

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON
ALMIDÓN DE PAPA NATIVA (*Solanum tuberosum ssp andigenum*) DE LA
VARIEDAD YURAQ ANQA Y NOSTOC (*Nostoc sphaericum*)**

PRESENTADO POR:

Br. DANIEL ALEXANDER CCALLO SILVA
Br. ROBER WILLIAM CHAMBI ROQUE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ASESOR:

Dra. MIRIAM CALLA FLOREZ

COASESOR:

Dr. DAVID CHOQUE QUISPE

FINANCIADO POR:

PROGRAMA "YACHAYNINCHIS
WIÑARINANPAQ" - UNSAAC

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: CARACTERIZACION DE PELICULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON ALMIDON DE PAPA NATIVA (Solanum tuberosum ssp andigenum) DE LA VARIEDAD YURAQ ANQA y NOSTOC (Nostoc sphaericum)

presentado por: DANIEL ALEXANDER CCALLO SILVA con DNI Nro.: 48078103 presentado por: ROBER WILLIAM CHAMBI ROQUE con DNI Nro.: 42200076 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 06%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de DICIEMBRE de 2024



Firma

Post firma MIRIAM CALLA FLOREZ

Nro. de DNI 24714509

ORCID del Asesor 0000-0003-0592-6454

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:412536357

Daniel Alexander Ccallo Silva Rober William Cham...

CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON ALMIDÓN DE PAPA NATIVA (Solanum tub...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:412536357

137 Páginas

Fecha de entrega

4 dic 2024, 9:25 a.m. GMT-5

30,778 Palabras

168,242 Caracteres

Fecha de descarga

4 dic 2024, 9:38 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON ALMIDÓN DE PAPA NATIVA (S....pdf

Tamaño de archivo

1.7 MB

6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mis padres Félix Mauro Ccallo Ponce y Ana María Silva Blas, faros en mi travesía académica, y a mi pareja Yuliana que siempre creyó en mí aún más de lo que yo mismo lo hago: esta tesis no solo lleva mi nombre, sino también vuestro legado de apoyo inquebrantable. En cada página, en cada línea, late el pulso de nuestra conexión y la fortaleza de nuestros lazos. Que este trabajo sea el testimonio de nuestro compromiso conjunto con el conocimiento y la excelencia. Gracias por ser mi luz en este viaje hacia la realización de mis sueños

Daniel Alexander Ccallo Silva

Dedico el presente trabajo de investigación a mi esposa, por su continuo apoyo incondicional y desinteresado a mis hijos Sebastián e Iker que son la razón de mi vida el tesoro más grande que Dios me regaló y el motivo de mí existir, a mis padres Pedro y Juana quienes guiaron mis pasos con mucho amor, me enseñaron a continuar luchando para vencer los obstáculos, sin perder la esperanza de conseguir las metas propuestas, a pesar de los tropiezos y dificultades que se han presentado en el difícil sendero de mi vida.

Rober William CHAMBI ROQUE

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento:

- A Dios todopoderoso por guiarnos y acompañarnos en cada paso de nuestro camino.
- A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro sueño y proporcionarnos las facilidades necesarias para llevarlo a cabo.
- Al Vicerrectorado de Investigación y al Proyecto de Investigación por el financiamiento con Fondos Canon a través del programa Yachayninchis Wiñarinanpaq de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, en el marco del Convenio CONCYTEC UNSAAC-FONDECYT "Formulación, Síntesis y Caracterización de una Película Comestible Nanocompuesto Nostoc/Almidón de Papa", mediante el cual se realizó la presente investigación.
- A nuestros asesores, Dra. Miriam Calla Flórez y Dr. David Choque Quispe, por su invaluable guía, apoyo constante y asesoramiento a lo largo de toda la investigación. Sus conocimientos y experiencias han sido fundamentales para la realización de este trabajo.
- A la Magister Ing. Antonieta Mojo Quisani, por su incondicional apoyo para la realización de este trabajo de investigación.
- A nuestros compañeros de investigación, Katuska Licono Pacco, Ruth Milagros Ccayamarca Machacca y Yajaida Sullca Vilca, por su colaboración, intercambio de ideas y por crear un ambiente de trabajo ameno y productivo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL	V
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XVIII
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	XVIII
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	XX
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	XXI
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	XXII
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	1
2.1. Bases Teóricas	1
2.1.1. Papa Nativa (<i>Solanum Tuberosum Ssp Andigenum</i>).....	1
2.1.1.1. Taxonomía de la Papa Nativa	1
2.1.1.2. Composición Fisicoquímica de las Papas Nativas.....	2
2.1.2. Almidón	3
2.1.2.1. Composición Química y Estructural del Almidón.....	3
2.1.2.2. Propiedades Funcionales del Almidón.....	4
2.1.3. Almidón Modificado.....	5
2.1.3.1. Propiedades Fisicoquímicas de las Nanopartículas de Almidón	5
2.1.4. Nostoc	6

2.1.4.1. Etimología y Taxonomía del Nostoc	6
2.1.4.2. Composición Fisicoquímica del Nostoc	7
2.1.4.3. Secado del Nostoc.....	7
2.1.5. Plastificantes.....	8
2.1.5.1. Glicerina.....	8
2.1.6. Película Comestible.....	9
2.1.6.1. Propiedades Estructurales de las Películas Comestibles.....	9
2.1.6.1.1. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier FT-IR.....	10
2.1.6.1.2. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)	10
2.1.6.2. Propiedades Mecánicas de las Películas Comestibles	11
2.1.6.2.1. Resistencia a la Tracción y Porcentaje de Elongación.....	11
2.1.6.2.2. Espesor.....	11
2.1.6.3. Propiedades Físico-Químicas.....	12
2.1.6.3.1. Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)	12
2.1.6.3.2. Actividad de Agua (AW).....	12
2.1.6.3.3. Resistencia A Solventes.....	13
2.1.6.3.4. Transparencia	13
2.1.6.4. Propiedades Térmicas de las Películas Comestibles.....	13
2.1.6.4.1. Análisis Termogravimétrico (TGA)	13
2.1.6.4.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	14
2.1.6.5. Propiedades de Color de las Películas Comestibles.....	14
2.2. MARCO CONCEPTUAL	15
2.2.1. Papa Nativa	15
2.2.2. Almidón	15
2.2.3. Almidón Modificado.....	15

2.2.4.	Nostoc	15
2.2.5.	Película Comestible	15
2.2.6.	Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier	16
2.2.7.	Microscopia Electrónica de Barrido	16
2.2.8.	Análisis Termogravimétrico	16
2.2.9.	Calorimetría Diferencial de Barrido	16
2.2.10.	Permeabilidad al Vapor de Agua	17
2.3.	Antecedentes de la Investigación.....	17
2.3.1.	Antecedentes Nacionales	17
2.3.2.	Antecedentes Internacionales.....	19
2.4.	Hipótesis de la Investigación	22
2.5.	Identificación de Variables e Indicadores.....	22
2.6.	Operacionalización de Variables	24
CAPITULO II. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....		26
3.1.	Ámbito de Estudio	26
3.2.	Tipo y Nivel de Investigación.....	26
3.3.	Unidad de Análisis.....	26
3.4.	Población de Estudio	26
3.5.	Tamaño de Muestra	26
3.6.	Técnicas de Recolección de Información	26
3.6.1.	Metodología de Extracción del Almidón de Papas Nativas.....	26
3.6.2.	Obtención del Nostoc Atomizado	28
3.6.3.	Elaboración de la Película Comestible.....	28
3.7.	Técnicas de Recolección de Información	30
3.7.1.	Caracterización Estructural de Películas Comestibles.	30

