9	5	3	4	40	v _{3.3}	w _{3.3}	x _{3.3}	y _{3.3}	z _{3.3}
10	4	5	4	40	v _{4.1}	w _{4.1}	x _{4.1}	y _{4.1}	z _{4.1}
11	4	5	4	40	v _{4.2}	w _{4.2}	x _{4.2}	y _{4.2}	z _{4.2}
12	4	5	4	40	v _{4.3}	w _{4.3}	x _{4.3}	y _{4.3}	z _{4.3}
13	6	3	2	45	v _{5.1}	w _{5.1}	x _{5.1}	y _{5.1}	z _{5.1}
14	6	3	2	45	v _{5.2}	w _{5.2}	x _{5.2}	y _{5.2}	z _{5.2}
15	6	3	2	45	v _{5.3}	w _{5.3}	x _{5.3}	y _{5.3}	z _{5.3}
16	7	5	2	45	v _{6.1}	w _{6.1}	x _{6.1}	y _{6.1}	z _{6.1}
17	7	5	2	45	v _{6.2}	w _{6.2}	x _{6.2}	y _{6.2}	z _{6.2}
18	7	5	2	45	v _{6.3}	w _{6.3}	x _{6.3}	y _{6.3}	z _{6.3}
19	8	3	4	45	v _{7.1}	w _{7.1}	x _{7.1}	y _{7.1}	z _{7.1}
20	8	3	4	45	v _{7.2}	w _{7.2}	x _{7.2}	y _{7.2}	z _{7.2}
21	8	3	4	45	v _{7.3}	w _{7.3}	x _{7.3}	y _{7.3}	z _{7.3}
22	3	5	4	45	v _{8.1}	w _{8.1}	x _{8.1}	y _{8.1}	z _{8.1}
23	3	5	4	45	v _{8.2}	w _{8.2}	x _{8.2}	y _{8.2}	z _{8.2}
24	3	5	4	45	v _{8.3}	w _{8.3}	x _{8.3}	y _{8.3}	z _{8.3}

Fuente: Design Expert 13

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de Materia Prima

4.1.1. Oca (*Oxalis tuberosa*)

A. Análisis Químico Proximal de la oca (*Oxalis tuberosa*)

La tabla 9 presenta los resultados de composición químico proximal de la oca (*Oxalis tuberosa*) según los análisis realizados de acuerdo a las metodologías Caya descritas. Estos llegan a ser esenciales para comprender cómo las características nutricionales de la oca (*Oxalis tuberosa*) pueden influir en las propiedades de las películas biodegradables elaboradas a partir de su almidón.

Tabla 9.

Composición Química Proximal por 100 g. de oca (Oxalis tuberosa)

Parámetro	Cantidad (% ±)
Humedad	59.7966 ± 0.7236
Grasas	2.1087 ± 0.9562
Fibra Dietaria Total	8.2465 ± 0.2135
Cenizas	0.4285 ± 0.1665
Proteínas	9.3665 ± 0.0615
Carbohidratos	20.0532 ± 0.2309

Nota: Elaboración Propia

La composición proximal de la oca (*Oxalis tuberosa*) evidencia que el contenido de humedad, lípidos, fibra, cenizas, proteínas y carbohidratos influye en la formación de películas, donde el agua actúa como plastificante, la fibra y proteínas refuerzan la estructura, y el almidón determina la cohesión y propiedades mecánicas mediante la formación de la matriz polimérica.

Los resultados de la composición química proximal de la oca (*Oxalis tuberosa*) mostraron un contenido de humedad de 59.80%, valor inferior al reportado por Castañeta et al. (2022), quienes informaron rangos entre 77.1% y 84.0% en muestras frescas. Asimismo, al compararlo con los valores reportados por Cruz y Perales (2025) para Sacha oca, donde la humedad varía entre 60.33% y 64.70%, se evidencia que el valor obtenido en esta investigación es ligeramente inferior, lo que sugiere una menor retención de agua en la muestra analizada. El valor de 59.80% obtenido propone que las películas elaboradas a partir de almidón de oca con mayor humedad podrían presentar mayor flexibilidad, aunque con menor resistencia mecánica.

El contenido de grasas determinado en esta investigación fue de 2.11%, valor considerado bajo y favorable para la elaboración de películas biodegradables. No obstante, al compararlo con los valores reportados por Cruz y Perales (2025), que oscilan entre 0.19% y 0.26% para Sacha oca, se evidencia que el contenido lipídico en este estudio es mayor, aunque sigue siendo bajo en términos funcionales. De igual manera, en harina de oca se reportan valores de 0.65% (Ccasa, 2024), lo que confirma que el procesamiento reduce significativamente este componente. Un bajo contenido lipídico es deseable, ya que las grasas pueden interferir en la cohesión de la matriz y afectar negativamente las propiedades de barrera del material. Aunque Castañeta et al. (2022) no reportan valores específicos de grasas, se infiere que un contenido reducido favorece la formación de películas más flexibles y con mejor resistencia estructural. Este resultado concuerda con lo señalado por Hermann y Erazo (2015), quienes indican que un bajo contenido de grasas mejora las propiedades mecánicas de los productos derivados del almidón de oca, contribuyendo a un mejor desempeño de las películas biodegradables.

El contenido de fibra dietética total obtenido fue de 8.25%, valor considerablemente superior al reportado por Castañeta et al. (2022), quienes informaron 1.1% en muestras frescas de oca. Asimismo, este valor es muy cercano al reportado en harina de oca (8.2%) según Ccasa (2024), lo que sugiere que este componente se mantiene relativamente estable incluso después del procesamiento. La fibra cumple un rol importante en las propiedades mecánicas de las películas biodegradables, al influir en la rigidez, flexibilidad y resistencia del material. En este sentido, el mayor contenido de fibra observado establece que las películas elaboradas a partir de oca presentan mejores características de resistencia y durabilidad en comparación con aquellas obtenidas de muestras con menor contenido de fibra. Además, la presencia de fibra contribuye de manera significativa a la biodegradabilidad del material, aspecto clave para su aplicación sostenible en procesos industriales.

El contenido de cenizas determinado en las muestras de oca fue de 0.43%, valor considerado bajo y favorable para la elaboración de películas biodegradables. Sin embargo, al compararlo con los valores reportados por Cruz y Perales (2025), que oscilan entre 3.25% y 3.31%, se evidencia una diferencia significativa, indicando una menor presencia de minerales en la muestra

analizada. Un bajo contenido de cenizas indica una menor presencia de minerales no deseados, los cuales podrían interferir con la flexibilidad del material y su capacidad de degradación. Aunque Castañeta et al. (2022) no reportan valores específicos de cenizas, la literatura científica señala que contenidos reducidos contribuyen a mantener adecuadas propiedades estructurales. Además, un contenido reducido de cenizas puede favorecer la estabilidad del material frente a factores externos como la temperatura y la humedad, aspecto relevante para su aplicación en la industria del empaquetado. El contenido de proteínas determinado en las muestras de oca fue de 9.37%, valor relevante para las propiedades de barrera de las películas biodegradables. Al compararlo con los valores reportados por Cruz y Perales (2025), entre 6.95% y 7.26%, se observa un contenido proteico superior en la muestra estudiada, mientras que en harina de oca se reportan valores menores (3.99%) según Ccasa (2024), evidenciando la influencia del procesamiento en la reducción de este componente. Aunque Castañeta et al. (2022) no reportan datos específicos sobre proteínas en la oca, la literatura indica que estas macromoléculas influyen positivamente en las propiedades mecánicas y la flexibilidad de las películas. En este sentido, un contenido proteico de 9.37% propone que las películas elaboradas con esta materia prima podrían presentar mayor resistencia a la tracción y mejor flexibilidad en comparación con aquellas obtenidas a partir de almidones con menor contenido proteico. Asimismo, las proteínas favorecen la retención de agua dentro de la matriz polimérica, lo que puede mejorar la biodegradabilidad del material y su estabilidad en condiciones de humedad.

Finalmente, el contenido de carbohidratos es de 20.05%, lo cual es clave para la formación de las películas biodegradables, ya que el almidón presente en los carbohidratos actúa como un agente cohesivo. Al compararlo con los valores reportados por Cruz y Perales (2025), que varían entre 24.91% y 28.90%, se evidencia un menor contenido de carbohidratos en la muestra analizada, mientras que en harina de oca este valor se incrementa considerablemente hasta 80.5% según Ccasa (2024), debido a la eliminación de humedad durante el procesamiento. Este contenido es comparable con otros estudios previos que sugieren que el almidón de oca es adecuado para la formación de películas biodegradables con buenas propiedades de barrera. En el trabajo de Hermann

y Erazo (2015), se discute cómo la modificación física del almidón mejora las propiedades de gelificación de las películas, lo que contribuye a la resistencia y las propiedades de barrera. El almidón presente en la oca permite la formación de películas con buena cohesión, lo que les otorga rigidez y resistencia a factores como la humedad y la descomposición microbiana.

B. Análisis Físicoquímico de la oca (*Oxalis tuberosa*)

La tabla 10 muestra los resultados físico químicos de la oca (*Oxalis tuberosa*) según los análisis realizados de acuerdo a las metodologías ya descritas.

Tabla 10.

Análisis Físico Químico de la oca (Oxalis tuberosa)

Parámetro	Cantidad
pH	5.8133 ± 0.0153
°Brix	7.0667 ± 0.1528
Acidez Titulable	0.6362 ± 0.0137

Nota: Elaboración Propia

El análisis para la oca (*Oxalis tuberosa*) muestra un pH de 5.8133 ± 0.0153 , un °Brix de 7.0667 ± 0.1528 y una acidez titulable de 0.6362 ± 0.0137 . Estos valores se comparan con los reportados por Chevez (2024), quien obtuvo un pH de 5.44 ± 0.1214 y un °Brix de 5.8 ± 0.1000 para la oca fresca amarilla. Aunque los valores de pH entre ambos estudios son relativamente similares, el °Brix que reporta nuestro resultado es más alto, lo que indica una mayor concentración de azúcares en las muestras de oca analizadas. Este incremento en °Brix está relacionado con las condiciones específicas de almacenamiento y procesamiento de las muestras, como la variedad de oca utilizada o el tratamiento previo de las muestras.

Los estudios de Castañeta (2023) son relevantes al analizar el efecto de la radiación solar sobre las propiedades físicoquímicas de la oca, incluyendo pH, °Brix y acidez titulable. Estos autores reportaron que el °Brix en muestras frescas varió entre 5.4 y 7.6, y que tras 5 días de exposición solar los valores aumentaron significativamente, duplicándose y alcanzando un máximo de 7.6 luego de 10 días. Este comportamiento concuerda con los resultados del presente estudio, donde el °Brix alcanzó 7.0667, evidenciando una tendencia similar de incremento de azúcares. Estos resultados refuerzan que la exposición

solar influye directamente en el aumento de azúcares libres en la oca, mejorando su dulzura y aceptabilidad.

La acidez titulable obtenida fue de 0.6362 ± 0.0137 , valor significativamente mayor al reportado por Chevez (2024), quien registró 0.085 ± 0.0085 . Esta diferencia se llega a asociar con la variedad de oca empleada, así como al manejo y procesamiento de las muestras, dado que la acidez titulable está influenciada por factores como el clima, la variedad y los métodos de conservación. Aunque Castañeta et al. (2022) no observaron variaciones significativas en la acidez titulable tras la exposición solar, las condiciones de secado o almacenamiento aplicadas en este estudio podrían haber contribuido al incremento observado.

Es así como este análisis asegura que el contenido de sólidos solubles, pH y acidez titulable influyen en el comportamiento del almidón, ya que la concentración de sólidos y la presencia de ácidos orgánicos afectan la gelatinización y la cohesión de la matriz polimérica.

4.1.2. Gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

A. Análisis Químico Proximal del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

La tabla 11 presenta los resultados de composición químico proximal del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) según los análisis realizados de acuerdo a las metodologías ya descritas. Estos llegan a ser esenciales para comprender cómo las características nutricionales del gel de aloe vera pueden influir en las propiedades de las películas biodegradables.

Tabla 11.

Composición Química Proximal por 100 g. de gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Parámetro	Cantidad (% \pm)
Humedad	96.7645 ± 0.5460
Grasas	0.1393 ± 0.4811
Fibra Dietaria Total	0.1485 ± 0.1712
Cenizas	0.2817 ± 0.0136
Proteínas	0.6287 ± 0.0308
Carbohidratos	2.0373 ± 0.0795

Nota: Elaboración Propia

El contenido de humedad del gel obtenido fue de $96.76\% \pm 0.5460$, valor elevado que evidencia una alta capacidad de retención de agua, característica favorable para su aplicación en películas biodegradables. Al comparar estos resultados, Di Scala et al. (2012) reportaron un contenido de humedad de $98.93\% \pm 0.06$, indicando una mayor retención de agua en su gel. En contraste, Okafor et al. (2018) obtuvieron un valor menor de $92.46\% \pm 0.637\%$, lo que confirma que las condiciones de extracción y el tipo de gel influyen directamente en este parámetro. Asimismo, Kaur & Bains (2023), a partir de datos recopilados de diversos estudios, reportaron un contenido de humedad de $98.93\% \pm 0.06$, lo que confirma que el gel fresco de aloe vera presenta una elevada capacidad de retención de agua.

El contenido de grasas del gel de aloe vera fue de $0.1393\% \pm 0.4811$, valor bajo y comparable con el reportado por Okafor et al. (2018), quienes encontraron $0.11\% \pm 0.636\%$. Kaur & Bains (2023), a partir de la revisión de diversos estudios, reportaron un contenido aún menor de $0.01\% \pm 0.02\%$. Las diferencias observadas pueden atribuirse a los métodos de extracción y al tipo de gel empleado. No obstante, todos los estudios coinciden en que el gel de aloe vera presenta un bajo contenido de grasas, característica favorable para la elaboración de películas biodegradables, ya que evita interferencias en las propiedades mecánicas y contribuye a mantener una adecuada biodegradabilidad del material.

El contenido de fibra dietaria total del gel de aloe vera fue de $0.1485\% \pm 0.1712$, valor consistente con el reportado por Okafor et al. (2018), quienes obtuvieron $0.16\% \pm 0.024\%$. Kaur & Bains (2023) informaron un contenido ligeramente menor de $0.12\% \pm 1.20\%$. Estas diferencias pueden atribuirse a variaciones en el tipo de aloe vera utilizado y a las metodologías de extracción aplicadas. En general, los estudios coinciden en que el gel presenta una cantidad mínima de fibra dietaria, característica favorable para la elaboración de películas biodegradables, ya que contribuye a la homogeneidad de la matriz y favorece la flexibilidad del material.

En cuanto al contenido de cenizas del gel de aloe vera fue de $0.2817\% \pm 0.0136$, valor superior al reportado por Okafor et al. (2018), quienes obtuvieron $0.17\% \pm 0.0124\%$, y por Kaur & Bains (2023), con $0.16\% \pm 0.02\%$. Esta diferencia puede estar relacionada con la composición mineral del gel o con variaciones

en los métodos de extracción utilizados. No obstante, en todos los estudios el contenido de cenizas se mantiene bajo, lo que indica una limitada presencia de minerales que podrían interferir con la formulación de películas biodegradables. Este bajo contenido resulta favorable, ya que contribuye a evitar rigidez no deseada y favorece mejores propiedades mecánicas del material.

El contenido proteico del gel de aloe vera fue de $0.6287\% \pm 0.0303$, valor superior al reportado por Okafor et al. (2018), quienes informaron $0.22\% \pm 0.022\%$, y al señalado por Kaur & Bains (2023), con $0.12\% \pm 0.01\%$. Estas diferencias pueden atribuirse al tipo de gel empleado y a las condiciones de extracción aplicadas. No obstante, todos los estudios coinciden en que el contenido de proteínas del gel es bajo, característica favorable para la elaboración de películas biodegradables, ya que permite obtener materiales con adecuada resistencia mecánica sin afectar negativamente su capacidad de biodegradación.