3.7.1.1.	Espectrofotometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FT-IR).....	30
3.7.1.2.	Estructura Superficial SEM	31
3.7.2.	Caracterización Mecánica de Películas Comestibles	31
3.7.2.1.	Resistencia a la Tracción y Porcentaje de Elongación	31
3.7.2.2.	Espesor.....	31
3.7.3.	Caracterización Físico-Química de las Películas Comestibles	32
3.7.3.1.	Permeabilidad al Vapor de Agua	32
3.7.3.2.	Actividad de Agua	33
3.7.3.3.	Resistencia a Solventes	33
3.7.3.4.	Solubilidad	34
3.7.3.5.	Transparencia	34
3.7.4.	Caracterización Térmica de las Películas Comestibles.....	34
3.7.4.1.	Análisis Termogravimétrico (TGA)	34
3.7.4.2.	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	35
3.7.5.	Color de las Películas Comestibles	35
3.8.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	35
3.9.	Metodología Demostrativa de Hipótesis.....	35
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIONES		37
4.1.	Características Estructurales	37
4.1.1.	Identificación de Grupos Funcionales por FT-IR.....	37
4.1.2.	Estructura Superficial de las Películas Comestibles por SEM.....	39
4.2.	Características Mecánicas de las Películas Comestibles	41
4.2.1.	Resistencia a la Tracción	41
4.2.2.	Resultados del Espesor de las Películas Comestibles	43
4.2.3.	Resultados para el Porcentaje de Elongación	44

4.3.	Caracterización Físico – Química de las Películas Comestibles	46
4.3.1.	Permeabilidad al Vapor de Agua en las Películas Comestibles (PVA).....	46
4.3.2.	Actividad de Agua de las Películas Comestibles.....	48
4.3.3.	Resistencia a Solventes de las Películas Comestibles.....	51
4.3.4.	Solubilidad	52
4.3.5.	Transparencia	54
4.4.	Caracterización Térmica de las Películas Comestibles	56
4.4.1.	Análisis Termogravimétrico (TGA)	56
4.4.2.	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	59
4.5.	Color.....	62
4.5.1.	Luminosidad de las Películas Comestibles	62
4.5.2.	Coordenadas a^* y b^*	63
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES.....	66
	BIBLIOGRAFÍA	67
	ANEXOS	95
	ANEXO A. Matriz de consistencia.....	95
	ANEXO B. Instrumentos de recolección de información	97
	ANEXO B1. Datos de los resultados de la resistencia a la tracción.....	97
	ANEXO B2. Datos de los resultados del porcentaje de elongación	99
	ANEXO B3. Datos de los resultados del espesor	100
	ANEXO B4. Datos de los resultados de la permeabilidad al vapor de agua	102
	ANEXO B5. Datos de los resultados del porcentaje de solubilidad.....	108
	ANEXO B6. Datos de los resultados de la Actividad de Agua	109
	ANEXO B7. Datos de los resultados de la transparencia	109

ANEXO B8. Datos de los resultados del espacio de color (L^* , a^* , b^*)	112
ANEXO C. Métodos de prueba estándar en los análisis	116
ANEXO C1. Datos del resultado de los grupos funcionales FT-IR	116
ANEXO C2. Resultados del análisis térmico diferencial DSC	120
ANEXO D. Panel fotográfico	128
ANEXO D1. Obtención del nostoc atomizado	128

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición fisicoquímica de las papas nativas.....	2
Tabla 2. Contenido de minerales de las papas nativas.....	2
Tabla 3. Composición fenólica de las papas nativas.....	2
Tabla 4. Composición del nostoc.....	7
Tabla 5. Esquema de variables identificados.	24
Tabla 6. Formulación para la elaboración de la película comestible.....	30
Tabla 7. Resistencia a la tracción de las películas comestibles	41
Tabla 8. Espesor de las películas comestibles.....	43
Tabla 9. Resultados para el porcentaje de elongación delas películas comestibles.....	44
Tabla 10. Resultados obtenidos para la permeabilidad al vapor de agua en las PC	47
Tabla 11. Resultados para la actividad de agua en las películas comestibles.....	48
Tabla 12. Resultados para la resistencia a solventes en las películas comestibles.	51
Tabla 13. Resultados para solubilidad de las películas comestibles.....	52
Tabla 14. Resultados de la transparencia en las películas comestibles.....	54
Tabla 15. Etapas de pérdida de peso y cambio de temperatura	56
Tabla 16. Transiciones térmicas calorimétricas de barrido diferencial (DSC) de las PC.....	59
Tabla 17. Resultados para la luminosidad de las películas comestibles	62
Tabla 18. Resultados obtenidos para las coordenadas a* y b*en las películas.....	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de las moléculas de la amilosa y amilopectina	4
Figura 2. Nostoc fresco(Nostoc sphaericum)	7
Figura 3. Proceso de extracción del almidón de papa nativa.....	27
Figura 4. Proceso de obtención del nostoc atomizado.....	28
Figura 5. Elaboración de la película comestible	28
Figura 6. Ensayo para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua.....	33
Figura 7. Espectros de infrarrojo de las películas comestibles	37
Figura 8. Micrografía de electrónica de barrido de las películas comestibles.....	39
Figura 9. Diagrama de efectos para la resistencia a la tracción	41
Figura 10. Diagrama de efectos para el espesor	43
Figura 11. Diagrama de efectos para el porcentaje de elongación	45
Figura 12. Diagrama de efectos para la permeabilidad al vapor de agua	47
Figura 13. Diagrama de efectos para la actividad de agua	49
Figura 14. Diagrama de efectos para la solubilidad.....	53
Figura 15. Diagrama de efectos para la transparencia	55
Figura 16. Termo grama tga de las películas comestibles	57
Figura 17. Termograma calorimétrico diferencial de barrido para las pc	60
Figura 18. Diagrama de efectos para la luminosidad en las películas comestibles	62

ABREVIATURAS ESTANDAR

DSC:	Calorimetría Diferencial de Barrido
FTIR:	Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier
TGA:	Análisis Termogravimétrico
SEM:	Microscopia Electrónica de Barrido
Aw:	Actividad de Agua
g:	Gramos
AN:	Almidón Nativo
NA:	Nostoc Atomizado
AM:	Almidón Modificado
G:	Glicerina
L*:	Luminosidad
ml:	Mililitros
PVA:	Permeabilidad al Vapor Agua
%S:	Porcentaje de Solubilidad
%E:	Porcentaje de Elongación
TS:	Tensión Superficial
PC:	Película Comestible
nm:	Nanómetros
µm:	Micrómetros
F:	Formulación

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal desarrollar películas comestibles a partir de almidón de papa nativa (*Solanum tuberosum ssp andigenum*) de la variedad Yuraq anqa, almidón modificado, Nostoc (*Nostoc sphaericum*) atomizado y glicerina, evaluando sus propiedades térmicas, mecánicas, fisicoquímicas, estructurales y de color. Esto con el fin de proponer una alternativa sostenible a los envases convencionales, los cuales generan un impacto ambiental significativo y presentan limitaciones en la conservación de alimentos.