Finalmente, el contenido de carbohidratos fue de $2.0373\% \pm 0.0795$, un valor considerablemente más bajo que el $5.66\% \pm 0.00\%$ reportado por Okafor et al. (2018). Kaur & Bains (2023) reportaron 0.66% , un valor más cercano al obtenido. Las diferencias en los valores pueden reflejar la variabilidad en los métodos de extracción y el tipo de gel utilizado. No obstante, todos los trabajos de investigación coinciden en que el gel de aloe vera tiene un contenido relativamente bajo de carbohidratos. Es así como se evidencia que el alto contenido de humedad y polisacáridos hidrofílicos favorece la flexibilidad como plastificante, mientras que sus bajos niveles de lípidos, fibra, cenizas, proteínas y carbohidratos contribuyen a una matriz homogénea y estable sin afectar significativamente la estructura polimérica.

B. Análisis Funcional del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)

La tabla 12 presenta los resultados del análisis funcional del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*), los cuales incluyen la capacidad antioxidante, el pH y la viscosidad reológica. Estos parámetros son fundamentales para evaluar las propiedades funcionales del gel, especialmente en su potencial aplicación en películas biodegradables.

Tabla 12.*Análisis Funcional del gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)*

Parámetro	Cantidad
Capacidad Antioxidante	2.264 ± 0.453 (umol trolox/g)
pH	4.4610 ± 0.0539
Viscosidad Reológica (20°C)	0.0604 ± 0.0737 (Pa.s)

Nota: Elaboración Propia

La capacidad antioxidante del gel de aloe vera fue de 2.264 ± 0.453 μmol trolox/g, valor comparable con estudios previos. Ivan et al. (2024) reportaron 1.236 mM Fe^{2+} /mL en extractos liofilizados, diferencia atribuible al uso de extractos concentrados y a las condiciones de medición, ya que en este estudio se empleó gel en estado puro. Jales et al. (2022) informaron 8.69 mg/g en hidrogeles formulados con carbopol, donde la presencia de aditivos puede influir en la actividad antioxidante. Asimismo, Suriati et al. (2020) destacaron la actividad antioxidante del gel, aunque con unidades distintas. A pesar de las variaciones metodológicas, los resultados confirman el alto potencial antioxidante del gel de aloe vera, favoreciendo su aplicación en películas biodegradables.

El pH del gel de aloe vera determinado en este estudio fue de 4.461 ± 0.0539 , valor inferior al pH de 5.84 reportado por Soltani et al. (2022) para gel fresco. Esta diferencia puede atribuirse a variaciones en el proceso de extracción, almacenamiento y composición del gel, ya que Soltani et al. reportaron una acidez de 0.05% asociada al ácido málico. Asimismo, el pH obtenido es menor al valor de 4.97 informado por Khan et al. (2021) para *Aloe barbadensis Miller*, posiblemente debido a diferencias botánicas y condiciones de cultivo. La presencia de ácidos orgánicos y polisacáridos también influye en la acidez del gel. El pH es un parámetro clave en la formulación de películas biodegradables, ya que condiciona la interacción con otros componentes, como el almidón de oca, afectando la cohesión del material.

La viscosidad reológica del gel de aloe vera obtenida en este estudio fue de 0.0604 Pa·s a 20 °C, valor inferior al reportado por Jales et al. (2022), quienes observaron mayores viscosidades en geles formulados con carbopol frente a aquellos elaborados con hidroxietilcelulosa. Esta diferencia se atribuye al tipo de agente gelificante, ya que el carbopol forma una red tridimensional que

incrementa la viscosidad. En este trabajo, el gel se evaluó en su estado puro, lo que explica la menor viscosidad. Además, la temperatura influye en el comportamiento reológico; mientras que la medición se realizó a 20 °C, Suriati et al. (2020) evaluaron a 7 °C, condición que favorece una mayor viscosidad. Estas variaciones son relevantes en la formulación de películas biodegradables, ya que viscosidades mayores mejoran la resistencia mecánica, mientras que valores menores favorecen la flexibilidad del material.

4.1.3. Almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)

4.1.3.1. Análisis Químico Proximal del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)

La tabla 13 presenta los resultados de composición Químico Proximal del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) según los análisis realizados de acuerdo a las metodologías ya descritas. Estos llegan a ser esenciales para comprender cómo las características presentes en el almidón de oca pueden influir en las propiedades de las películas biodegradables elaboradas a partir de este.

Tabla 13.

Composición Química Proximal por 100 g. de almidón de oca (Oxalis tuberosa)

Compuestos	Cantidad (% ±)
Humedad	13.0674 ± 0.1482
Grasas	0.8995 ± 0.0099
Fibra Dietaria Total	0.6495 ± 0.0096
Cenizas	0.6994 ± 0.1661
Proteínas	1.1586 ± 0.1334
Carbohidratos	83.5256 ± 0.2599

Nota: Elaboración Propia

El contenido de humedad en el almidón de oca obtenido fue de 13.0674 ± 0.1482%, un valor significativamente más bajo que el de la oca fresca. Valcárcel et al. (2020) reportan un 86.79% de humedad en la oca fresca, mientras que Zhu & Cui (2020) obtienen 86.23%. Esta diferencia es esperada, ya que el almidón purificado se somete a un proceso de secado que reduce considerablemente su contenido de agua. De esta forma, la reducción en el contenido de humedad es esencial para la fabricación de películas biodegradables, ya que el exceso de agua podría comprometer la cohesión de la matriz polimérica y afectar las propiedades mecánicas y de solubilidad de las películas. En consecuencia, el valor obtenido

es adecuado, ya que asegura que el almidón esté lo suficientemente seco para su posterior procesamiento y utilización en biopolímeros.

Por otro lado, el contenido de grasas en el almidón de oca fue de $0.8995 \pm 0.0099\%$, un valor más alto que el reportado por Valcárcel et al. (2020), quienes encontraron un 0.72% de grasas. A pesar de que este valor es relativamente bajo, se encuentra por encima de lo reportado en otras investigaciones. Sin embargo, la presencia de grasas en el almidón puede interferir con la formación de la película, ya que las grasas afectan la cohesión y la capacidad de gelificación de la matriz polimérica, lo que podría resultar en una película menos homogénea y con menor resistencia. No obstante, el valor obtenido no es lo suficientemente alto como para comprometer gravemente las propiedades del almidón en la fabricación de las películas biodegradables.

En cuanto a la fibra dietaria total, el contenido obtenido fue de $0.6495 \pm 0.0096\%$, lo que indica una cantidad baja de fibra, similar a lo esperado en un almidón purificado. Valcárcel et al. (2020) reportan un 0.29% de fibra soluble en el almidón de oca, mientras que Zhu & Cui (2020) registran un 6.85% de fibra insoluble en la oca fresca. La diferencia en los valores de fibra puede ser atribuida a las variaciones en las metodologías de extracción y a la variedad de oca utilizada. Sin embargo, la baja cantidad de fibra es favorable para la fabricación de películas biodegradables, ya que la presencia excesiva de fibra podría afectar negativamente la flexibilidad y cohesión de las películas, propiedades esenciales para el rendimiento de los biopolímeros. Así, el valor reportado es adecuado para garantizar la correcta formación y funcionalidad de las películas.

En cuanto al contenido de cenizas, el valor obtenido fue de $0.6994 \pm 0.1661\%$, un valor que es algo más alto que el reportado por Zhu & Cui (2020), quienes encontraron 0.15%, pero cercano al 0.78% encontrado por Valcárcel et al. (2020). Las cenizas indican la presencia de minerales residuales en el almidón, y un bajo contenido de cenizas es aceptable en la fabricación de películas biodegradables, ya que no afecta de manera significativa la formación de la matriz polimérica. Por consiguiente, el valor ligeramente superior en la muestra genera una ligera variabilidad en el proceso de purificación del almidón, aunque sigue estando dentro de un rango aceptable para aplicaciones industriales. Por lo

tanto, no se espera que este contenido de cenizas interfiera en las propiedades funcionales del almidón en la fabricación de biopolímeros.

En cuanto al contenido de proteínas, el valor obtenido fue de $1.1586 \pm 0.1334\%$, que es superior al 0.77% reportado por Valcárcel et al. (2020), pero sigue estando dentro de un rango bajo, lo cual es característico de los almidones purificados. Las proteínas pueden afectar la cohesión de la matriz polimérica y reducir la flexibilidad de las películas biodegradables. No obstante, el valor observado en los resultados sigue estando dentro de un rango que no debería comprometer significativamente las propiedades mecánicas del almidón en la fabricación de biopolímeros. En consecuencia, la diferencia en los valores reportados podría deberse a las características de los tubérculos utilizados y a las diferencias en los métodos de extracción aplicados en cada trabajo.

Finalmente, el contenido de carbohidratos en el almidón de oca fue de $83.5256 \pm 0.2599\%$, un valor que es comparable con el 88.7% reportado por Valcárcel et al. (2020) y el 88.7% de Zhu & Cui (2020). Este alto contenido de carbohidratos es característico del almidón de oca y es ideal para la fabricación de películas biodegradables, ya que los carbohidratos proporcionan la estructura necesaria para la formación de la matriz polimérica. El contenido elevado de carbohidratos asegura que las películas tengan buenas propiedades de gelificación, cohesión y flexibilidad.

El bajo contenido de humedad y componentes minoritarios favorecen una matriz homogénea, mientras que el alto contenido de carbohidratos, principalmente almidón, determina la formación, cohesión y propiedades mecánicas de la red polimérica necesaria para crear una película biodegradable con buenas características.

4.1.3.2. Análisis Funcional del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)

La tabla 14 presenta los resultados del análisis funcional del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*), los cuales incluyen los valores de Amilografía, Viscosidad Reológica, Poder de Hinchamiento, Índice de Solubilidad en Agua, Índice de Absorción de Agua y los porcentajes de Amilosa y Amilopectina. Estos parámetros son fundamentales para evaluar las propiedades funcionales del almidón de oca, especialmente en su potencial aplicación en películas biodegradables.

Tabla 14.*Análisis Funcional del almidón de oca (Oxalis tuberosa)*

Parámetros	Cantidad
Amilografía	1008.472 ± 0.0214 (cP)
Viscosidad Reológica (31°C)	120.821 ± 0.0028 (Pa.s)
PI (Poder de Hinchamiento)	6.2924 ± 0.0094 (g/g)
ISA (Índice de Solubilidad en Agua)	1.4958 ± 0.0042 (%)
IAA (Índice de Absorción de Agua)	6.2484 ± 0.0067 (g/g)
Amilosa	8.82504 ± 0.0016 (%)
Amilopectina	91.17496 ± 0.0019 (%)

Nota: Elaboración Propia

Los resultados de Amilografía del almidón de oca (1008.472 ± 0.0214 cP) fueron considerablemente menores que los reportados por Dini et al. (2024) (6856 cP mediante RVA), lo cual se atribuye a las diferencias en las condiciones experimentales, ya que el RVA evalúa la pasta de almidón y tiende a registrar valores más altos. Asimismo, el contenido de amilosa (11.9%) influye en las propiedades viscoelásticas, incrementando la viscosidad durante la gelatinización (Valcárcel et al., 2020). A pesar de estas diferencias, el almidón de oca presenta propiedades reológicas adecuadas para la elaboración de películas biodegradables, favoreciendo su flexibilidad y estabilidad.

El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) presentó una viscosidad reológica de 120.821 ± 0.0028 Pa·s a 31 °C, evidenciando un comportamiento moderado. Este valor difiere del reportado por Velásquez-Barreto et al. (2021) (5680 cP), debido principalmente a las distintas técnicas de medición (viscoamilógrafo vs. reómetro). Asimismo, la relación amilosa/amilopectina influye en la viscosidad, ya que una mayor proporción de amilopectina se asocia con valores más bajos. Yana (2024) reportó 1680 cP, confirmando que factores como el método de extracción, la variedad del tubérculo y los tratamientos previos influyen en el comportamiento reológico del almidón.

El almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) analizado en este estudio presentó una viscosidad reológica de 120.821 ± 0.0028 Pa·s a 31 °C, lo que indica un comportamiento viscoso moderado. Este valor es considerablemente diferente al reportado por Velásquez-Barreto et al. (2021), quienes encontraron una

viscosidad de 5680 cP, diferencia atribuible principalmente al uso de distintas técnicas de medición, como el viscoamilógrafo frente al reómetro empleado en esta investigación. Asimismo, la composición del almidón, particularmente la relación amilosa/amilopectina, puede influir en la viscosidad, ya que una mayor proporción de amilopectina suele asociarse con valores menores. De forma similar, Yana (2024) reportó 1680 cP, evidenciando que factores como el método de extracción, la variedad de oca y los tratamientos previos influyen significativamente en las propiedades reológicas del almidón.

El poder de hinchamiento (PI) del almidón de oca obtenido en este estudio fue de 6.2924 ± 0.0094 g/g, valor superior al reportado por Perea et al. (2021), quienes encontraron un PI de 4.29 ± 0.01 g/g en almidón de oca modificado con sustitución lipofílica, lo que evidencia que las modificaciones químicas reducen la capacidad de hinchamiento del almidón. De manera similar, Núñez et al. (2023) reportaron un PI de 4.32 ± 0.00 g/g para almidón de oca modificado, también inferior al valor obtenido en este estudio. En contraste, Zhu y Cui (2020) informaron un PI mucho mayor (41.6 ± 0.4 g/g) para almidón de maíz, resaltando diferencias entre fuentes botánicas. Asimismo, Huailapuma (2023) reportó un PI de 7.00 ± 0.020 g/g, ligeramente superior, lo que confirma que el almidón de oca nativo presenta un buen comportamiento de hinchamiento, favorable para aplicaciones como biopelículas.

En cuanto al Índice de solubilidad en agua (ISA), el valor obtenido en este estudio fue de $1.4958 \pm 0.0042\%$, el cual es considerablemente menor al reportado por Perea et al. (2021), quienes encontraron un ISA de $15.10 \pm 0.01\%$ en almidón de oca modificado, evidenciando que las modificaciones lipofílicas incrementan la solubilidad al favorecer la interacción con el agua. De manera similar, Núñez et al. (2023) reportaron un ISA de $14.30 \pm 0.05\%$, valor también superior al obtenido, lo que confirma el efecto de las modificaciones químicas. En contraste, Zhu y Cui (2020) informaron un ISA de $61.0 \pm 1.3\%$ para almidón de maíz, reflejando claras diferencias entre fuentes botánicas. Asimismo, Huailapuma (2023) reportó un ISA de $10.08 \pm 0.025\%$, mayor al del presente estudio, pero inferior al de almidones modificados.

En cuanto al Índice de Absorción de Agua (IAA), el valor obtenido en este estudio fue de 6.2484 ± 0.0067 g/g, el cual es comparable al reportado por Huailapuma (2023), quien encontró un valor de 6.3 g/g para almidón de oca, lo

que indica una capacidad de absorción de agua similar en ambos estudios. En contraste, Perea et al. (2021) reportaron un IAA de 4.22 ± 0.01 g/g para almidón de oca modificado, mientras que Núñez et al. (2023) obtuvieron un valor de 4.20 ± 0.00 g/g, ambos considerablemente menores. Estas diferencias establecen que las modificaciones químicas reducen la capacidad del almidón para retener agua. En este contexto, el almidón de oca nativo presenta una adecuada absorción de agua, lo cual es favorable para su aplicación en biopolímeros biodegradables que requieren buena retención hídrica sin comprometer la flexibilidad y resistencia del material.

El contenido de amilosa del almidón de oca determinado en este estudio fue de $8.82504 \pm 0.0016\%$, valor notablemente inferior al reportado en investigaciones previas, lo que evidencia una menor proporción de este polisacárido en el almidón analizado. Loyo et al. (2025) informaron un contenido de amilosa de $21.3 \pm 0.04\%$, diferencia que fue atribuida a la modificación física del almidón mediante fritura con aire caliente. De manera similar, Zhu & Cui (2019) reportaron un contenido de $31.4 \pm 1.1\%$, lo que ratifica una mayor influencia de la amilosa sobre las propiedades funcionales del almidón. Núñez et al. (2023) y Huailapuma (2023) registraron contenidos de $30.07 \pm 0.59\%$ y $25.79 \pm 0.015\%$, respectivamente, ambos superiores a los obtenidos en esta investigación. Por su parte, Dini et al. (2024) reportaron un valor de $11.9 \pm 0.3\%$, que, aunque más cercano, continúa siendo mayor. Estas variaciones pueden estar asociadas a diferencias en las condiciones de cultivo, métodos de extracción y técnicas de modificación empleadas.

El contenido de amilopectina del almidón de oca fue $91.17496 \pm 0.0019\%$, evidenciando una clara predominancia de esta fracción. Este valor es superior al reportado por Loyo et al. (2025) ($78.7 \pm 0.04\%$), así como a los obtenidos por Zhu & Cui (2019) (68.6%), Núñez et al. (2023) (69.93%) y Huailapuma (2023) ($74.21 \pm 0.010\%$), mientras que Dini et al. (2024) reportaron 88.1%, siendo el más cercano aunque aún inferior. Estas variaciones se atribuyen a diferencias en las condiciones de cultivo, métodos de extracción y tratamientos del almidón. La elevada proporción de amilopectina resulta favorable para la elaboración de biopelículas biodegradables, ya que mejora propiedades como la gelificación, la resistencia mecánica y la solubilidad del material.

4.2. Obtención de Películas Biodegradables

4.2.1. Tratamientos Experimentales y Blancos

La tabla 15 muestra los porcentajes y pesos para cada tratamiento en base a pruebas preliminares para películas biodegradables.

Tabla 15.

Composición de Tratamientos Experimentales y Blancos de Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Tratamiento	Almidón de oca		Gel de aloe vera		Agua Destilada	Glicerol		T° de Secado	Tiempo de Secado	Total	Forma Película
	%	g.	%	g.	g.	%	g.	°C	h	g.	
T _{exp} 1	7	15.4	5	11	188.98	0.3	4.62	40	20	220	SI
T _{exp} 2	5	11	5	11	194.70	0.3	3.30	40	20	220	SI
Blanco T ₁	3	6.6	0	0.0	211.42	0.3	1.98	40	20	220	SI
Blanco T ₂	5	11	0	0.0	205.70	0.3	3.30	40	20	220	SI
Blanco T ₅	3	6.6	0	0.0	211.42	0.3	1.98	45	20	220	SI
Blanco T ₆	5	11	0	0.0	205.70	0.3	3.30	45	20	220	SI

Nota: Elaboración Propia

La tabla 16 muestra los pesos de cada mezcla tras la formación de películas biodegradables de almidón de oca y gel de aloe vera, evidenciando la matriz polimérica donde el almidón aporta estructura y los plastificantes favorecen la cohesión.

Tabla 16.

Pesos de Tratamientos Experimentales y Blancos de Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Tratamiento	Almidón de oca		Gel de aloe vera		Agua Destilada	Glicerol		T° de Secado	Tiempo de Secado	Total	Peso de Película Biod.
	%	g.	%	g.	g.	%	g.	°C	h	g.	g.
T _{exp} 1	7	15.4	5	11	188.98	0.3	4.62	40	20	220	5.726
T _{exp} 2	5	11	5	11	194.70	0.3	3.30	40	20	220	4.823
Blanco T ₁	3	6.6	0	0.0	211.42	0.3	1.98	40	20	220	4.092
Blanco T ₂	5	11	0	0.0	205.70	0.3	3.30	40	20	220	5.114
Blanco T ₅	3	6.6	0	0.0	211.42	0.3	1.98	45	20	220	3.837
Blanco T ₆	5	11	0	0.0	205.70	0.3	3.30	45	20	220	4.827

Nota: Elaboración Propia

Los Tratamientos T_{exp} 1 y T_{exp} 2 se realizaron sin proporciones ni pesos oficiales, evaluando el comportamiento de las mezclas sin parámetros fijos. Los Tratamientos Blancos (T₁, T₂, T₅, T₆) se elaboraron con las proporciones originales, pero eliminando el gel de aloe vera, usando solo almidón de oca, agua destilada y glicerol, con el fin de comparar las propiedades de las películas sin la presencia de gel de aloe vera, manteniendo constantes otros aditivos.

4.2.2. Tratamientos Oficiales

La tabla 17 muestra los porcentajes y pesos para cada tratamiento en base a una mezcla total de 220 g. para cada película biodegradable.

Tabla 17.

Composición Oficial de Tratamientos de Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Tratamiento	Almidón de oca		Gel de aloe vera		Agua Destilada g.	Glicerol		T° de Secado °C	Tiempo de Secado h	Total g.	Forma Película
	%	g.	%	g.		%	g.				
T ₁ (A , B , C)	3	6.6	2	4.4	207.35	0.3	1.98	40	20	220	SI
T ₂ (A , B , C)	5	11	2	4.4	202.62	0.3	3.30	40	20	220	SI
T ₃ (A , B , C)	3	6.6	4	8.8	203.60	0.3	1.98	40	20	220	SI
T ₄ (A , B , C)	5	11	4	8.8	198.90	0.3	3.30	40	20	220	SI
T ₅ (A , B , C)	3	6.6	2	4.4	207.35	0.3	1.98	45	20	220	SI
T ₆ (A , B , C)	5	11	2	4.4	202.62	0.3	3.30	45	20	220	SI
T ₇ (A , B , C)	3	6.6	4	8.8	203.60	0.3	1.98	45	20	220	SI
T ₈ (A , B , C)	5	11	4	8.8	198.90	0.3	3.30	45	20	220	SI

Nota: Elaboración Propia

En la tabla 18 se evidencian los pesos obtenidos para cada mezcla luego de haberse sometido al proceso de formación de las Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*).

Tabla 18.

Pesos Oficiales de Tratamientos de Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Tratamiento	Almidón de oca		Gel de aloe vera		Agua Destilada g.	Glicerol		T° de Secado °C	Tiempo de Secado h	Total g.	Peso de Película Biod.
	%	g.	%	g.		%	g.				g.
T ₁ (A , B , C)	3	6.6	2	4.4	207.35	0.3	1.98	40	20	220	4.271
T ₂ (A , B , C)	5	11	2	4.4	202.62	0.3	3.30	40	20	220	5.338
T ₃ (A , B , C)	3	6.6	4	8.8	203.60	0.3	1.98	40	20	220	4.186
T ₄ (A , B , C)	5	11	4	8.8	198.90	0.3	3.30	40	20	220	5.782
T ₅ (A , B , C)	3	6.6	2	4.4	207.35	0.3	1.98	45	20	220	3.915
T ₆ (A , B , C)	5	11	2	4.4	202.62	0.3	3.30	45	20	220	4.991
T ₇ (A , B , C)	3	6.6	4	8.8	203.60	0.3	1.98	45	20	220	3.763
T ₈ (A , B , C)	5	11	4	8.8	198.90	0.3	3.30	45	20	220	5.317

Nota: Elaboración Propia

Los Tratamientos Oficiales presentados en la Tabla 18 corresponden a las películas biodegradables elaboradas según las proporciones de la metodología de investigación. Las combinaciones de los componentes fueron analizadas bajo condiciones de secado controladas para evaluar las propiedades y comportamientos de las películas frente a diversos parámetros experimentales.

4.3. Caracterización de Películas Biodegradables

La Tabla 19 muestra los resultados obtenidos para cada uno de los análisis realizados a las películas biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*). En ella se presentan los valores Promedio de tres réplicas por tratamiento para los análisis de: Espesor, Solubilidad, Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA), Compresión y Biodegradabilidad correspondientes a los tratamientos experimentales, blancos y formulaciones oficiales evaluadas. Estos resultados permiten caracterizar las propiedades de las distintas variantes estudiadas, y constituyen la base para el posterior análisis estadístico mediante ANOVA.

Tabla 19.

Resultados de cada análisis de las Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Tratamiento	Espesor (μ)	Solubilidad (%)	PVA (g·mm)/(h·m ² ·kPa)	Compresión (N)	Biodegradabilidad (%)
T_{exp 1}	15.3887 ± 0.0156	29.6513 ± 0.0183	0.6070 ± 0.0036	4.9443 ± 0.0302	53.9163 ± 0.0257
T_{exp 2}	7.4693 ± 0.0106	33.5003 ± 0.0285	0.2517 ± 0.0047	2.6743 ± 0.0276	96.4823 ± 0.0160
Blanco T₁	6.9457 ± 0.0115	29.1700 ± 0.0181	0.2378 ± 0.0029	1.4063 ± 0.0230	99.9817 ± 0.0251
Blanco T₂	12.4947 ± 0.0262	24.7740 ± 0.0349	0.2737 ± 0.0046	1.9273 ± 0.0235	88.2519 ± 0.0105
Blanco T₅	6.7473 ± 0.0095	29.6720 ± 0.0249	0.1775 ± 0.0033	1.3900 ± 0.0137	99.9873 ± 0.0219
Blanco T₆	11.9443 ± 0.0117	24.4530 ± 0.0241	0.2834 ± 0.0048	1.6460 ± 0.0121	79.8541 ± 0.0165
T₁	6.9250 ± 0.0503	31.9637 ± 0.0140	0.2487 ± 0.0025	2.1473 ± 0.0327	92.1190 ± 0.0075
T₂	7.8397 ± 0.0718	29.7597 ± 0.0290	0.2997 ± 0.0031	2.3077 ± 0.0144	83.3477 ± 0.0196
T₃	6.6060 ± 0.0245	30.2257 ± 0.0564	0.2243 ± 0.0031	2.3843 ± 0.0117	88.3670 ± 0.0223
T₄	13.1833 ± 0.2085	27.1420 ± 0.0345	0.4533 ± 0.0032	3.4570 ± 0.0171	73.4610 ± 0.0355
T₅	6.0667 ± 0.0772	33.7293 ± 0.0587	0.6257 ± 0.0031	1.8877 ± 0.0155	99.4723 ± 0.0194
T₆	6.7577 ± 0.0846	31.2887 ± 0.0032	0.2177 ± 0.0042	2.2580 ± 0.0137	91.1400 ± 0.0235
T₇	6.5390 ± 0.0573	35.1833 ± 0.0119	0.2487 ± 0.0035	2.1713 ± 0.0295	96.7400 ± 0.0296
T₈	13.2923 ± 0.0912	30.8037 ± 0.0123	0.4343 ± 0.0035	3.3473 ± 0.0180	78.5733 ± 0.0078

Nota: Elaboración Propia

Para el análisis de Espesor:

El Texp 1, con $15.3887 \pm 0.0156 \mu\text{m}$, presentó el mayor espesor, indicando que la combinación de 7% de almidón de oca y 5% de gel de aloe vera, junto con un secado a 40°C durante 20 horas, favoreció la formación de una película gruesa y resistente. Así, Texp 2, con $7.4693 \pm 0.0106 \mu\text{m}$, mostró una película más delgada, por la mayor cantidad de agua, que diluyó los componentes, resultando en una película menos densa. En los blancos, Blanco T1, con $6.9457 \pm 0.0115 \mu\text{m}$, mostró un espesor bajo, ya que no contenía gel de aloe vera, limitando la formación de una capa más gruesa. Blanco T2, con $12.4947 \pm 0.0262 \mu\text{m}$, presentó un espesor mayor debido al 5% de almidón de oca, favoreciendo una película más gruesa. Blanco T5, con $6.0667 \pm 0.0772 \mu\text{m}$, mostró un espesor bajo debido al secado a 45°C , que no permitió una acumulación suficiente de material, mientras que Blanco T6, con $6.7577 \pm 0.0846 \mu\text{m}$, inferior a los otros tratamientos.

En los tratamientos oficiales, T1, con $6.9250 \pm 0.0503 \mu\text{m}$, presentó una película delgada, mientras que T2, con $7.8397 \pm 0.0718 \mu\text{m}$, mostró un espesor ligeramente mayor, favorecido por la mayor concentración de almidón de oca (5%). T3, con $6.6060 \pm 0.0245 \mu\text{m}$, similar al de T1, lo que indica que la combinación de ingredientes y el secado no favorecieron una película gruesa. T4, con $13.1833 \pm 0.2085 \mu\text{m}$, destacó por su espesor debido a la combinación de 5% de almidón y 4% de gel, junto con el secado a 40°C . T8, con $13.2923 \pm 0.0912 \mu\text{m}$, presentó el mayor espesor entre los tratamientos oficiales, similar a T4, lo que propone que el secado a 45°C y la mayor concentración de ingredientes favorecieron una película gruesa y resistente. Por lo tanto, T4 y T8, con $13.1833 \pm 0.2085 \mu\text{m}$ y $13.2923 \pm 0.0912 \mu\text{m}$, respectivamente, fueron los tratamientos más efectivos para obtener películas gruesas y resistentes.

Los resultados obtenidos en los tratamientos oficiales T4 ($13.1833 \mu\text{m} \pm 0.2085$) y T8 ($13.2923 \mu\text{m} \pm 0.0912$) muestran espesores considerablemente menores en comparación con los estudios previos. Abd et al. (2022) reportaron un espesor de $512.7 \mu\text{m}$ con un 50% de aloe vera Gel, un valor mucho más alto que el alcanzado en este estudio. Este aumento significativo en el espesor se atribuye a la alta concentración de aloe vera Gel, que mejora la cohesión y la estabilidad de la película. Por otro lado, Rajamehala et al. (2024) obtuvieron un espesor de $50 \mu\text{m}$, que también supera los resultados de T4 y T8, lo que corrobora que el uso de aloe vera Gel como plastificante, aunque en menor concentración, contribuye a un mayor espesor en sus

bioplásticos. Finalmente, Huailapuma (2023) reporta espesores de 150 μm a 170 μm , que también son mayores que los obtenidos en este trabajo, lo que indica que la combinación de almidón de oca y Pectina de cáscara de naranja tiene un efecto limitante en el espesor final de las películas, en comparación con el uso de aloe vera Gel. Se destaca que la adición del gel de aloe vera mejora significativamente el espesor de las biopelículas en comparación con los tratamientos realizados.

La Tabla 20 presenta los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) para el Análisis de Espesor, donde se incluyen los efectos principales del almidón de oca (A), el gel de aloe vera (B) y la temperatura de secado (C), así como sus interacciones.

Tabla 20.

Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Espesor de las Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

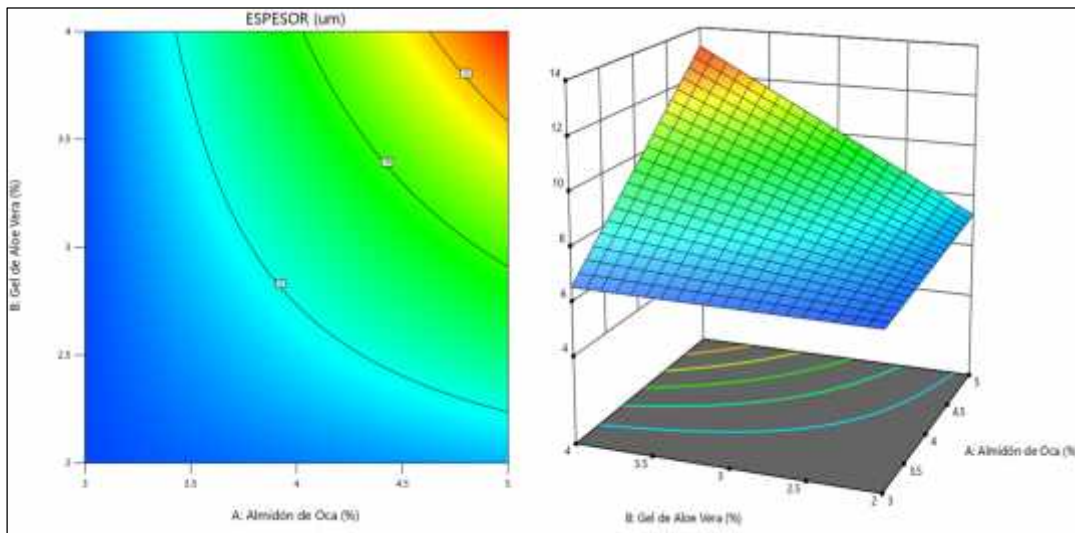
Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Modelo	192.32	5	38.46	3240.15	< 0.0001	Significativo
A-almidón de oca	83.66	1	83.66	7047.27	< 0.0001	
B-gel de aloe vera	54.29	1	54.29	4572.82	< 0.0001	
C-temperatura de secado	1.35	1	1.35	113.84	< 0.0001	
AB	51.55	1	51.55	4342.69	< 0.0001	
BC	1.47	1	1.47	124.13	< 0.0001	

El ANOVA realizado sirve para determinar si existe significancia entre el empleo del almidón de oca, el gel de aloe vera y las temperaturas en el espesor de las películas biodegradables. Por ende, con el análisis hecho, se demuestra que el modelo para Espesor es altamente significativo ($p < 0.0001$), indicando que los factores estudiados explican adecuadamente su variación. Los efectos principales A (almidón de oca) y B (gel de aloe vera) resultaron altamente significativos, mientras que C (Temperatura) presentó un efecto significativo pero menor. Además, las interacciones AB y BC también fueron significativas, evidenciando que el comportamiento del espesor depende tanto de los factores individuales como de su combinación.

El modelo ajustado para el análisis de $\text{Espesor} = 8.40 + 1.87A + 1.50B - 0.2373C + 1.47AB + 0.2478BC$, indica que los coeficientes positivos de A y B reflejan un aumento del espesor cuando se incrementa la proporción de almidón de oca y Gel de aloe vera, debido a la mayor densidad y viscosidad de la matriz polimérica. El coeficiente negativo de C apunta que mayores temperaturas de secado generan películas ligeramente más delgadas por una evaporación más rápida del agua. La interacción AB presenta uno de los mayores aportes positivos, lo que evidencia un efecto sinérgico cuando ambos componentes aumentan simultáneamente.

Figura 8.

Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Espesor de las Películas Biodegradables



Los gráficos de contorno muestran claramente que las zonas de mayor espesor se localizan en combinaciones altas de A y B, mientras que los valores más bajos aparecen cuando ambos factores se encuentran en niveles reducidos. La superficie 3D confirma este comportamiento al mostrar un incremento pronunciado del espesor hacia la zona donde el almidón de oca y gel de aloe vera son máximos, mientras que el efecto de la Temperatura se refleja como una ligera inclinación descendente en la superficie. En conjunto, los resultados indican que la formulación influye de manera directa y contundente en el espesor final de las películas, siendo la combinación de almidón de oca y gel de aloe vera el factor determinante.

Para el análisis de Solubilidad:

En los tratamientos experimentales (Texp), el Texp 1, con $29.6513 \pm 0.0183\%$, presentó una solubilidad moderada, atribuida a la combinación de 7% de almidón de oca y 5% de gel de aloe vera, secado a 40°C , lo que favoreció la formación de una película parcialmente soluble. En contraste, Texp 2, con $33.5003 \pm 0.0285\%$, mostró una solubilidad más alta, debido a la mayor proporción de agua y la mezcla de 5% de almidón y 5% de Gel, lo que resultó en una película más soluble. En los blancos, Blanco T1, con $29.1700 \pm 0.0181\%$, mostró una solubilidad similar a Texp 1, debido a su baja concentración de almidón (3%) y la ausencia de Gel, limitando la solubilidad en comparación con otros tratamientos. Blanco T2, con $24.7740 \pm 0.0349\%$, presentó una solubilidad más baja, atribuida al 5% de almidón, lo que favoreció una capa más resistente y menos soluble. Blanco T5, con $29.6720 \pm 0.0249\%$, mostró una solubilidad intermedia, mientras que Blanco T6, con $24.4530 \pm 0.0241\%$, presentó una solubilidad más baja debido al secado a 45°C , que favoreció la resistencia en lugar de la solubilidad.

En los tratamientos oficiales, T1, con $31.9637 \pm 0.0140\%$, presentó una solubilidad moderada, mientras que T2, con $29.7597 \pm 0.0290\%$, mostró una solubilidad ligeramente inferior debido a la mayor concentración de almidón (5%) y gel de aloe vera (2%). T3, con $30.2257 \pm 0.0564\%$, presentó una solubilidad alta. T4, con $27.1420 \pm 0.0345\%$, mostró una solubilidad más baja debido a la combinación de almidón (5%) y Gel (4%). T5, con $33.7293 \pm 0.0587\%$, presentó una solubilidad alta, lo que establece que el secado a 45°C y la mezcla de ingredientes favorecieron la solubilidad. T6, con $31.2887 \pm 0.0032\%$, presentó una solubilidad similar a T1, mientras que T7, con $35.1833 \pm 0.0119\%$, mostró la mayor solubilidad de todos los tratamientos. Finalmente, T8, con $30.8037 \pm 0.0123\%$, presentó una solubilidad moderada. Las mejores formulaciones fueron T7 y T5, con $35.1833 \pm 0.0119\%$ y $33.7293 \pm 0.0587\%$, respectivamente, debido a sus altas solubilidades, lo que las convierte en opciones de biodegradabilidad rápida.

En comparación a los tratamientos T7 (35.18%) y T5 (33.73%), que mostraron las solubilidades más altas, se destacan ciertos patrones en la literatura revisada. El estudio de Peralta et al. (2025) reporta una solubilidad de 99.23% en el tratamiento T4-50, que es notablemente superior, lo que podría atribuirse a las condiciones específicas de secado y la mezcla de ingredientes como el almidón de oca y la pectina, que favorecen la solubilidad (Peralta et al., 2025). Sin embargo, la solubilidad

alcanzada en este estudio, especialmente para T7 y T5, si bien más baja, sigue siendo significativa en comparación con los 63.71% reportados por Pico et al. (2022) para las películas de almidón de oca, es así que los tratamientos empleados alcanzan una solubilidad competitiva a pesar de las diferencias en la metodología y la concentración de los componentes (Pico et al., 2022). En el caso de Manabu et al. (2021), el tratamiento con un grado de sustitución (DS) de 0.6 presentó una solubilidad de 20.31%, mucho más baja que los resultados obtenidos en este estudio, lo que resalta la influencia de la composición del almidón y los plásticos en la solubilidad (Manabu et al., 2021). Así, aunque los tratamientos T7 y T5 no alcanzan los valores más altos observados en otros estudios, siguen siendo efectivos para aplicaciones donde se requiera una biodegradabilidad moderada a rápida, siendo superiores en solubilidad frente a otros trabajos con solubilidades más bajas.

La Tabla 21 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) para el Análisis de Solubilidad, donde se incluyen los efectos principales del almidón de oca (A), el gel de aloe vera (B) y la Temperatura de secado (C), así como sus interacciones.

Tabla 21.

Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Solubilidad de las Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Modelo	1217.05	5	243.41	238.10	< 0.0001	Significativo
A-almidón de oca	153.14	1	153.14	149.80	< 0.0001	
B-gel de aloe vera	446.69	1	446.69	436.96	< 0.0001	
C-temperatura de secado	1.42	1	1.42	1.39	0.2536	
AB	167.72	1	167.72	164.06	< 0.0001	
AC	448.08	1	448.08	438.31	< 0.0001	

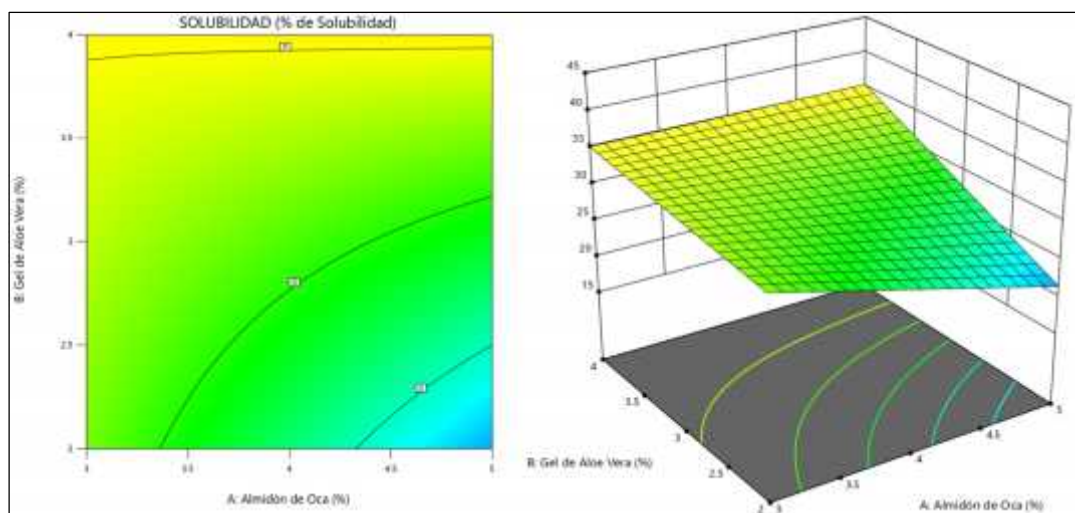
El ANOVA realizado sirve para determinar si existe significancia entre el empleo del almidón de oca, el gel de aloe vera y las temperaturas en la solubilidad de las películas biodegradables. Por ende, con el análisis hecho, se demuestra que el modelo para Solubilidad es altamente significativo ($p < 0.0001$), lo que confirma que los factores

evaluados explican adecuadamente la variación observada. Los efectos principales A (almidón de oca) y B (gel de aloe vera) resultaron altamente significativos, mientras que C (temperatura) no mostró efecto significativo ($p = 0.2536$). Asimismo, las interacciones AB y AC fueron altamente significativas, lo que evidencia que la solubilidad depende fuertemente de combinaciones específicas entre los factores.

El modelo ajustado para este análisis fue: $\text{Solubilidad} = 31.01 - 2.53A + 4.31B + 0.2434C + 2.64AB + 4.32AC$. Los coeficientes muestran que el almidón de oca (A) disminuye la solubilidad (coeficiente negativo), lo que es coherente con una matriz más densa y menos susceptible a disolución. Por el contrario, el gel de aloe vera (B) incrementa significativamente la solubilidad debido a la presencia de polisacáridos más hidrofílicos. Aunque la Temperatura (C) no fue significativa como efecto individual, su presencia dentro de la interacción AC indica que la temperatura modifica el efecto del almidón de oca sobre esta propiedad. La interacción AB también refuerza que la combinación simultánea de ambos componentes altera la solubilidad más allá de los efectos individuales.

Figura 9.

Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Solubilidad de las Películas Biodegradables



Los gráficos de contorno muestran que la solubilidad aumenta en las zonas donde B es alto, mientras disminuye cuando A aumenta, reflejando directamente los signos de los coeficientes del modelo. La superficie 3D confirma este comportamiento al evidenciar regiones de máxima solubilidad cuando se incrementa el gel de aloe vera y se reducen los niveles de almidón de oca. Además, la pendiente leve asociada a la Temperatura es coherente con su efecto no significativo como factor principal,

aunque con influencia cuando interactúa con el almidón de oca. En conjunto, los resultados indican que la solubilidad está fuertemente determinada por la composición de la mezcla, especialmente por el contenido de aloe vera y por las interacciones entre factores.

Para el análisis de Permeabilidad al Vapor de Agua:

En los tratamientos experimentales, el Texp 1 presentó el valor más alto de permeabilidad con 0.6070 ± 0.0036 g·mm/(h·m²·kPa), revelando una película con baja capacidad de barrera frente al vapor de agua, debido a la mayor proporción de gel y almidón de oca que facilita el paso del vapor. En contraste, Texp 2, con 0.2517 ± 0.0047 g·mm/(h·m²·kPa), mostró una permeabilidad considerablemente menor, atribuida a una formulación más equilibrada y una matriz más compacta. En los blancos, Blanco T1, con 0.2378 ± 0.0029 g·mm/(h·m²·kPa), presentó una permeabilidad moderada, relacionada con la ausencia de gel y menor hidrofiliidad. Blanco T2, con 0.2737 ± 0.0046 g·mm/(h·m²·kPa), mostró una permeabilidad ligeramente mayor, asociada al incremento de almidón. Blanco T5, con 0.1775 ± 0.0033 g·mm/(h·m²·kPa), registró el valor más bajo, mientras que Blanco T6, con 0.2834 ± 0.0048 g·mm/(h·m²·kPa), evidenció mayor permeabilidad, lo que indica que el aumento de almidón de oca sin gel de aloe vera no mejoró la propiedad barrera. En los tratamientos oficiales, T1, con 0.2487 ± 0.0025 g·mm/(h·m²·kPa), presentó un comportamiento intermedio, mientras que T2, con 0.2997 ± 0.0031 g·mm/(h·m²·kPa), evidenció mayor permeabilidad debido a la mayor concentración de almidón. T3, con 0.2243 ± 0.0031 g·mm/(h·m²·kPa), mostró una reducción en la permeabilidad, atribuida a una mejor interacción entre el almidón y el gel. T4, con 0.4533 ± 0.0032 g·mm/(h·m²·kPa), presentó una permeabilidad elevada, mientras que T5, con 0.6257 ± 0.0031 g·mm/(h·m²·kPa), mostró la mayor permeabilidad. T6, con 0.2177 ± 0.0042 g·mm/(h·m²·kPa), presentó una de las menores permeabilidades, una mejor propiedad barrera, similar a T3. Finalmente, T8, con 0.4343 ± 0.0035 g·mm/(h·m²·kPa), mostró mayor permeabilidad. Los tratamientos con mejor desempeño en cuanto a baja permeabilidad al vapor de agua fueron T3 y T6, con 0.2243 ± 0.0031 g·mm/(h·m²·kPa) y 0.2177 ± 0.0042 g·mm/(h·m²·kPa), respectivamente.

Así, al analizar los resultados y los de diversas investigaciones, se observa una variabilidad considerable en la capacidad de barrera de los materiales evaluados. Los

mejores tratamientos de esta investigación, T3 (0.2243 ± 0.0031 g·mm/(h·m²·kPa)) y T6 (0.2177 ± 0.0042 g·mm/(h·m²·kPa)), presentan una baja permeabilidad, lo que refleja una excelente capacidad para evitar la transferencia de vapor de agua. Al comparar estos resultados con los de Díaz (2021), quien reporta un valor de 0.00000101 g·mm/(h·m²·kPa), se observa que la capacidad de barrera de las películas de almidón de cáscara de plátano es aún más eficiente en términos de impermeabilidad al vapor de agua. En contraste, Caldas (2019) presenta un rango de 0.26 g·mm/(h·m²·kPa), considerablemente más alto, estableciendo una menor efectividad en la barrera al vapor de agua, debido a la mayor concentración de glicerol en su formulación. Finalmente, el estudio de Puca et al. (2022) reporta un valor de 0.000001839 g·mm/(h·m²·kPa), que, aunque ligeramente superior al de Díaz (2021), demuestra una excelente capacidad barrera, similar a los resultados obtenidos en esta investigación, indicando que el uso de grafeno con almidón de papa y aloe vera contribuye a mejorar las propiedades de barrera frente al vapor de agua.