La metodología consistió en la extracción del almidón de papa y la obtención del Nostoc atomizado. Posteriormente, se elaboraron las películas comestibles mediante la combinación de almidón nativo, Nostoc atomizado, almidón modificado y glicerina en diferentes proporciones. Se llevó a cabo una caracterización exhaustiva de las películas a través de análisis estructurales (FTIR, SEM), mecánicos (resistencia a la tracción, elongación, espesor), fisicoquímicos (permeabilidad al vapor de agua, actividad de agua, solubilidad, transparencia), térmicos (TGA, DSC) y de color. En los análisis FTIR, se obtuvieron frecuencias específicas entre $3351\text{--}3354\text{ cm}^{-1}$, asociadas a grupos funcionales alcohol y amidas, lo que confirmó la presencia de glicerina en las formulaciones F1 y F2. Asimismo, en F2 y F3 se identificaron bandas en el rango de 2935 cm^{-1} , vinculadas a grupos metilo. Las bandas alrededor de $1418\text{--}1419\text{ cm}^{-1}$ indicaron la presencia de almidón de papa en todas las formulaciones. La resistencia a la tracción se evaluó en las películas termo-moldeadas a 60°C y 50°C , destacando la formulación F3 con los valores más altos en ambos casos (4.091 MPa y 3.018 MPa , respectivamente). La adición de almidón modificado incrementó la resistencia en todas las formulaciones. El espesor de las películas osciló entre 0.086 mm y 0.160 mm , siendo F2 a 50°C la más gruesa debido a su mayor contenido de glicerina. La elongación varió entre el $30,33\%$ y el $41,83\%$, siendo F3 a 60°C la más elástica, atribuible a su menor cantidad de plastificante.

La permeabilidad al vapor de agua fluctuó entre 0.493 y $0.835\text{ (g.mm/h.m}^2\text{Pa)}$, siendo la formulación F3 a 60°C la que presentó mayor permeabilidad. La actividad de agua disminuyó al aumentar la proporción de almidón modificado, destacando F3 a 50°C como la formulación más estable. La solubilidad varió entre 45.63% y 80.23% , con F3 a 50°C siendo la menos soluble. La transparencia fue mayor en F3 a 60°C y 50°C en comparación con otras formulaciones. A temperaturas más elevadas se observó una mayor descomposición en todas

las muestras, con variaciones en los porcentajes de pérdida de peso. La luminosidad promedio fue alta y constante en la muestra F1 a 60°C, con un valor de 94.973 y una baja desviación estándar de 0.006.

Palabras clave: Formulación, Temperatura de Moldeo, Películas comestibles, almidón, papa nativa y Nostoc.

ABSTRACT

The main objective of this research is to develop edible films using native potato starch (*Solanum tuberosum* ssp *andigenum*) from the Yuraq anqa variety and Nostoc (*Nostoc sphaericum*), evaluating their thermal, mechanical, physicochemical, structural, and color properties. The goal is to offer a sustainable alternative to conventional packaging, which has a significant environmental impact and lacks efficiency in food preservation.

The methodology involved the extraction of potato starch and the production of atomized Nostoc. Subsequently, the edible films were prepared by combining native starch, atomized Nostoc, modified starch, and glycerin in different proportions. A comprehensive characterization of the films was conducted through structural analysis (FTIR, SEM), mechanical tests (tensile strength, elongation, thickness), physicochemical evaluations (water vapor permeability, water activity, solubility, transparency), thermal analysis (TGA, DSC), and color assessment. In the FTIR analysis, specific frequencies between 3351-3354 cm^{-1} were associated with alcohol and amide functional groups, confirming the presence of glycerin in the F1 and F2 formulations. Additionally, bands in the 2935 cm^{-1} range, related to methyl groups, were identified in F2 and F3. Bands around 1418-1419 cm^{-1} indicated the presence of potato starch in all formulations. Tensile strength was evaluated in films thermomolded at 60°C and 50°C, with F3 showing the highest values in both cases (4.091 MPa and 3.018 MPa, respectively). The addition of modified starch increased tensile strength across all formulations. Film thickness ranged from 0.086 mm to 0.160 mm, with F2 at 50°C being the thickest due to its higher glycerin content. Elongation varied from 30.33% to 41.83%, with F3 at 60°C being the most elastic, attributed to its lower plasticizer content.

Water vapor permeability ranged from 0.493 to 0.835 (g.mm/h.m²Pa), with the F3 formulation at 60°C showing the highest permeability. Water activity decreased with the increase of modified starch, with F3 at 50°C being the most stable formulation. Solubility ranged from 45.63% to 80.23%, with F3 at 50°C being the least soluble. Transparency was higher in F3 at 60°C and 50°C compared to other formulations. At higher temperatures, greater decomposition was observed in all samples, with variations in weight loss percentages. The average luminosity was high and consistent in the F1 sample at 60°C, with a value of 94.973 and a low standard deviation of 0.006.

keywords: Formulation, Molding Temperature, Edible films, starch, native potato and Nostoc.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las películas comestibles están revolucionando la industria alimentaria al ofrecer alternativas sostenibles y biodegradables a los empaques convencionales. Sin embargo, los materiales de empaque tradicionales presentan problemas significativos, como la humedad y actividad microbiana. Esta investigación aborda estos desafíos mediante el desarrollo de una película comestible a base de almidón de papa nativa (*Solanum tuberosum ssp. andigenum*) y Nostoc (*Nostoc sphaericum*), una cianobacteria conocida por sus propiedades nutricionales y estructurales. La relevancia de utilizar almidón de papa nativa radica en su abundancia y propiedades funcionales, mientras que el Nostoc aporta una fuente adicional de nutrientes y mejora las características mecánicas de la película. Los objetivos generales de este estudio incluyen la caracterización de las propiedades físico químicas, mecánicas, estructurales, térmica y mecánicas de las películas elaboradas, así como la evaluación de su potencial como material de empaque sostenible. Específicamente, se pretende identificar los porcentajes óptimos de almidón y Nostoc, analizar el efecto de la temperatura de moldeo y evaluar la influencia de sus componentes en la película comestible.

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del Problema

Durante décadas, la industria alimentaria ha enfrentado desafíos persistentes relacionados con el deterioro de sus productos debido a la ineficacia de los materiales de empaque convencionales. En respuesta a esta problemática, en los últimos años ha emergido un interés significativo en la investigación de alternativas sostenibles, enfocándose en el desarrollo de biopolímeros biodegradables formulados a partir de almidones y proteínas para mejorar la conservación de alimentos.

Las películas comestibles han surgido como una tecnología innovadora dentro del sector alimentario, ofreciendo una solución multifuncional que no solo extiende la vida útil de los productos, sino que también contribuye a la mejora sensorial de los alimentos (aspecto y sabor), mientras se reduce el desperdicio alimentario. Según Gómez-Estaca et al. (2021), estas películas están compuestas por diversas matrices, que incluyen proteínas, polisacáridos y lípidos, o combinaciones de estos, y pueden ser aplicados a través de múltiples técnicas como la inmersión, pulverización y recubrimiento con película.

La investigación en torno a la implementación de películas comestibles como una alternativa sostenible a los envases tradicionales está en crecimiento. Azeredo et al. (2017) destacan que estas películas pueden elaborarse a partir de diversos ingredientes naturales, como almidones, proteínas y lípidos, y presentan propiedades barrera que permiten preservar la calidad de los alimentos, manteniendo su frescura y funcionalidad. Además, es posible personalizarlas con aditivos como antioxidantes y antimicrobianos para potenciar su desempeño, mejorando la estabilidad frente a la oxidación y la contaminación microbiana.

No obstante, el uso de películas y recubrimientos comestibles en la industria alimentaria aún enfrenta limitaciones, principalmente en relación con su estabilidad y durabilidad durante el almacenamiento y transporte. Según Kim et al. (2019), factores críticos como la humedad y la temperatura pueden afectar de manera significativa la integridad de las películas comestibles, impactando su capacidad para proteger adecuadamente los alimentos. Esto implica un desafío en términos de conservación a largo plazo y control de la calidad microbiológica.

Por tanto, resulta imperativo continuar investigando y desarrollando tecnologías avanzadas para optimizar la eficiencia y funcionalidad de las películas comestibles. Asimismo, es esencial establecer modelos de predicción y sistemas de control eficientes que aseguren la estabilidad y seguridad de los productos alimenticios recubiertos. Altiok et al. (2021) sugieren

que los modelos predictivos pueden ser útiles para estimar la vida útil de los alimentos recubiertos, mientras que los métodos de control, como la monitorización constante de la temperatura y la humedad, son necesarios para garantizar la calidad y estabilidad de las películas y recubrimientos durante su ciclo de vida.

1.2. Formulación del Problema

Problema General

¿Cuáles son las características de las películas comestibles elaboradas con almidón de papa nativa (*Solanum tuberosum ssp andigenum*) de la variedad Yuraq anqa, almidón modificado, Nostoc atomizado (*Nostoc sphaericum*) y glicerina?.

Problema Especifico

1. ¿Cuál es el efecto de las diferentes formulaciones y temperaturas de moldeo sobre las propiedades térmicas y mecánicas de las películas comestibles?.
2. ¿De qué manera las formulaciones planteadas y temperaturas de moldeo afectan las características físico-químicas y estructurales de las películas comestibles?.
3. ¿Qué formulaciones y temperaturas de moldeo influyen sobre el color de las películas comestibles?.

1.3. Justificación de la Investigación

Las películas comestibles representan una alternativa sostenible a los envases tradicionales, los cuales tienen un impacto ambiental significativo y carecen de eficiencia. Estas películas comestibles surgen como una solución para los problemas de conservación de alimentos y para reducir la dependencia del plástico convencional. Se elaboran a partir de una variedad de ingredientes, como proteínas, polisacáridos y lípidos, los cuales pueden ser personalizados con diferentes aditivos para mejorar su funcionalidad. Esta versatilidad hace que estas películas comestibles sean una solución eficiente y económica, aprovechando al máximo nuestra tecnología disponible.

Las películas comestibles en la industria alimentaria es un área en constante evolución que ofrece numerosas ventajas en términos de prolongación de la vida útil de los alimentos, la mejora de su apariencia y sabor y reducción del desperdicio de alimentos (Kuswandi et al. 2021). La implementación de películas y recubrimientos comestibles en la industria alimentaria enfrenta desafíos críticos, principalmente relacionados con su estabilidad fisicoquímica y funcionalidad durante el almacenamiento y transporte. Por ello mejorar las propiedades de barrera frente a la humedad, el oxígeno y otros gases es esencial para garantizar una protección eficaz contra la oxidación, el deterioro microbiológico y otros factores de degradación. En el ámbito social, estas películas representan una alternativa revolucionaria al reducir el impacto ambiental generado por los residuos plásticos de envases convencionales, lo que fomenta un consumo más sostenible y responsable. Al extender la vida útil de los alimentos, disminuyen el desperdicio y generan un ahorro sustancial en los costos de almacenamiento y logística. Esto no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también contribuye a un modelo de negocio más sostenible y rentable, lo que las convierte en una opción económicamente estratégica y beneficiosa para las industrias alimentarias.

1.4. Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Evaluar las características de las películas comestibles elaboradas a partir de almidón de papa nativa (*Solanum tuberosum* ssp *andigenum*) de la variedad Yuraq anqa, almidón modificado, Nostoc atomizado (*Nostoc sphaericum*) y glicerina,

Objetivo Específico.

1. Determinar el efecto de las diferentes formulaciones y las temperaturas de moldeo sobre las propiedades térmicas y mecánicas de las películas comestibles.
2. Analizar cómo las formulaciones y las temperaturas de moldeo influyen en las características fisicoquímicas y estructurales de las películas comestibles.
3. Evaluar el impacto de las formulaciones y las condiciones de moldeo sobre el color de las películas comestibles.

CAPITULO I

Marco Teórico

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. Papa Nativa (*Solanum tuberosum ssp andigenum*)

Según Struik, (1994).La papa nativa se define como un conjunto de variedades tradicionales de papa cultivadas en diversas regiones del mundo, que han sido seleccionadas y adaptadas a lo largo de generaciones por las comunidades locales en función de sus necesidades y condiciones ambientales específicas. Estas variedades presentan una amplia diversidad genética, lo que les confiere características únicas de resistencia a enfermedades, adaptabilidad a diferentes climas y suelos, así como cualidades organolépticas distintivas.

Zimmerer, (1991) La papa nativa se define como un conjunto de variedades autóctonas de papa cultivadas en las regiones de altura de Perú, que han evolucionado y se han adaptado en respuesta a las condiciones ambientales y culturales específicas de sus respectivas áreas de origen. Estas variedades poseen una rica diversidad genética, lo que les confiere características únicas de resistencia a enfermedades, adaptabilidad a diferentes altitudes y microclimas, así como cualidades culinarias distintivas.

La investigación de Zimmerer, (1991), destaca la importancia de comprender la biogeografía regional de estas variedades nativas, subrayando su papel crucial en la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad agrícola y la preservación de los conocimientos tradicionales de las comunidades locales en Perú.