La Tabla 22 muestran los resultados derivados de la aplicación del análisis de varianza (ANOVA). para el Análisis de Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA), donde se evalúan los efectos principales del almidón de oca (A), el gel de aloe vera (B), la Temperatura de secado (C) y sus interacciones.

Tabla 22.

Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Permeabilidad al Vapor de Agua de las Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

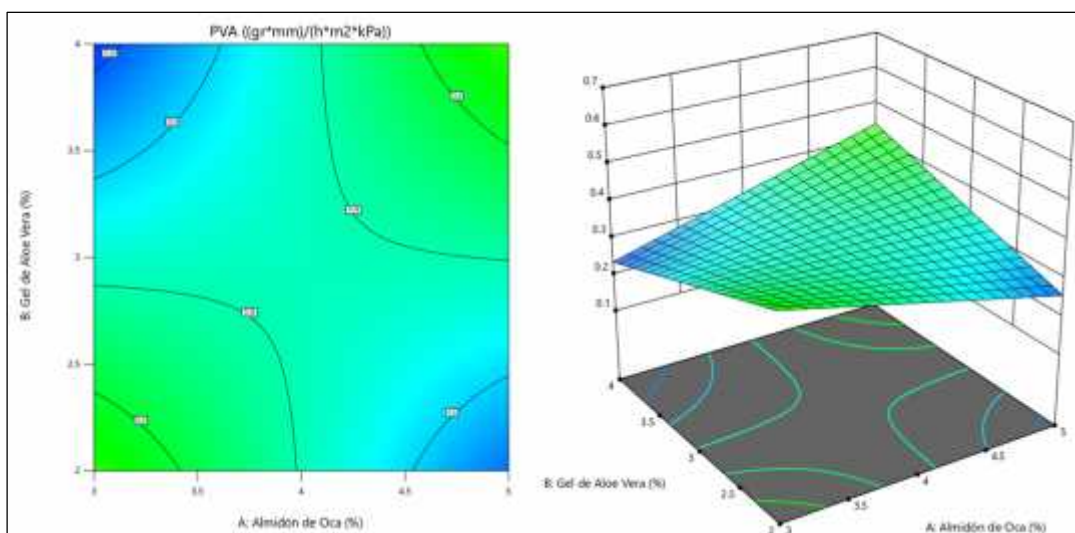
Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Modelo	0.3848	6	0.0641	16.78	< 0.0001	Significativo
A-almidón de oca	0.0012	1	0.0012	0.3263	0.5753	
B-gel de aloe vera	0.0004	1	0.0004	0.0943	0.7625	
C-temperatura de secado	0.0338	1	0.0338	8.85	0.0085	
AB	0.2233	1	0.2233	58.43	< 0.0001	
AC	0.0946	1	0.0946	24.76	0.0001	
BC	0.0315	1	0.0315	8.23	0.0106	

El ANOVA realizado sirve para determinar si existe significancia entre el empleo del almidón de oca, el gel de aloe vera y las temperaturas en el nivel de permeabilidad al vapor de agua de las películas biodegradables. Por ende, con el análisis hecho, se demuestra que el modelo para PVA es altamente significativo ($p < 0.0001$), confirmando que los factores evaluados contribuyen a explicar la variabilidad en esta propiedad. Sin embargo, los efectos principales A (almidón de oca) y B (gel de aloe vera) no fueron significativos ($p > 0.5$), indicando que por sí solos no ejercen un efecto claro sobre la permeabilidad. En contraste, la temperatura de secado (C) sí mostró un efecto significativo, al igual que las interacciones AB, AC y BC, las cuales representan la mayor contribución al modelo. Esto evidencia que la permeabilidad depende principalmente de las combinaciones entre factores, más que de sus efectos individuales.

El modelo ajustado fue: $PVA = 0.3440 + 0.0072A - 0.0039B + 0.0375C + 0.0965AB - 0.0628AC - 0.0362BC$. Los coeficientes pequeños para A y B explican su falta de significancia; sin embargo, el coeficiente positivo de C (+0.0375) indica que temperaturas de secado más elevadas aumentan la permeabilidad. Las interacciones AB, AC y BC, con coeficientes de mayor magnitud (especialmente AB, positivo), demuestran que la combinación simultánea de factores puede incrementar o reducir la PVA dependiendo del punto experimental, lo que refleja un comportamiento no lineal y dependiente de sinergias o antagonismos entre los componentes.

Figura 10.

Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Permeabilidad al Vapor de Agua de las Películas Biodegradables



Los gráficos de contorno muestran zonas diferenciadas donde la Permeabilidad al Vapor de Agua aumenta o disminuye en función de combinaciones específicas de almidón de oca y gel de aloe vera, lo que coincide con la fuerte presencia de interacciones en el modelo. La superficie 3D confirma este patrón al mostrar una topografía irregular, caracterizada por “crestas” y “valles”, especialmente asociadas al término AB, que domina el comportamiento de la variable. Además, la inclinación de la superficie en función de la temperatura es coherente con el coeficiente positivo de C, indicando mayores valores de PVA a temperaturas más altas. En conjunto, los resultados confirman que la permeabilidad al vapor de agua no depende de un solo factor, sino del efecto conjunto de los tres parámetros del sistema.

Para el análisis de Compresión:

Los resultados de la resistencia a la compresión evidencian diferencias marcadas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento experimental Texp 1 presentó la mayor resistencia, con un valor de 4.9443 ± 0.0302 N, lo que indica que la combinación de 7% de almidón y 5% de gel, junto con un secado a 40 °C, favorecieron la formación de una película más fuerte y resistente; en contraste, Texp 2 alcanzó 2.6743 ± 0.0276 N, mostrando una resistencia menor al emplear 5% de almidón y 5% de gel. En cuanto a los blancos, el Blanco T1 presentó la menor resistencia (1.4063 ± 0.0230 N), atribuida a la baja concentración de almidón y a la ausencia de gel, mientras que el Blanco T2 incrementó su resistencia hasta 1.9273 ± 0.0235 N debido al aumento del almidón al 5%; parecidos al Blanco T5 (1.3900 ± 0.0137 N), y ligeramente superiores en el Blanco T6 (1.6460 ± 0.0121 N), aunque todos se mantuvieron por debajo de los tratamientos experimentales.

Respecto a los tratamientos oficiales, T1 presentó una resistencia moderada de 2.1473 ± 0.0327 N, similar a la de los blancos, mientras que T2 mostró un valor mayor de 2.3077 ± 0.0144 N, asociado a la mayor concentración de almidón (5%); T3 alcanzó 2.3843 ± 0.0117 N, indicando que la combinación de 3% de almidón y 4% de gel favoreció la resistencia. El tratamiento T4 destacó con 3.4570 ± 0.0171 N, atribuible a la combinación de 5% de almidón y 4% de gel y al secado a 40 °C; por el contrario, T5 presentó una baja resistencia de 1.8877 ± 0.0155 N debido al uso de 3% de almidón y secado a 45 °C, mientras que T6 y T7 mostraron valores intermedios de 2.2580 ± 0.0137 N y 2.1713 ± 0.0295 N, respectivamente. Finalmente, T8 alcanzó 3.3473 ± 0.0180 N, valor comparable al de T4, confirmando que las formulaciones

con 5% de almidón y 4% de gel generaron las películas con mayor resistencia a la compresión.

En la evaluación de compresión realizada con texturómetro Brookfield LFRA 1500 y sonda plana TA39 de 2 mm de diámetro, los tratamientos de mayor resistencia fueron T4 (3.4570 N) y T8 (3.3473 N), soportando mayores cargas durante el ensayo instrumentado, mismos valores equivalentes a 1.10 y 1.07 MPa, respectivamente, siendo comparables con reportes en MPa. En películas termoplásticas de almidón con gel de aloe vera, Abd Karim et al. (2022) aumentaron la resistencia de 1.03 a 9.14 MPa y el módulo de 51.92 a 769.00 MPa, atribuyéndolo a enlaces de hidrógeno y mayor cristalinidad; bajo esa lógica, los esfuerzos compresivos de T4–T8 están bajo el rango mecánico descrito para matrices ricas en almidón. Frente a películas celulósicas regeneradas, Huang (2024) informó resistencias mayores (85.00 ± 3.26 MPa), debido a redes de celulosa densas y reforzadas. En ensayos expresados como fuerza máxima, Quineche (2018) reportó 5.513–7.847 N, equivalentes a 1.75–2.50 MPa con la misma sonda TA39, mayores a T4–T8, asociados a mayor disipación de carga por plastificación y compactación.

La Tabla 23 expone los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) para el Análisis de Compresión, donde se incluyen los efectos principales del almidón de oca (A), el gel de aloe vera (B), la Temperatura de secado (C) y la interacción AB.

Tabla 23.

Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Compresión de las Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	7.01	4	1.75	696.43	< 0.0001
A-almidón de oca	2.90	1	2.90	1151.38	< 0.0001
B-gel de aloe vera	2.86	1	2.86	1134.87	< 0.0001
C-temperatura de secado	0.1498	1	0.1498	59.54	< 0.0001
AB	1.11	1	1.11	439.93	< 0.0001

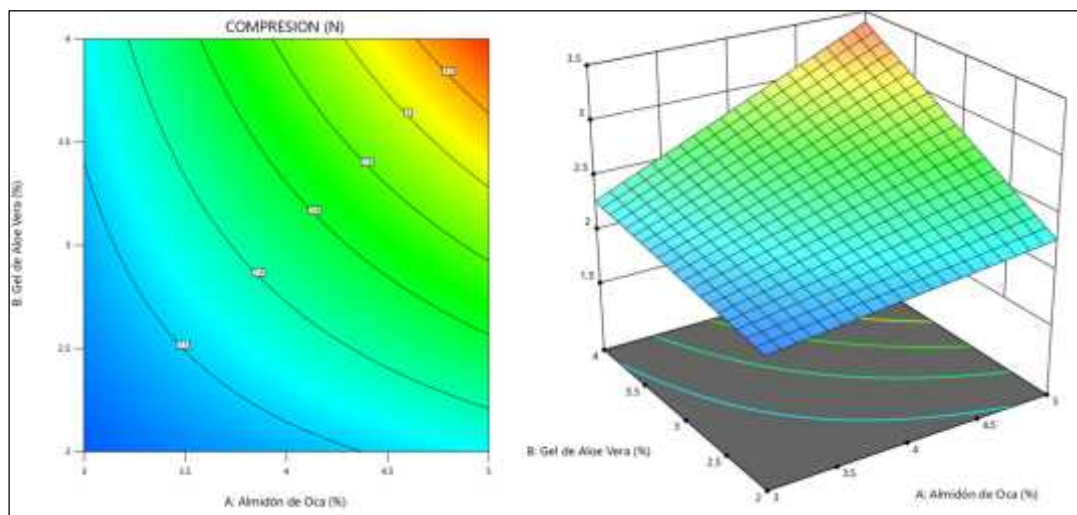
El ANOVA realizado sirve para determinar si existe significancia entre el empleo del almidón de oca, el gel de aloe vera y las temperaturas en el nivel de compresión de

las películas biodegradables. Por ende, con el análisis hecho, se demuestra que el modelo para Compresión es altamente significativo ($p < 0.0001$), lo que confirma que los factores seleccionados explican adecuadamente la variabilidad observada en esta propiedad mecánica. Todos los efectos principales A (almidón de oca), B (gel de aloe vera) y C (Temperatura) mostraron significancia estadística ($p < 0.0001$), así como la interacción AB, lo que evidencia que tanto los factores individuales como su combinación influyen directamente en la resistencia a la compresión de las películas.

El modelo ajustado para esta variable fue: $\text{Compresión} = 2.50 + 0.3474A + 0.3449B - 0.0790C + 0.2148 AB$. Los coeficientes positivos de A y B indican que incrementos en el contenido de almidón y de gel aumentan la resistencia mecánica, debido a la mayor formación de redes poliméricas y a la cohesión estructural que aportan ambos componentes. El coeficiente negativo de C señala que temperaturas más altas generan películas ligeramente menos resistentes, probablemente por una estructura más rígida y frágil derivada del secado acelerado. La interacción AB, también positiva, indica que cuando ambos componentes aumentan simultáneamente, la resistencia mecánica aumenta más de lo esperado por los efectos individuales.

Figura 11.

Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Compresión de las Películas Biodegradables



Los gráficos de contorno confirman que las máximas fuerzas de compresión se alcanzan en la zona donde A y B se encuentran en niveles elevados, mientras que los valores más bajos aparecen cuando ambos factores están en sus niveles mínimos. La superficie 3D refuerza este patrón al mostrar una elevación pronunciada hacia la

región de alto almidón y alto aloe vera, junto con una inclinación descendente asociada al aumento de la temperatura, coherente con su coeficiente negativo en el modelo. En conjunto, los resultados muestran que la resistencia a compresión depende directamente de la formulación polimérica y que la combinación de almidón y gel de aloe vera es determinante en el desempeño mecánico de las películas.

Para el análisis de Biodegradabilidad:

Las películas fueron evaluadas durante un periodo de 30 días mediante mediciones interdiarias de peso; sin embargo, los resultados analizados corresponden al día 15, debido a que al día 30 todas las películas se encontraban completamente biodegradadas.

El tratamiento experimental Texp 1 presentó una biodegradabilidad relativamente baja de $53.9163\% \pm 0.0257$, lo que indica que la combinación de 7% de almidón de oca y 5% de gel de aloe vera generó una película más resistente, limitando su capacidad de biodegradación; en contraste, Texp 2 alcanzó una biodegradabilidad alta de $96.4823\% \pm 0.0160$, atribuida a la mayor proporción de agua y a la mezcla de 5% de almidón y 5% de gel, favoreciendo una descomposición más rápida. En los blancos, el Blanco T1 registró una biodegradabilidad de $99.9817\% \pm 0.0251$, mientras que el Blanco T2 fue menor, con $88.2519\% \pm 0.0105$, asociado a la mayor concentración de almidón de oca (5%), que incrementó la resistencia a la degradación; el Blanco T5 también mostró una biodegradabilidad casi total de $99.9873\% \pm 0.0219$, favorecida por el secado a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el Blanco T6 alcanzó $79.8541\% \pm 0.0165$, evidenciando una menor biodegradabilidad probablemente relacionada con la mayor cantidad de almidón.

Respecto a los tratamientos oficiales, T1 presentó una biodegradabilidad alta de $92.1190\% \pm 0.0075$, mientras que T2 alcanzó $83.4477\% \pm 0.0196$ debido a la mayor concentración de almidón (5%); T3 registró $88.3670\% \pm 0.0223$, manteniendo una biodegradabilidad elevada. El tratamiento T4 presentó el valor más bajo de $73.4610\% \pm 0.0355$, asociado a la combinación de 5% de almidón y 4% de gel; en contraste, T5 alcanzó $99.4723\% \pm 0.0194$, evidenciando una rápida descomposición, mientras que T6 y T7 mostraron valores altos de $91.1400\% \pm 0.0235$ y $96.7400\% \pm 0.0296$, respectivamente. Finalmente, T8 presentó una biodegradabilidad de $78.5733\% \pm 0.0078$, por lo que T4 y T8 fueron los tratamientos que mejor equilibraron resistencia y biodegradabilidad controlada.