2.1.1.1. Taxonomía de la Papa Nativa

Según Machida Hirano, (2015), clasifican a la papa nativa de la siguiente manera según su clasificación taxonómica.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta (Angiospermas)

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae (Solanáceas)

Género: Solanum

Especie: Solanum tuberosum

2.1.1.2. Composición Fisicoquímica de las Papas Nativas

Según Bellumori et al. (2020) titulado “Un estudio sobre la biodiversidad de papas andinas pigmentadas: perfil nutricional y composición fenólica”, la composición fisicoquímica de las variedades nativas de papa andina estudiadas se reporta de la siguiente manera:

Tabla 1

Composición fisicoquímica de las papas nativas

Componente	g/100g peso fresco
Humedad:	61,4 - 76,8
Carbohidratos	18,0 - 34,1
Grasas	0,1 - 0,7
Proteínas	1,3 - 4,4
Cenizas	1,0 - 1,7

Tabla 2

Contenido de minerales de las papas nativas

Contenido de minerales	(µg/g de peso seco)
Potasio	7272,9 - 17388,6
Fósforo	924,5 - 2124,9
Magnesio	312,1 - 833,1
Calcio	126,2 - 953,5
Hierro	20,5 - 288,8

Tabla 3

Composición fenólica de las papas nativas

Ácidos fenólicos totales	
Compuestos Fenólicos	(mg/kg peso seco)
Pulpa	19,5 - 1412,5
Piel	1468,1 - 14533,4

Los valores aproximados se informan en peso fresco, mientras que los contenidos minerales y fenólicos se expresan en peso seco para los tejidos de carne y piel por separado. Se observan amplios rangos para los diferentes componentes destacando la biodiversidad entre las variedades nativas estudiadas, (Bellumori et al. 2020).

2.1.2. Almidón

Koksel et al., (2023). Manifiesta que el almidón es un polisacárido complejo que sirve como reserva de energía en plantas además de estar compuesto principalmente por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina, que están unidos entre sí mediante enlaces glucosídicos. La amilosa consiste en cadenas lineales de glucosa unidas por enlaces α -1,4-glicosídicos, mientras que la amilopectina presenta ramificaciones ocasionales unidas por enlaces α -1,6-glicosídicos. Esta composición molecular confiere al almidón propiedades únicas, como la capacidad de formar geles al calentar y enfriar, lo que lo hace valioso en aplicaciones culinarias e industriales.

2.1.2.1. Composición Química y Estructural del Almidón

Según Copeland et al., (2009), la composición del almidón es fundamentalmente de dos tipos de polisacáridos de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa consiste en cadenas lineales de glucosa unidas por enlaces α -1,4-glicosídicos, mientras que la amilopectina presenta una estructura ramificada con uniones α -1,4-glicosídicas y ramificaciones α -1,6-glicosídicas. Esta combinación de polímeros de glucosa confiere al almidón sus propiedades físicas y funcionales distintivas, como la capacidad de gelatinización y retrogradación, que son esenciales en numerosas aplicaciones culinarias e industriales.

a. Amilopectina

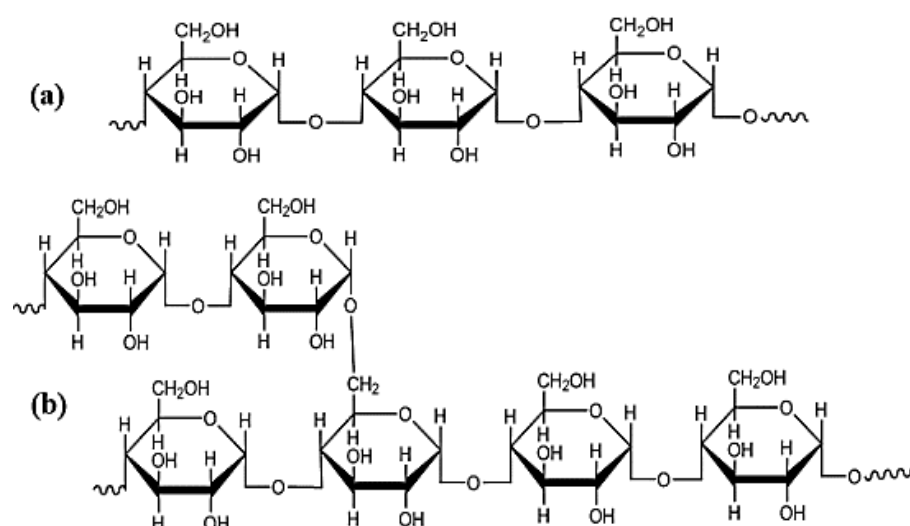
La amilopectina, según Manners , (1989), se define como una fracción del almidón con una estructura altamente ramificada, caracterizada por cadenas lineales de glucosa unidas predominantemente por enlaces α -1,4-glicosídicos, interconectadas por uniones α -1,6-glicosídicas. Este polisacárido complejo exhibe propiedades únicas que son fundamentales para su función en una variedad de aplicaciones, desde la industria alimentaria hasta la farmacéutica. Su arquitectura molecular permite la formación de geles, lo que contribuye a la textura y consistencia de una amplia gama de productos.

b. Amilosa

La amilosa, según la investigación de Ohdan et al. (2006), se define como un componente del almidón que puede ser sintetizado enzimáticamente. Consiste en cadenas lineales de glucosa unidas por enlaces α -1,4-glicosídicos. Este polisacárido lineal tiene propiedades únicas que lo hacen valioso en aplicaciones alimentarias e industriales, como agente espesante y estabilizador. La síntesis enzimática de amilosa representa un enfoque prometedor para la producción de este componente clave del almidón, ofreciendo potencialidades en la modulación de sus propiedades y aplicaciones.

Figura 1

Estructura química de las moléculas de a) amilosa y b) amilopectina



Nota: Estructuras de la amilosa y amilopectina según (Amaya -Pinos, 2019)

2.1.2.2. Propiedades Funcionales del Almidón

- a) Estructura cristalina: Según (Cai et al., 2014) “El almidón exhibe una estructura cristalina única, con una organización molecular. Esta estructura cristalina afecta sus propiedades físicas y funcionales”.
- b) Capacidad de gelificación: “El almidón tiene la capacidad de formar geles cuando se somete a calor en presencia de agua. Estos geles pueden variar en consistencia desde líquidos hasta sólidos, lo que los hace útiles en una amplia gama de aplicaciones, como espesantes en salsas, rellenos en productos de panadería y aglutinantes en productos cárnicos”. (Hermansson & Svegmarm, 1996).

- c) Capacidad de retrogradación: “Después de la gelatinización, el almidón tiene la capacidad de retrogradar, es decir, volver a formar enlaces entre las moléculas de almidón cuando se enfría. Esto puede resultar en la formación de geles más firmes y estructuras más rígidas en alimentos como productos de panadería y pudines”. (Hermansson & Svegmark, 1996).
- d) Capacidad de retención de agua: “El almidón puede absorber y retener grandes cantidades de agua, lo que contribuye a la textura y humedad de los productos alimenticios. Esta propiedad es especialmente importante en productos horneados para mantener la frescura y la suavidad durante el almacenamiento”. (Hermansson & Svegmark, 1996).
- e) Estabilidad frente a la congelación y descongelación: “El almidón exhibe una buena estabilidad frente a los ciclos de congelación y descongelación, lo que lo hace adecuado para su uso en productos congelados como helados y comidas preparadas”. (Hermansson & Svegmark, 1996).