Los tratamientos mostraron alta biodegradabilidad al día 15, indicando un proceso más gradual (considerando que al día 30 la degradación fue total). Comparados con bioplásticos de almidón de cáscara de camote, gel de aloe vera y aceite de eucalipto, que reportaron 60.13%–75.08% de biodegradación a 25 °C (Puca et al., 2025), T4 se encuentra dentro del rango y T8 lo supera, lo que coincide con que el compostaje más intenso y las condiciones de mayor temperatura aceleran la descomposición del almidón. En bioplásticos de almidón de oca bajo UNE-EN 13432, la pérdida de masa alcanzó 90% recién a 101 días ($R^2 = 0.8774$) y la desintegración por imágenes llegó a 74% a 89 días (Chávez, 2021). Que T4 y T8 alcancen 73.4610%–78.5733% a 15 días se explica por el horizonte temporal y el indicador empleado (pérdida de masa vs desintegración superficial). Por su parte, Huailapuma (2023) reportó pérdidas de $3.57 \pm 1.65\%$ (T9) y $4.06 \pm 1.72\%$ (T5) en 10 días, propias de una etapa inicial más lenta, lo que refuerza que la magnitud depende del método, el medio y el tiempo de exposición.

La Tabla 24 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el Análisis de Biodegradabilidad, incluyendo los efectos principales del almidón de oca (A), el gel de aloe vera (B), la Temperatura de secado (C) y la interacción AB.

Tabla 24.

Tabla ANOVA correspondiente a los Resultados del Análisis de Biodegradabilidad de las Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
Modelo	1661.17	4	415.29	861.38	< 0.0001	Significativo
A-almidón de oca	944.12	1	944.12	1958.25	< 0.0001	
B-gel de aloe vera	314.02	1	314.02	651.32	< 0.0001	
C-temperatura de secado	307.40	1	307.40	637.59	< 0.0001	
AB	95.63	1	95.63	198.35	< 0.0001	

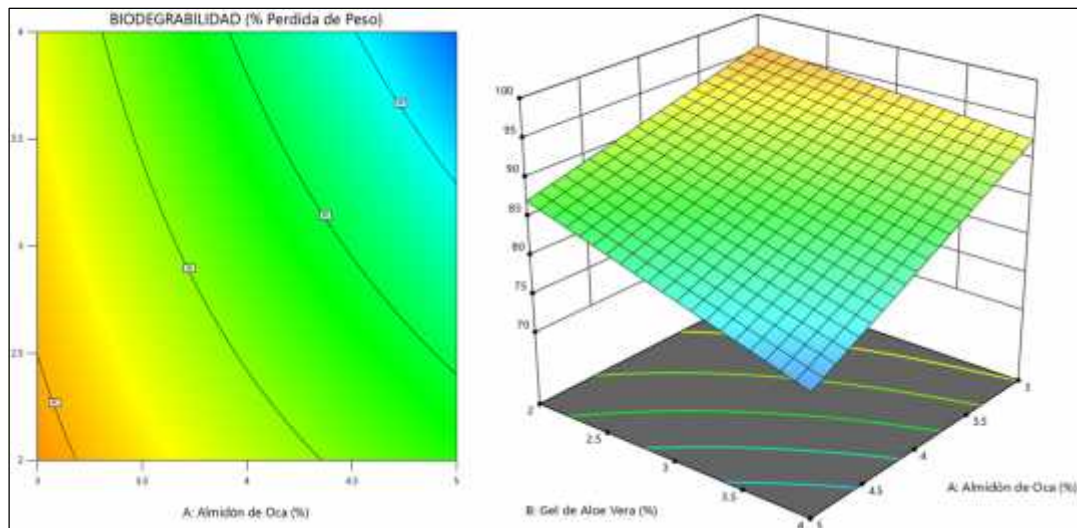
El ANOVA realizado sirve para determinar si existe significancia entre el empleo del almidón de oca, el gel de aloe vera y las temperaturas en el nivel de biodegradabilidad de las películas biodegradables. Por ende, con el análisis hecho, se demuestra que el modelo para Biodegradabilidad es altamente significativo ($p < 0.0001$), indicando

que los factores evaluados explican de manera adecuada la variabilidad observada. Todos los efectos principales: A (almidón de oca), B (gel de aloe vera) y C (Temperatura), resultaron altamente significativos, así como la interacción AB, lo que confirma que tanto la composición de la mezcla como su combinación influyen directamente en el grado de degradación de las películas.

El modelo ajustado fue: $\text{Biodegradabilidad} = 87.90 - 6.27A - 3.62B + 3.58C - 2.00AB$. Los coeficientes negativos de A y B indican que mayores concentraciones de almidón de oca y gel de aloe vera reducen la biodegradabilidad, posiblemente por la formación de matrices más compactas y resistentes al proceso de desintegración. Por el contrario, la Temperatura de secado (C) presenta un coeficiente positivo, lo que establece que temperaturas más elevadas favorecen una estructura más susceptible a la degradación. La interacción AB, también negativa, indica que cuando ambos componentes aumentan simultáneamente, la reducción en la biodegradabilidad es aún más marcada que por efectos individuales.

Figura 12.

Gráficos de Contorno y Superficie 3D para los Resultados del Análisis de Biodegradabilidad de las Películas Biodegradables



Los gráficos de contorno indican que la mayor biodegradabilidad ocurre con niveles bajos de A y B, mientras que las combinaciones altas reducen la degradación. La superficie 3D confirma este patrón, mostrando un “valle” en zonas con mayor contenido de almidón y aloe vera, y un aumento de la biodegradabilidad al incrementarse la temperatura. En conjunto, se evidencia que la composición, especialmente el almidón y el gel, es el principal factor que limita la degradación.

V. CONCLUSIONES

- J) La caracterización de la oca (*Oxalis tuberosa*) confirmó su efectividad para la elaboración de películas biodegradables. La menor humedad ($59.7966\% \pm 0.7236\%$) se atribuye al procesamiento, que reduce el agua y concentra sólidos. El bajo contenido de grasas ($2.1087\% \pm 0.9562\%$) favorece la cohesión, mientras que la fibra ($8.2465\% \pm 0.2135\%$) incrementa la rigidez y resistencia. Las proteínas ($9.3665\% \pm 0.0615\%$) mejoran la cohesión y los carbohidratos ($20.0532\% \pm 0.2309\%$) confirman el papel estructural del almidón. El pH (5.81 ± 0.02), °Brix (7.07 ± 0.15) y acidez titulable (0.636 ± 0.014) evidencian un comportamiento fisicoquímico adecuado. En conjunto, las variaciones respecto a valores reportados se explican por el procesamiento, validando su uso en películas biodegradables con buena flexibilidad y resistencia.
- J) La caracterización del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) confirmó su idoneidad para películas biodegradables. La baja humedad ($13.0674\% \pm 0.1482\%$) se debe a la extracción y secado, mejorando la estabilidad. Los bajos contenidos de grasas ($0.8995\% \pm 0.0099\%$) y fibra ($0.6495\% \pm 0.0096\%$) reflejan su purificación y favorecen matrices homogéneas, mientras que cenizas ($0.6994\% \pm 0.1661\%$) y proteínas ($1.1586\% \pm 0.1334\%$) no afectan la estructura. Los carbohidratos ($83.5256\% \pm 0.2599\%$) confirman el alto contenido de almidón. Las propiedades funcionales evidencian adecuada interacción con el agua, asociada al alto contenido de amilopectina (91.17496%) y bajo de amilosa (8.82504%), que determinan mayor flexibilidad. - respecto a valores reportados se explican por el método de extracción, que define la pureza del almidón, las condiciones de secado, que influyen en la humedad residual y estructura granular, y las características de la materia prima, que determinan su composición, confirmando su aptitud para la producción de películas biodegradables.
- J) La caracterización proximal y funcional del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) confirmó su idoneidad para películas biodegradables. El alto contenido de humedad ($96.7645\% \pm 0.5460\%$) favorece la flexibilidad, mientras que los bajos niveles de grasas ($0.1393\% \pm 0.4811\%$) y fibra ($0.1485\% \pm 0.1712\%$) evidencian pureza y no afectan la matriz; las cenizas ($0.2817\% \pm 0.0136\%$) y proteínas ($0.6287\% \pm 0.0308\%$) aportan estabilidad. Los carbohidratos ($2.0373\% \pm 0.0795\%$) confirman la presencia de polisacáridos funcionales, y la capacidad antioxidante, pH ácido y baja viscosidad favorecen su incorporación en

biopolímeros. Las variaciones respecto a valores reportados se explican por el método de extracción, que influye en la pureza y composición del gel; por las condiciones de procesamiento, que afectan propiedades como la viscosidad y estabilidad; y por las características de la materia prima, que determinan su composición química y funcional, confirmando su viabilidad para la producción de películas biodegradables.

-) La obtención de las películas biodegradables a base de almidón de oca y gel de aloe vera se realizó a través de tratamientos experimentales (Texp) junto a tratamientos blancos como controles y ocho tratamientos oficiales. Los Texp 1 y Texp 2, con diferentes concentraciones de los componentes, produjeron películas con pesos de 5.726 g y 5.838 g, respectivamente. Los tratamientos blancos (como los Blancos: T1, T2, T5 y T6) se utilizaron como controles, obteniendo pesos de 4.092 g (Blanco T1) a 5.114 g. (Blanco T2). Además, los tratamientos oficiales también fueron realizados siguiendo proporciones de 220 g por mezcla, con pesos de las películas entre 3.763 g. (T7) y 5.782 g. (T4). Demostrando que es posible obtener películas biodegradables de buena calidad, validando que la combinación de almidón de oca y gel de aloe vera en las concentraciones adecuadas permite formar películas funcionales y estables.
-) La caracterización funcional de las películas biodegradables evidenció que el tratamiento T4 presentó el mejor desempeño, debido a su mayor espesor y resistencia a la compresión, asociados a una mayor concentración de sólidos y a una mejor interacción entre los componentes, lo que genera una estructura más densa y estable. En este sentido, T4 fue el tratamiento óptimo, al registrar la mayor resistencia a la compresión (3.4570 ± 0.0171 N) y la menor solubilidad ($27.1420 \pm 0.0345\%$), que favorece una adecuada estabilidad estructural y funcional, manteniendo además una biodegradabilidad apropiada ($73.4610\% \pm 0.0355$). Asimismo, este tratamiento (5% almidón de oca, 4% gel de aloe vera y secado a 40°C por 20 h) presentó un espesor de 13.1833 ± 0.2085 μm y una PVA de 0.4533 ± 0.0032 $\text{g}\cdot\text{mm}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kPa})$, evidenciando un desempeño integral favorable en sus propiedades físico-mecánicas y de degradación; por lo tanto, se posiciona como la alternativa más adecuada para la producción de películas biodegradables.

VI. RECOMENDACIONES

- J Es fundamental desarrollar una metodología que permita escalar la producción de películas biodegradables desde el laboratorio hasta la industria. En este sentido, se recomienda evaluar tecnologías como la extrusión, que permite producción continua a gran escala; el moldeo por compresión, que mejora la uniformidad y control del espesor; y el casting continuo, que optimiza la formación de películas. Asimismo, el uso de secado controlado (aire forzado o túneles industriales) permite mejorar la eficiencia y homogeneidad del proceso sin comprometer la calidad.

- J Aunque los tratamientos con almidón de oca y gel de aloe vera demostraron resultados prometedores, es recomendable investigar otras combinaciones de almidones, como el almidón de papa, maíz o yuca, para determinar su impacto en las propiedades mecánicas, la solubilidad y la biodegradabilidad de las películas. La investigación en la modificación química de almidones también podría proporcionar alternativas con mejores propiedades.

- J Evaluar el comportamiento de las películas en condiciones extremas es fundamental para validar su aplicación en el envasado. Se recomienda someterlas a altas temperaturas (40 – 80 °C) mediante ensayos de estabilidad térmica y termogravimetría (TGA), así como a bajas temperaturas (-5 a 5 °C) mediante pruebas de resistencia al frío o ciclos de congelación–descongelación. Para simular exposición prolongada al agua, se sugiere realizar ensayos de absorción de agua y solubilidad en inmersión durante 48–72 horas. Asimismo, es importante aplicar pruebas de PVA en condiciones controladas de humedad relativa (50–90%) y ensayos de resistencia mecánica (tracción o compresión) antes y después de la exposición.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe, M. M., Martins, J. R., Sanvezzo, P. B., Macedo, J. V., Branciforti, M. C., Halley, P., Botaro, V. R., & Brienza, M. (2021). Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components. *Polymers*, 13(15), 2484. <https://doi.org/10.3390/polym13152484>
- Abd Karim, S. F., Idris, J., Jai, J., Musa, M., & Ku Hamid, K. H. (2022). Production of Thermoplastic Starch-aloe vera Gel Film with High Tensile Strength and Improved Water Solubility. *Polymers*, 14(19), 4213. <https://doi.org/10.3390/polym14194213>
- Abdillah, A. A., & Charles, A. L. (2021). Characterization of a natural biodegradable edible film obtained from arrowroot starch and iota-carrageenan and application in food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 618–626. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.141>
- Acurio, L., Salazar, D., Castillo, B., Santiana, C., Martínez-Monzó, J., & Igual, M. (2024). Characterization of second-generation snacks manufactured from Andean tubers and tuberous root flours. *Foods*, 13(1), 51. <https://doi.org/10.3390/foods13010051>
- Acurio, L., Salazar, D., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., & Igual, M. (2023). Third-Generation Snacks Manufactured from Andean Tubers and Tuberous Root Flours: Microwave Expansion Kinetics and Characterization. *Foods*, 12(2168), 1–19. <https://doi.org/10.3390/foods12112168>
- Affandi, M. S. S., Utomo, A. R., Setijawaty, E., Darmaatmodjo, L. M. Y. D., & Jati, I. R. A. P. (2023). The development of aloe vera-based edible film with the addition of sago starch and glycerol for food packaging. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1200(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1200/1/012046>
- Afshar, S. V., Boldrin, A., Christensen, T. H., Corami, F., Dugaard, A. E., Rosso, B., & Hartmann, N. B. (2025). Disintegration of commercial biodegradable plastic products under simulated industrial composting conditions. *Scientific Reports*, 15(8569). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91647-z>
- Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F. and Griffin Jr., E.L., (1969) Gelatinization of Corn Grits by Roll and Extrusion Cooking. *Cereal Science Today*, 14, 1-3.
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis. 16a edition. Ed. Association Of Official Analytical Chemists, international Gaithersburg, E.E.U.U.
- AOAC. (1995). *Official methods of analysis of the association Official Analytical*.