2.1.3. Almidón Modificado

Según Wang & Zhang, (2021), las nanopartículas de almidón se refieren a una forma modificada de almidón que ha sido procesada para obtener partículas en una escala nanométrica. Esta modificación se realiza con el fin de mejorar sus propiedades físicas y funcionales, como su solubilidad, estabilidad térmica, capacidad de retención de agua y capacidad de formar geles. La investigación de Wang y Zhang (2021) también destaca la aplicación de las nanopartículas almidón en la industria alimentaria, donde se utiliza como un aditivo versátil para mejorar la textura, la estabilidad y la calidad de diversos productos alimenticios. Esta tecnología emergente ofrece nuevas oportunidades para la formulación de alimentos con características mejoradas y adaptadas a las demandas del mercado y las preferencias del consumidor.

2.1.3.1. Propiedades Fisicoquímicas de las Nanopartículas de Almidón

Según describe Wang y Zhang (2021), las propiedades fisicoquímicas únicas que lo hacen adecuado para diversas aplicaciones en la industria alimentaria. En primer lugar, el nano almidón presenta una mayor área superficial debido a su tamaño reducido a escala nanométrica, lo que aumenta su capacidad de interacción con otras moléculas y componentes alimentarios.

Esta característica contribuye a mejorar la estabilidad de emulsiones y suspensiones en sistemas alimentarios, así como a incrementar su capacidad de retención de agua y su capacidad de formar geles.

Según Chang et al., (2018) define "Nanopartículas de almidón" como partículas de almidón con tamaños en el rango nanométrico. Estas partículas son el resultado de un proceso de fraccionamiento de almidón debranqueado con diferentes pesos moleculares mediante la precipitación con alcohol comestible. La caracterización del tamaño de las partículas de nano almidón se realiza probablemente a través de técnicas de análisis como la microscopía electrónica de transmisión (TEM) o técnicas de dispersión de luz dinámica (DLS), que pueden proporcionar información detallada sobre el tamaño y la distribución de las partículas a escala nanométrica.

2.1.4. *Nostoc*

“El Nostoc es un género de cianobacterias coloniales capaces de formar colonias macroscópicas esféricas y mucilaginosas. Las células de la colonia están incrustadas en una vaina gelatinosa compuesta de mucílago. Las colonias se pueden encontrar creciendo en el suelo, rocas, corteza de árboles o en agua dulce o salobre” (Méndez-Ancca et al., 2023).

2.1.4.1. Etimología y Taxonomía del Nostoc

I. Etimología:

El nombre "Nostoc" se deriva de las palabras griegas "nostos", que significa regreso a casa, y "ocos", que significa pastel o pastel. Esto se refiere a la apariencia gelatinosa, similar a una torta de las colonias Nostoc cuando están húmedas. (Méndez-Ancca et al., 2023).

II. Taxonomía:

Según Méndez-Ancca et al., (2023) el Nostoc pertenece a la siguiente jerarquía taxonómica:

Dominio: Bacterias

Filo: Cianobacterias

Clase: Cyanophyceae

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

Género: Nostoc

Figura 2*Nostoc fresco(Nostoc sphaericum)***2.1.4.2. Composición Fisicoquímica del Nostoc****Tabla 4***Composición del Nostoc*

Componente	% Aproximado
Agua	70-80%
Proteínas	10-20%
Carbohidratos	5-15%
Lípidos	2-5%
Pigmentos	Menos del 1%
Minerales	Menos del 1%

Nota: Según Johnson et al., (2014) la Composición del Nostoc común de forma esférica, por cada 100 g de producto desecado

2.1.4.3.Secado del Nostoc

El secado del *Nostoc sphaericum* se refiere al proceso de eliminación de la humedad del alga para preservar sus propiedades estructurales y funcionales, permitiendo la extracción de hidrocoloides (Torres-Maza et al., 2020).

- a) La liofilización es un proceso ampliamente utilizado para preservar muestras biológicas y compuestos naturales. En el caso de *Nostoc sphaericum*, un alga

cianobacteriana, la liofilización permite mantener sus propiedades bioactivas durante largos períodos de tiempo sin la necesidad de refrigeración. Este método implica la congelación rápida de la muestra seguida de una sublimación directa del hielo bajo condiciones de vacío, lo que resulta en la deshidratación de la misma sin alterar significativamente su estructura celular o los componentes sensibles al calor. Según López y Hernández (2019), la liofilización ha demostrado ser eficaz en la conservación de los compuestos antioxidantes y otros metabolitos bioactivos presentes en *Nostoc sphaericum*, asegurando la estabilidad del producto final para su uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

- b) El secado por aspersión es una técnica ampliamente utilizada para deshidratar materiales biológicos, especialmente en la producción de polvos de origen natural. En el caso de *Nostoc sphaericum*, este proceso implica la atomización de una solución o suspensión de la cianobacteria en pequeñas gotas que luego se exponen a una corriente de aire caliente. Este método permite una rápida evaporación del agua, transformando la muestra en polvo sin comprometer significativamente sus componentes bioactivos, como pigmentos y antioxidantes. Según Ramírez y Ortiz (2020), el secado por aspersión es eficaz para preservar las propiedades nutricionales y funcionales de *Nostoc sphaericum*, siendo una técnica ideal para su uso en productos alimenticios y suplementos.

2.1.5. Plastificantes

2.1.5.1. Glicerina

Según Brisson et al., (2001) La glicerina o glicerol se define como un compuesto orgánico líquido perteneciente al grupo de los alcoholes trihídricos. Es un alcohol con tres grupos hidroxilo (-OH) unidos a una cadena de tres átomos de carbono. Su fórmula molecular es $C_3H_8O_3$ y su fórmula semidesarrollada es: $CH_2OH - CHOH - CH_2OH$

Según la investigación de Faraone et al., (2018), menciona que ha encontrado que la red estructural de la glicerina está completamente definida por su componente de glicerol, que

exhibe un comportamiento dinámico microscópico complejo, como se espera de una red de enlace de hidrógeno altamente correlacionada.

2.1.6. Película Comestible

Según describe en la investigación de Murrieta Martínez et al., (2018), por definición, las películas de polímero comestibles comprenden una capa delgada de material comestible preparada por separado y luego aplicada a la superficie de los alimentos, mientras que un recubrimiento se forma directamente sobre la superficie de los alimentos y se puede colocar entre los componentes de los alimentos, se utiliza como envoltura de alimentos, o como una bolsa para contener alimentos.

Según Falguera et al., (2011) la definición de película comestible según su investigación lo describe de la siguiente manera “Una película comestible es una capa delgada preformada hecha de material comestible, que una vez formada se puede colocar sobre o entre los componentes del alimento.

Algunas de las propiedades clave destacadas en la investigación de Jeya Jeevahan et al., (2020). incluyen: Resistencia mecánica: Evaluada mediante parámetros como resistencia a la tracción (TS), módulo de Young (YM) y alargamiento a la rotura (EAB). La resistencia mecánica es esencial para proteger los alimentos contenidos de cargas externas. Propiedades de barrera: Esencial para prevenir la transmisión de líquidos y gases entre los alimentos contenidos y el medio ambiente. Tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR): Importante para controlar la transferencia de humedad y mantener la calidad de los alimentos envasados. Color de la película: Aspecto estético que puede influir en la percepción y aceptación de las películas comestibles por parte del consumidor. Estas propiedades son fundamentales para garantizar la funcionalidad y eficacia de las películas comestibles para aplicaciones de envasado de alimentos. Además, la investigación enfatiza la necesidad de seguir avanzando en las propiedades de las películas para mejorar su viabilidad comercial y la aceptación del consumidor.

2.1.6.1. Propiedades Estructurales de las Películas Comestibles

Según describe la investigación de Zheng et al. (2019), las propiedades estructurales de las películas comestibles se refieren a su estructura molecular, morfología y las interacciones entre los diferentes componentes presentes en la matriz de la película. Estas propiedades

proporcionan información sobre la disposición interna y el estado físico de los componentes de la película, que influyen en el rendimiento general y la funcionalidad de las películas comestibles.

2.1.6.1.1. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier FT-IR

(Zheng et al., 2019), la Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es un método utilizado para analizar los grupos funcionales presentes y las posibles interacciones intermoleculares entre componentes.

Según Pavli et al., (2018), el principio funcional de la espectroscopía FT-IR se basa en el hecho de que cuando una muestra se ilumina con un haz infrarrojo (generalmente en el infrarrojo medio de $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$), los grupos funcionales dentro de la muestra absorberán esta radiación y vibrar. Las vibraciones y absorciones resultantes pueden correlacionarse directamente con especies (bio)químicas.

También menciona Pavli et al., (2018), que los espectros FT-IR proporcionan una huella molecular de la muestra midiendo las vibraciones de diferentes grupos funcionales y biomoléculas como proteínas, lípidos y carbohidratos cuando se exponen a radiación infrarroja. Luego, esta huella digital se puede correlacionar con otras propiedades de la muestra, como recuentos microbianos y cualidades sensoriales, mediante técnicas químio métricas.

2.1.6.1.2. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

Según Arzate Vázquez et al., (2012), menciona el uso de la microscopía electrónica de barrido (SEM) como una de las técnicas para examinar la microestructura y la arquitectura de las películas. De tal manera también proporciona el uso de esta metodología de la siguiente manera: funciona emitiendo un haz de electrones que escanea la superficie de la muestra. Cuando estos electrones interactúan con la muestra, se generan diferentes tipos de señales, como electrones retro dispersados, electrones secundarios y rayos X característicos, que se utilizan para crear una imagen de alta resolución de la muestra. El SEM es una herramienta poderosa para estudiar la topografía y la morfología de las muestras, lo que permite visualizar la estructura superficial con gran detalle y obtener información sobre la textura, porosidad y distribución de fases en los materiales.

2.1.6.2. Propiedades Mecánicas de las Películas Comestibles

Las propiedades mecánicas de las películas comestibles se rigen por las interacciones moleculares dentro de la matriz de la película, que están influenciadas por la composición de los materiales formadores de película y la presencia de plastificantes (Jeya Jeevahan et al., 2020).

Según Falguera et al., (2011), analiza las propiedades mecánicas de las películas comestibles, incluida la resistencia a la tracción, la elasticidad, la flexibilidad, la adhesión, la tenacidad, la resistencia a la fractura y el espesor de la película, que son esenciales para su funcionalidad en aplicaciones alimentarias.

2.1.6.2.1. Resistencia a la Tracción y Porcentaje de Elongación

Callister, (1991) La resistencia a la tracción es una propiedad mecánica fundamental que mide la tensión máxima que un material puede soportar antes de romperse bajo tensión.

Según Racmayani & Husni, (2020), el propósito de evaluar el estrés máximo que las películas comestibles pueden soportar antes de romperse bajo tensión. Esta evaluación de las propiedades mecánicas es esencial para determinar la capacidad de la película para resistir fuerzas externas y mantener su integridad estructural, que son factores cruciales en la funcionalidad y el rendimiento de los materiales de embalaje biodegradables.

La norma ASTM E 83. (2014). Establece que el porcentaje de alargamiento en películas comestibles es una propiedad mecánica crítica que refleja la capacidad del material para estirarse o deformarse antes de romperse. Se define como el aumento porcentual de la longitud en el punto de fractura en comparación con la longitud original.

El porcentaje de elongación de un material se ve afectado por factores como la presencia de plastificantes, el contenido de humedad y la disposición molecular dentro de la matriz de la película. Tavassoli-Kafrani et al., (2016).

2.1.6.2.2. Espesor

Según la investigación proporcionada por Jeevahan & Chandrasekaran, (2019), el espesor de las películas comestibles se define como la dimensión de las capas delgadas, generalmente inferiores a 0,3 mm, que se utilizan para proteger y mejorar la calidad de los productos alimenticios. Estas películas pueden ingerirse como parte integral del producto final.

2.1.6.3. *Propiedades Físico-Químicas*

Según describe la investigación de Pacheco et al., (2019), las propiedades fisicoquímicas en películas comestibles abarcan una gama de características que definen sus atributos estructurales, mecánicos y químicos. Estas propiedades incluyen, entre otras, contenido de humedad, comportamiento reológico, transparencia, barrera al vapor de agua e índice de hinchamiento. El contenido de humedad influye en la capacidad de absorción de agua de la película y en la estabilidad general. El comportamiento reológico aclara las características de flujo y deformación de las soluciones formadoras de película, lo que afecta la estructura y el rendimiento de la película. La transparencia y las propiedades de barrera al vapor de agua son cruciales para la conservación de los alimentos y la extensión de su vida útil. El índice de hinchamiento revela la interacción de la película con el agua y otros componentes, afectando su resistencia mecánica y estabilidad.

2.1.6.3.1. Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)

Según describe Kamper & Fennema, (1984), la permeabilidad al vapor de agua se refiere a la capacidad de un material para permitir que las moléculas de vapor de agua lo atraviesen. Es una medida de la velocidad a la que el vapor de agua puede difundirse a través de una sustancia en condiciones específicas, generalmente expresada en unidades de gramos por metro cuadrado por día por unidad de gradiente de presión de vapor.

Gontard et al., (2007), menciona en el contexto de las películas comestibles, el propósito de medir la permeabilidad al vapor de agua es evaluar la efectividad de la película para controlar la transferencia de humedad entre el producto alimenticio y su entorno. Comprender la permeabilidad al vapor de agua de las películas comestibles es crucial para determinar su idoneidad para aplicaciones donde el control de la humedad es esencial, como extender la vida útil de los alimentos perecederos, mantener la calidad de los alimentos y prevenir problemas relacionados con la humedad, como el deterioro y los cambios de textura.

2.1.6.3.2. Actividad de Agua (Aw)

Othman et al., (2017), la actividad de agua (aw) en películas comestibles se refiere a la cantidad de agua disponible en un material para participar en reacciones químicas, enzimáticas o microbiológicas. Las películas comestibles, utilizadas para recubrir alimentos, tienen como objetivo principal mejorar la vida útil del producto, actuando como barrera frente a la pérdida

de humedad y la entrada de oxígeno. La actividad de agua es crucial, ya que influye en la estabilidad del alimento, el crecimiento microbiano y las propiedades mecánicas de la película McHugh y Krochta, (1994).