- AOAC. (2005). *Official methods of analysis of the association Official Analytical*.
- Aristizábal, S., & Sánchez, J. (2020). Caracterización y propiedades funcionales del almidón de yuca para aplicaciones alimentarias y no alimentarias. *Revista de Ciencias Alimentarias*, 35(2), 150-160.
- Caldas-Reyes, F. M. (2019) *Efecto de la Concentración del almidón de Papa “Variedad Huayro” y glicerol en las Características Físicas y Mecánicas de las Películas Comestibles con gel de aloe vera* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio Académico de la Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <https://repositorio.unt.edu.pe/handle/20.500.14359/13322>
- Carpano, S., Castro, M. & Spegazzini, E. (2019). Caracterización morfoanatómica comparativa entre *aloe vera* (L.) Burm. F., *Aloe arborescens* Mill., *Aloe saponaria* Haw. y *Aloe ciliaris* Haw. (Aloeaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19(1B), 269-275. Obtenido en <http://www.scielo.br/pdf/rbfar/v19n1b/a15v191b.pdf>
- Castañeta, G., Castañeta, R., & Peñarrieta, J. M. (2022). Cambios fisicoquímicos por exposición a la radiación solar en tubérculos de *Oxalis tuberosa*, “oca” cultivados en Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 39(2), 44-55. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.2.3>
- Castañeta-Condori, G. (2023) *Efecto de la Radiación Solar y la Deshidratación en las Propiedades Fisicoquímicas y Nutricionales de la oca (Oxalis Tuberosa)* [Tesis de Maestría, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Académico de la Universidad Mayor de San Andrés. <https://dipgis.umsa.bo/wp-content/uploads/2023/09/Tesis-Grover-Final.pdf>
- Ccasa, D. (2024). *Propiedades físicas, reológicas, calidad de cocción y capacidad antioxidante de tallarines a partir de harina de oca (Oxalis tuberosa Mol.) y quinua (Chenopodium quinoa Willd.)* [Tesis de Título, Universidad Nacional de Juliaca]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional de Juliaca. Obtenido de <https://repositorio.unaj.edu.pe/items/ee8a8002-a61f-4650-91f3-f617f5d4fe4a>
- Charro, M. (2021). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata* [Tesis de Grado, Universidad Central de Ecuador]. Repositorio Académico de la Universidad Central de Ecuador. Obtenido en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>
- Chavez-Segura, G. (2021) *Evaluación de la Biodegradabilidad en Bioplásticos de almidón de oca (Oxalis tuberosa) mediante imágenes digitales* [Tesis de Grado,

- Universidad Privada del Norte] Repositorio Académico de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28550>
- Chevez, P. (2024). *Características físicoquímicas de la oca fresca variedad amarilla*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Recuperado de: <https://repositorio.unach.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5b0324b8-0932-4864-a0f3-8e9abb7cd5db/content>
- Chipon, A., Lupu, M., & Popescu, A. (2022). Rheological properties of starch derivatives: Influence of additives and processing conditions. *Carbohydrate Polymers*, 271, 118430. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118430>
- Chocano Peralta, N. del R. (2019). *Propiedades Físicas y Mecánicas de una Biopelícula Formulada con almidón de Papa (Solanum tuberosum) y Mucilago de Nopal (Opuntia ficus)* [Tesis de Grado, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional José María Arguedas. Recuperado de https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/530/Nelida_del%20Rocio_Tesis_Bchiller_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Chucos, A. (2020). *Impacto ambiental del manejo de residuos sólidos del botadero “El Porvenir” - El Tambo*. Recuperado de: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8794/4/IV_FIN_107_TI_Chucos_Palomino_2020.pdf
- Colchao, J., Paz, R. (2023). Evaluación reológica de geles de almidón de dos variedades de yuca (Manihot Esculenta). Obtenido de: <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4474/Tesis%20Colchao%20-%20Paz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Contreras Lozano, K. P., Salcedo Mendoza, J. G., & Estrada Garrido, F. (2013). Caracterización Funcional de almidón Catiónico de Yuca (Manihot esculenta). *Revista ION*, 26(2), 31-38.
- Cruz, Patricia & Perales, Elizabeth (2025) *Efecto de los abonos orgánicos en el contenido nutricional de la Sacha Oca (Ischnosiphon killipii J.F Macbr.) en condiciones edafoclimáticas del distrito de Chanchamayo – Junín*. [Tesis de Título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de <https://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/5552>

- Dai, X., Dong, F., Dong, Z., Bai, Z., & Mao, L. (2024). Enhanced antibacterial and antioxidant activities of chlorogenic acid loaded sweet whey/starch active films for edible food packaging. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116118>
- Daza, L. D., Umaña, M., Simal, S., Vaquiro, H. A., & Eim, V. S. (2022). Non-conventional starch from cubio tuber (*Tropaeolum tuberosum*): Physicochemical, structural, morphological, thermal characterization and the evaluation of its potential as a packaging material. *International Journal of Biological Macromolecules*, 221, 954–964. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.092>
- Díaz-Alejandro, A. M. (2021) *Elaboración y Caracterización Fisicomecánica de una Película Biodegradable utilizando Harina de Cáscara de Plátano* (*Musa paradisiaca* L.) [Proyecto de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano] Repositorio Académico de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9106d7c1-c7e5-462a-b21e-de9caca0b56a/content>
- Di Scala, K., Vega-Gálvez, A., Nuñez-Mancilla, Y., Tabilo-Munizaga, G., Pérez-Won, M., & Giovagnoli, C. (2012). Chemical and physical properties of aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel stored after high hydrostatic pressure processing. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(4), 1-8. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012000400001>
- Dini, Cecilia & Garzon, Raquel & Rosell, Cristina. (2024). Breadmaking Potential of Andean Roots and Tuber Starches from Ahipa (*Pachyrhizus ahipa*), oca (*Oxalis tuberosa*), and Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Starch - Stärke*. 77. <https://doi.org/10.1002/star.202400085>.
- Domínguez, R., arzate, L., Chanona, J., Welti, J., Alvarado, J., Calderon, G.,... Gutierrez, G. (2022). El gel de aloe vera: Estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 23-43
- Enríquez, M., Velasco, R., Fernandez, A., Palacios, L. & Ruales, D. (2013). Desarrollo de un biomaterial a partir de almidón modificado de yuca, agente microbiano y plastificante. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial* 11(2).

- Pág. 111-120. Obtenido en <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a13.pdf>
- Estupiñán, C.A. (2022). *Estudio comparativo del contenido de ácido ascórbico del mucílago de aloe vera (Aloe barbadensis Miller.), entre diferentes cultivos del departamento de Risaralda, Colombia. Por cromatografía líquida de alta eficiencia (CLAE)* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia]. Repositorio Académico de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- Etsy (2024) *Aloe ferox Mill* [Fotografía] https://i.etsystatic.com/14792178/r/il/1f1be9/6315919896/il_794xN.6315919896_psay.jpg
- Hadi, A., Nawab, A., Alam, F., Naqvi, S. (2023). *Development of sodium alginate–aloe vera hydrogel films enriched with organic fibers: study of the physical, mechanical, and barrier properties for food-packaging applications*. Recuperado de: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/fb/d3fb00122a>
- He, B., Gao, Y., Lou, W., Wang, J., Xin, S., Ma, K., & Li, L. (2025). Biodegradable food packaging films: Material source, mechanical and water vapor barrier properties, and improvement strategies—A comprehensive review. *Food Research International*, 211, 116431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116431>
- Hefzalrahman 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>
- Hernández, E., Medina, M., & Ríos, L. (2023). Propiedades fisicoquímicas del almidón de yuca en condiciones de temperatura y humedad. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 41(4), 89-95.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 28(3), 718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Huailapuma Zapata, A. S. (2023). *Efecto de almidón (Oxalis tuberosa) y Pectina de Cáscara de naranja (Citrus sinensis) sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de una biopelícula* [Tesis de Título, Universidad

- Nacional de Juliaca]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional del Callao.
- Huang, K. (2024) *Development of Wood Cellulose-Based Films from Aqueous Solvents for Sustainable Food Packaging* [Degree's Thesis, McGill University] McGill Library. Recuperado de: <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/pg15bm635>
- Isik, I., Yenipazar, H., Saygun A., Sahin, N., Ozkan, E., Catalgil H. (2023). *aloe vera Oil-Added Agar Gelatin Edible Films for Kashar Cheese Packaging*. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.3c00147>
- Ivan, D., Iavorschi, M., & Lupaescu, A.-V. (2024). Assessing antioxidant activity in aloe vera gel powder: A comparative study of drying methods. *E3S Web of Conferences*, 585, 07005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458507005>
- Jales, S. T. L., Barbosa, R. d. M., de Albuquerque, A. C., Duarte, L. H. V., da Silva, G. R., Meirelles, L. M. A., da Silva, T. M. S., Alves, A. F., Viseras, C., Raffin, F. N., & Moura, T. F. A. d. L. (2022). Development and Characterization of aloe vera Mucilaginous-Based Hydrogels for Psoriasis Treatment. *Journal of Composites Science*, 6(8), 231. <https://doi.org/10.3390/jcs6080231>
- Jiménez, P. (2022). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 28(3), 121-130.
- Karim, M. A., Noman, M., & Ahmed, M. (2025). Rheological characteristics of starch-based biodegradable blends. *Polymers*, 14(9), 2505. <https://doi.org/10.3390/polym14092505>
- Kaur, N., Somasundram, C., Razali, Z., Mourad, A., Hamed, F., Ahmed, Z. (2024). aloe vera/Chitosan-Based Edible Film with Enhanced Antioxidant, Antimicrobial, Thermal, and Barrier Properties for Sustainable Food Preservation. *Polymers*, 16(2), 242. <https://doi.org/10.3390/polym16020242>
- Kaur, S., & Bains, K. (2024). Aloe Barbadensis Miller (aloe vera). *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift fur Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 94(3 – 4), 308–321. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000797>
- Khane, Y., Ahmed, T., Khedidja, B., Mounir, D., Salah, C., & Sofiane, K. (2021). Physicochemical and biological characteristics of *Aloe barbadensis* Miller gel

- extract from Ghardaia, Algeria. *Advances in Intelligent Systems Research*, 175, 99-105. <https://doi.org/10.2991/aisr.k.2101.006>
- Loyo-Trujillo, N. A., Mendoza-López, M. R., Guzmán-Gerónimo, R. I., Galvan-Martínez, R., González-Jiménez, F. E., del Ángel-Zumaya, J. A., Peredo-Lovillo, A., & Méndez-Méndez, J. V. (2025). Impact of the Physical Modification of Starch (*Oxalis tuberosa*) in a Low-Fat Snack by Hot Air Frying, a Sustainable Process. *Foods*, 14(16), 2909. <https://doi.org/10.3390/foods14162909>
- Maan, A. A., Reiad Ahmed, Z. F., Iqbal Khan, M. K., Riaz, A., & Nazir, A. (2021). aloe vera gel, an excellent base material for edible films and coatings. *In Trends in Food Science and Technology* (Vol. 116, pp. 329–341). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.035>
- Marta, H., Devara, S., Cahyana, Y., Nurhasanah, S., Yuliana, T., Sondari, D., & Aït-Kaddour, A. (2025). Study of physicochemical, pasting, and emulsifying properties of single and dual-modified arrowroot (*Maranta arundinacea*) starches using autoclave-heating treatment and Octenylsuccinylation. *Food chemistry: X*, 28, 102624. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102624>
- Meaño Correa, N., Ciarfella Pérez, A. T., & Dorta Villegas, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 26(2), 182-187.
- Núñez-Bretón, L. C., Torres-González, C. E., Del Ángel-Zumaya, J. A., Peredo-Lovillo, A., Rivera-Villanueva, J. M., Perea-Flores, M. de J., Guzmán-Gerónimo, R. I., & González-Jiménez, F. E. (2024). Functionalization of starches from Mexican *Oxalis tuberosa* using dual chemical modification. *Food Hydrocolloids*, 149, 109500. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109500>
- Okafor, I. A., Anumata, E. S., Anyikamba, S. N., Ofodum, N. M., & Okonkwo, S. I. (2018). Comparative study of the proximate analysis and phytochemical screening of the gel extracts and leaves residue of aloe vera. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(11), 1331-1334.
- Ore-Areche, F., Aguirre-Huayhua, L. L., & Ticsihua-Huaman, J. (2020). Efecto del tiempo y temperatura en la deshidratación de oca (*Oxalis Tuberosa* Mol.) Mediante lecho fluidizado para la obtención de harina. *Revista Alfa*, 4(12), 200–210. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v4i12.84>

- Oropeza-González, R. A., Montes-Hernández, A. I., & Padrón-Pereira, C. A. (2021). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 65-93.
- Ortiz, F. (2019). *La contaminación por residuos sólidos: régimen jurídico en República Dominicana*. Recuperado de: <https://bvearmb.do/bitstream/handle/123456789/849/La%20contaminacion%20por%20residuos%20solidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palate-Amaguaña (2013) *Estudio del Efecto de la Temperatura y el Tiempo en las Características Físico-Químicas y Sensoriales de la oca (Oxalis tuberosa) durante su maduración*. [Trabajo Independiente – Universidad Técnica de Ambato] Repositorio Académico de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a25256f7-6555-4c92-a092-84f2707c70a0/content>
- Peralta-Guevara, D. E., Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez , C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Taípe-Pardo, F., Díaz-Barrera , Y., & Agreda-Cerna , H. W. (2025). Food Eco-Covering: Characterization of Biodegradable Films Made With Starch From Andean *Oxalis tuberosa*. *Revista De Gestão - RGSA*, 19(1), e010871. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-075>
- Perea-Flores, M.J., Martínez-Luna, K.L., Núñez-Bretón, L.C. et al. Modification by lipophilic substitution of Mexican *Oxalis tuberosa* starch and its effect on functional and microstructural properties. *Food Measure* 16, 1062–1072 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01233-w>
- Pérez, A. (2021). *Manejo adecuado de residuos sólidos. El caso de estudiantes universitarios*. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/5919/TESIS_PEREZ%20NOLASCO%20ADOLFO%20JUNIOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pérez, L. M., Piccirilli, G. N., Delorenzi, N. J., & Verdini, R. A. (2016). Effect of different combinations of glycerol and/or trehalose on physical and structural properties of whey protein concentrate-based edible films. *Food Hydrocolloids*, 56, 352-359. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.037>
- Pico, C., De la Vega, J., Tubón, I., Arancibia, M., & Casado, S. (2022). Nanoscopic characterization of starch biofilms extracted from the Andean tubers *Ullucus*

- tuberosum*, *Tropaeolum tuberosum*, *Oxalis tuberosa*, and *Solanum tuberosum*. *Polymers*, 14(19), 4116. <https://doi.org/10.3390/polym14194116>​
- Plackett, D. (2021). *Biopolymers- new materials for sustainable films and coating*. Reino Unido: Wiley. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=JBNAcSJbbYC&printsec=frontcover&dq=PLACKETT,+David.+BiopolymersNew+Materials+for+Sustainable+Films+and+Coating&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- PlantNet. (2024). *Aloe arborescens* Mill. [Fotografía] <https://bs.plantnet.org/image/o/185a5be50dcca683a0ca7f2cfe5e6ea8d728cbad>
- Posada-Duque, J. & Cardona-Alzate, C. (2020). Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel. *Universidad de Bogotá (Colombia)* 14(1), 9-17. Obtenido en <http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v14n1/v14n1a01.pdf>
- Puca Pacheco, M., Aguilar Vega, M., Canché Escamilla, G., & Neira Velázquez, M. G. (2022). Evaluation of thermal properties and permeability of bioplastic films based on starch, aloe vera and graphene. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(1). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.376>
- Quineche Minaya, L. T. (2018). *Elaboración y Caracterización de una Película Biodegradable a base de gel de aloe vera (Aloe Barbadensis Miller), almidón de Papa Yungay y glicerol* [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional del Callao. Recuperado de: <https://repositorio.unac.edu.pe/item/5e670994-1f18-4746-a303-a9f2253edc2c>
- Rahmadi Putri, T., Adhitasari, A., Paramita, V., Endy Yulianto, M., & Dwi Ariyanto, H. (2023). Effect of different starch on the characteristics of edible film as functional packaging in fresh meat or meat products: A review. *Materials Today: Proceedings*, 87, 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.396>
- Rajamehala M, Reshma M, Kaniyamudhu V, Shruthika K. (2024) Bioplastic Production Using aloe vera Gel as Plasticizer: A Sustainable Approach. *Curr World Environ*; 19(2). DOI:<http://dx.doi.org/10.12944/CWE.19.2.38>
- Ramirez, G. (2003). Sábila (aloe vera). *Natura Medicatrix: Revista médica para el estudio y difusión de las medicinas alternativas*, 21(1). 26-31. Obtenido en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4956300>

- Rivero, R., Rodríguez, E., Menéndez, R., Fernández, J., Del Barrio, A. & Gonzáles, M. (2023). Obtención y caracterización preliminar de un extracto de *aloe vera* L. con actividad antiviral. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 7(1), 32.
- Robinson, D.; Sevillano, E.; Calvo, M. (2022). Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos. España. Acribia.
- Roger's Garden (2020) *Aloe barbadensis* Miller [Fotografía] <https://www.rogersgardens.com/pages/aloe-vera>
- Ruiz Vicente, Marco Antonio. (2020). Estado actual de la contaminación ambiental presente en la Mixteca Oaxaqueña. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5(5), 535-553. Epub 19 de octubre de 2020. <https://dx.doi.org/10.19230/jonnpr.3257>
- Salmon, J. M., Durand, E., & Bréchet, Y. (2023). Rheological behavior and modification of starch-based materials for biodegradable films. *Journal of Food Science*, 88(4), 1220–1231. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16789>
- Sánchez, J. (2022). *Efecto de la temperatura y concentración de ácido cítrico en la calidad fisicoquímica del almidón de yuca* [Tesis inédita, Universidad Nacional de Investigación]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional de Investigación
- Shanbhag, S. S., Kadu, K. P., & Kadu, S. P. (2023). Formulation and characterization of starch-based novel biodegradable edible films for food packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(5), 12334. <https://doi.org/10.1002/app.12334>
- Singh, A. K. (2024). Recent advancements in polysaccharides, proteins and lipids based edible coatings to enhance guava fruit shelf-life: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262, 129826. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129826>​;:contentReference[oaicite:0]{index=0}.
- Soltani, A., Benfreha, K., & Hamraoui, K. (2022). Analysis of Physico-chemical Properties, and Antimicrobial Activity of aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). *Phytothérapie*. <https://doi.org/10.3166/phyto-2022-0349>
- Suárez, O. (2021). *Producción y modelamiento de gliceril-ésteres como plastificantes para PVC*. [Tesis de doctorado - Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Académico de la Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4241/1/299037.2011.pdf>

- Suarez-Ramos, C., Vidal-Prado, S., Morales-Hormiga, C., Roa-Acosta, D. & Nieto-Calvache, J (2023) Functional, rheological and sensory properties of a food from honey and aloe vera. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 7:1238606. [https://doi: 10.3389/fsufs.2023.1238606](https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1238606)
- Suriati, L. (2020). Stability aloe vera Gel as Edible Coating. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/411/1/012053>
- Tang, H., Han, Z., Zhao, C., Jiang, Q., Tang, Y., Li, Y., & Cheng, Z. (2023). Preparation and characterization of aloe vera polysaccharide-based packaging film and its application in blueberry preservation. *Progress in Organic Coatings*, 177, 107445. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107445>​
- Valcárcel-Yamani, B., Rondán-Sanabria, G. G., & Finardi-Filho, F. (2020). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*), and mashua (*Tropaeolum tuberosum*). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 1-12. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223-230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Vega, A., Ampuero, N., Díaz, L. & Lemus, R. (2020). El aloe vera (*Aloe barbadensis* M.) como componente de alimentos funcionales. *Revista chilena de nutrición* 32(3). Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182005000300005
- Vega, R., Mottola, F., Colivet, J. & Castillo, C. (2020). Formulación de un sistema gelificante base sábila (*Aloe barbadensis*) para el aislamiento de arenas de agua, en pozos productores; *Revista Tecnológica ESPOL*; 28(1), 124-135. Obtenido en <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/355>
- Velásquez-Barreto, Frank F., & Velezmoro, Carmen. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189-197. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>
- Walker, C. C.; Klopper, R. R.; Smith, G. F. and Condy, Gillian (2015). Aloe succotrina (*Asphodelaceae*). *Flowering Plants of Africa*, 64 pp. 26–40.
- Wu, Y., Zhang, J., Hu, X., Huang, X., Zhang, X., Zou, X., & Shi, J. (2024). Preparation of edible antibacterial films based on corn starch /carbon nanodots for bioactive

food packaging. *Food Chemistry*, 444.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138467>

Zhu, F., & Cui, R. (2019). Comparison of molecular structure of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches. *Food chemistry*, 296, 116–122.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.192>

Zhu, F., & Cui, R. (2020). Comparison of physicochemical properties of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches. *International journal of biological macromolecules*, 148, 601–607. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.028>

VIII. ANEXOS

Anexo 1.

Proceso de extracción de almidón de oca (Oxalis tuberosa)



Figura 13. Selección de oca en óptimas condiciones para su extracción de almidón



Figura 15. Acondicionado de la oca para ser llevada a trituration



Figura 14. Troceado de oca



Figura 16. Triturado de oca en licuadora para próximo filtrado con muselinas.



Figura 17. Agua filtrada con almidón de oca lista para ser llevada a refrigeración en cámaras de refrigeración del IITA



Figura 19. almidón de oca seco después de estufa.



Figura 18. almidón de oca extraído por sedimentación luego de refrigerado.



Figura 20. almidón de oca triturado y tamizado listo para elaboración de películas biodegradables.

Anexo 2.

Proceso de extracción de gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)



Figura 21. aloe vera con yodo extraído y listo para extraer su gel.



Figura 23. gel de aloe vera en ultrasonido para eliminación de burbujas.



Figura 22. Extracción de gel de aloe vera con el material adecuado.



Figura 24. Porción de gel de aloe vera para elaboración de Películas Biodegradables.

Anexo 3.

Proceso de Obtención de Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)



Figura 25. *Pesado de los materiales adecuados para la elaboración de Películas Biodegradables (almidón de oca, gel de aloe vera, glicerol y Agua Destilada respectivamente)*



Figura 26. *Mezclado de Agua destilada, almidón, gel y glicerol en Agitador Magnético.*



Figura 27. *Entrada a Baño María con el fin de gelatinizar la Mezcla.*



Figura 28. *Entrada a Ultrasonido para eliminación de burbujas originadas tras la Mezcla.*



Figura 29. *Vertido de Mezcla en Moldes adaptados para entrada a Estufa.*



Figura 30. *Entrada de Moldes junto a Mezcla a la Estufa para ser secadas a 40°C o 45°C según el tratamiento indicado.*



Figura 31. *Películas biodegradables obtenidas de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)*

Anexo 4.

Prueba de Espesor para las Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)



Figura 32. *Micrómetro empelado para la Prueba de Películas Biodegradables*



Figura 34. *Vernier Digital empelado para la Prueba de Películas Biodegradables*



Figura 33. *Prueba de Espesor en μm de Películas Biodegradables*



Figura 35. *Prueba de Espesor en mm de Películas Biodegradables*

Tabla 25.

Valores de Solubilidad para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)

PRUEBA DE ESPESOR			
	Valor	μm Promedio	Desv. Estándar
Texp 1	15.391	15.3887	0.0156
	15.372		
	15.403		
Texp 2	7.471	7.4693	0.0106
	7.458		
	7.479		
Blanco T1	6.946	6.9457	0.0115
	6.957		
	6.934		
Blanco T2	12.498	12.4947	0.0262
	12.519		
	12.467		
Blanco T5	6.740	6.7473	0.0095
	6.758		
	6.744		
Blanco T6	11.942	11.9443	0.0117
	11.957		
	11.934		
T1	6.887	6.9250	0.0503
	6.906		
	6.982		
T2	7.772	7.8397	0.0718
	7.915		
	7.832		
T3	6.582	6.6060	0.0245
	6.631		
	6.605		
T4	13.392	13.1833	0.2085
	12.975		
	13.183		
T5	6.135	6.0667	0.0772
	5.983		
	6.082		
T6	6.818	6.7577	0.0846
	6.661		
	6.794		
T7	6.474	6.5390	0.0573
	6.582		
	6.561		
T8	13.211	13.2923	0.0912
	13.391		
	13.275		

Anexo 5.

Prueba de Solubilidad para las Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)



Figura 36. Secado de Películas Biodegradables a 70°C en estufa



Figura 38. Tubos de Centrifuga en agitador a 25°C



Figura 37. Películas Biodegradables en tubo de centrifuga con 10 ml. de agua destilada



Figura 39. Sólidos restantes secados a 70°C en estufa

Tabla 26.

Valores de Solubilidad para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

PRUEBA DE SOLUBILIDAD			
		%	
	Valor	Promedio	Desv. Estándar
Texp 1	29.645	29.6513	0.0183
	29.672		
	29.637		
Texp 2	33.502	33.5003	0.0285
	33.471		
	33.528		
Blanco T1	29.168	29.1700	0.0181
	29.153		
	29.189		
Blanco T2	24.790	24.7740	0.0349
	24.734		
	24.798		
Blanco T5	29.677	29.6720	0.0249
	29.645		
	29.694		
Blanco T6	24.430	24.4530	0.0241
	24.451		
	24.478		
T1	31.950	31.9637	0.0140
	31.963		
	31.978		
T2	29.736	29.7597	0.0290
	29.751		
	29.792		
T3	30.181	30.2257	0.0564
	30.289		
	30.207		
T4	27.977	27.1420	0.0345
	27.141		
	27.108		
T5	33.682	33.7293	0.0587
	33.795		
	33.711		
T6	31.285	31.2887	0.0032
	31.291		
	31.290		
T7	35.193	35.1833	0.0119
	35.170		
	35.187		
T8	30.814	30.8037	0.0123
	30.790		
	30.807		

Anexo 6.

Prueba de Permeabilidad al Vapor de Agua para las Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*)



Figura 40. Pesado del Nitrito de Sodio para su inserción en los Vasos de Prueba para cada Tratamiento



Figura 42. Vaso acondicionado junto a Película Biodegradable, Nitrito de Sodio y Liga



Figura 41. Campana lista para ingreso de los Vasos acondicionados por cada tratamiento



Figura 43. Pesado de las Películas Biodegradables en Balanza Analítica

Tabla 27.

Valores de Permeabilidad al Vapor de Agua para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

PRUEBA DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA			
(gr*mm)/(h*m²*kPa)			
	Valor	Promedio	Desv. Estándar
Texp 1	0.606	0.6070	0.0036
	0.611		
	0.604		
Texp 2	0.250	0.2517	0.0047
	0.257		
	0.248		
Blanco T1	0.235	0.2378	0.0029
	0.241		
	0.237		
Blanco T2	0.278	0.2737	0.0046
	0.269		
	0.274		
Blanco T5	0.174	0.1775	0.0033
	0.181		
	0.177		
Blanco T6	0.285	0.2834	0.0048
	0.287		
	0.278		
T1	0.246	0.2487	0.0025
	0.251		
	0.249		
T2	0.299	0.2997	0.0031
	0.297		
	0.303		
T3	0.221	0.2243	0.0031
	0.227		
	0.225		
T4	0.451	0.4533	0.0032
	0.457		
	0.452		
T5	0.629	0.6257	0.0031
	0.625		
	0.623		
T6	0.213	0.2177	0.0042
	0.221		
	0.219		
T7	0.245	0.2487	0.0035
	0.252		
	0.249		
T8	0.438	0.4343	0.0035
	0.434		
	0.431		

Anexo 7.

Prueba de Compresión para las Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

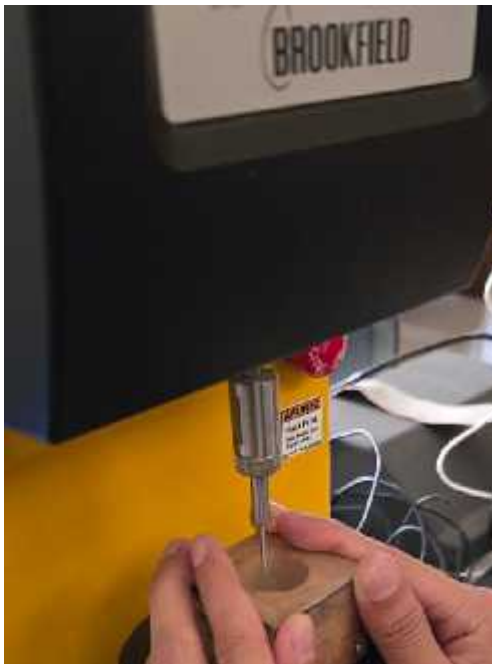


Figura 44. Prueba Inicial de Películas Biodegradables en Texturómetro con tipo de sonda TA39 - 2 mm D

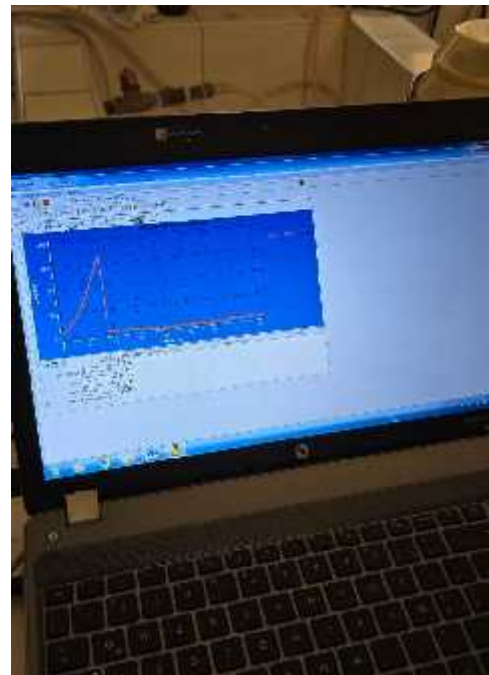


Figura 46. Resultados Obtenidos y Guardados en Texturómetro



Figura 45. Acondicionamiento de Películas Biodegradables en Texturómetro



Figura 47. Preparación de Blanco para Análisis en Texturómetro

Tabla 28.

Valores de Compresión para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y gel de aloe vera (Aloe barbadensis Miller)

PRUEBA DE COMPRESIÓN			
		N	
	Valor	Promedio	Desv. Estándar
Texp 1	4.970	4.9443	0.0302
	4.911		
	4.952		
Texp 2	2.672	2.6743	0.0276
	2.648		
	2.703		
Blanco T1	1.407	1.4063	0.0230
	1.429		
	1.383		
Blanco T2	1.927	1.9273	0.0235
	1.904		
	1.951		
Blanco T5	1.393	1.3900	0.0137
	1.375		
	1.402		
Blanco T6	1.648	1.6460	0.0121
	1.633		
	1.657		
T1	2.143	2.1473	0.0327
	2.117		
	2.182		
T2	2.324	2.3077	0.0144
	2.297		
	2.302		
T3	2.393	2.3843	0.0117
	2.371		
	2.389		
T4	3.462	3.4570	0.0171
	3.438		
	3.471		
T5	1.888	1.8877	0.0155
	1.872		
	1.903		
T6	2.270	2.2580	0.0137
	2.243		
	2.261		
T7	2.194	2.1713	0.0295
	2.138		
	2.182		
T8	3.354	3.3473	0.0180
	3.327		
	3.361		

Anexo 8.

Prueba de Biodegradabilidad para las Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)



Figura 48. Acondicionamiento de Tierra compostera para introducción de Películas Biodegradables



Figura 50. Películas Biodegradables antes de ser cubiertas completamente por la tierra compostera.



Figura 49. Acondicionamiento de Películas Biodegradables para entrada en tierra



Figura 51. Tratamientos de Películas Biodegradadas en el día 05 de pesado.

Tabla 29.

Valores de Biodegradación para cada Tratamiento de Películas Biodegradables de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD			
% Pérdida de Peso			
	Valor	Promedio	Desv. Estándar
Texp 1	53.944	53.9163	0.0257
	53.912		
	53.893		
Texp 2	96.499	96.4823	0.0160
	96.467		
	96.481		
Blanco T1	100.000	99.9817	0.0251
	99.953		
	99.992		
Blanco T2	88.253	88.2519	0.0105
	88.262		
	88.241		
Blanco T5	100.000	99.9873	0.0219
	99.962		
	100.000		
Blanco T6	79.836	79.8541	0.0165
	79.857		
	79.869		
T1	92.118	92.1190	0.0075
	92.127		
	92.112		
T2	83.353	83.3477	0.0196
	83.326		
	83.364		
T3	88.391	88.3670	0.0223
	88.363		
	88.347		
T4	73.496	73.4610	0.0355
	73.425		
	73.462		
T5	99.477	99.4723	0.0194
	99.489		
	99.451		
T6	91.117	91.1400	0.0235
	91.164		
	91.139		
T7	96.737	96.7400	0.0296
	96.771		
	96.712		
T8	78.571	78.5733	0.0078
	78.582		
	78.567		