2.1.6.3.3. Resistencia a Solventes

La resistencia a los solventes se refiere a la capacidad de un material para resistir los efectos de diversos disolventes sin sufrir cambios significativos en sus propiedades físicas o químicas. En el contexto de las películas comestibles, la caracterización de la resistencia a los solventes es crucial para evaluar la durabilidad y estabilidad de la película cuando se expone a diferentes solventes (Takei 2018).

2.1.6.3.4. Transparencia

La transparencia se define como la propiedad de permitir que la luz pase a través de un material sin una dispersión significativa, lo que resulta en la visibilidad de los objetos detrás del material Wahidin et al., (2021). El propósito de caracterizar la transparencia en películas comestibles es evaluar la capacidad de la película para transmitir luz, particularmente en el espectro visible, que es crucial para diversas aplicaciones. Comprender la transparencia de las películas comestibles ayuda a determinar su idoneidad para envasar productos alimenticios sensibles a la luz y mejorar el atractivo visual de los artículos envasados.

2.1.6.4. Propiedades Térmicas de las Películas Comestibles

2.1.6.4.1. Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico (TGA) se define como "una técnica en la que la masa de una sustancia se mide en función de la temperatura o el tiempo mientras la muestra se somete a un programa de temperatura controlada en una atmósfera controlada" norma ASTM E473-22, (2022).

Nakatsuka & Andrady, (1992), el propósito de utilizar el Análisis Termogravimétrico en películas comestibles es determinar la composición o caracterizar la estabilidad térmica de los componentes de la película.

Radic & Kukoc Modu, (2012), específicamente, el TGA se puede utilizar para cuantificar el contenido de diferentes componentes (como almidón, proteínas o plastificantes)

en películas comestibles analizando la pérdida de peso asociada con la degradación térmica de cada componente en diferentes rangos de temperatura.

2.1.6.4.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

"DSC proporciona información única sobre el perfil energético, que mide específicamente las temperaturas y los flujos de calor asociados con las transiciones materiales en función del tiempo y la temperatura", (Tan et al., 2002).

Según Gómez-Estaca et al.,(2009), la calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica de análisis térmico que mide la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de una muestra en función de la temperatura.

Según menciona Tavares et al., (2021), la DSC se utiliza en la caracterización de películas comestibles para estudiar sus propiedades térmicas, como la temperatura de transición vítrea (Tg), la temperatura de fusión (Tm) y la temperatura de cristalización (Tc).

El propósito de utilizar DSC en la caracterización de películas comestibles es investigar las interacciones entre los componentes de la película (por ejemplo, biopolímeros, plastificantes y otros aditivos) y su influencia en el comportamiento térmico de la película, Abubakar et al., (1998).

La temperatura de transición vítrea, en particular, es un parámetro importante que afecta las propiedades mecánicas y de barrera de las películas comestibles, Temsiripong et al., (2005)..

2.1.6.5. Propiedades de Color de las Películas Comestibles

Para Andriani et al., (2023), el color juega un papel importante en la apariencia y el atractivo de las películas comestibles, lo que puede influir en la aceptación y percepción del producto envasado por parte del consumidor. La adición de tintes naturales a las películas comestibles puede mejorar su atractivo visual y proporcionar beneficios potenciales más allá de la simple coloración. Varios factores influyen en el color de las películas comestibles, incluidas las materias primas utilizadas, los aditivos y las condiciones de procesamiento.

La caracterización del color de las películas comestibles está influenciada por varios factores como se analiza en la investigación. Estos factores incluyen la composición de los materiales formadores de película, la presencia de aditivos o colorantes, condiciones de procesamiento y factores ambientales Zhang & Han, (2006).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. *Papa Nativa*

Según Lavrič et al., (2021), la papa nativa se refiere a las variedades de papa que han sido cultivadas y consumidas durante generaciones en regiones específicas, particularmente en la región andina de América del Sur.

2.2.2. *Almidón*

El almidón es una macromolécula compuesta por dos polímeros de diferente estructura, amilosa (24 al 27%) y amilopectina (77 al 76%) (Vargas et al., 2016). La amilosa se caracteriza por ser una cadena sin ramificar, mientras que la amilopectina es una cadena altamente ramificada (Vargas et al., 2016).

2.2.3. *Almidón modificado*

Marta et al., (2023). Las nanopartículas almidón se caracteriza por su estructura de tamaño nanométrico, que se logra mediante diversos métodos de síntesis y técnicas de modificación. Estas nanopartículas exhiben propiedades únicas que las hacen adecuadas para una amplia gama de aplicaciones en industrias como la tecnología alimentaria, la farmacéutica y la de bioplásticos.

2.2.4. *Nostoc*

Nostoc es un género de cianobacterias filamentosas que se caracterizan por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y su amplia distribución en diversos hábitats acuáticos y terrestres (Whitton & Potts, 2000). Estas cianobacterias forman colonias gelatinosas o mucilaginosas que pueden variar en tamaño y color, y su presencia es común en suelos húmedos, cuerpos de agua dulce y ambientes acuáticos salinos (Whitton & Potts, 2002).

2.2.5. *Película Comestible*

Las películas comestibles son materiales biodegradables y comestibles que se utilizan para envolver o recubrir alimentos, extendiendo su vida útil y mejorando su presentación y seguridad. Estas películas pueden ser elaboradas a partir de una variedad de materiales,

incluyendo proteínas, polisacáridos, lípidos y compuestos bioactivos, que se combinan y procesan para obtener películas con propiedades específicas (Han, 2014).

2.2.6. Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier

La Espectrofotometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés), es una técnica analítica no destructiva que se basa en la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas de una muestra para proporcionar información detallada sobre su composición química y estructura molecular. Esta técnica utiliza un interferómetro para dividir la radiación infrarroja en sus componentes espectrales, que luego son analizados mediante algoritmos matemáticos de Fourier para obtener un espectro infrarrojo de alta resolución (Silverstein et al., 2014).

2.2.7. Microscopía Electrónica de Barrido

La Microscopía Electrónica de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés) es una técnica de microscopía de alta resolución que utiliza un haz de electrones para explorar la superficie de muestras sólidas y generar imágenes detalladas a escala microscópica (Goldstein et al., 1992).

2.2.8. Análisis Termogravimétrico

El análisis termogravimétrico (TGA) es una técnica de análisis térmico que mide los cambios en la masa de una muestra en función del tiempo o la temperatura mientras se somete a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica (Guerrero et al., 2010). Esta técnica proporciona información sobre la estabilidad térmica y la composición de los materiales, ya que permite detectar procesos como descomposición, oxidación y desorción (Guerrero et al., 2010).

2.2.9. Calorimetría Diferencial de Barrido

DSC mide directamente los cambios en la capacidad calorífica asociados con el despliegue térmico de estructuras G-quadruplex, lo que permite la determinación de parámetros termodinámicos como la entalpía de transición (ΔH), la entropía (ΔS) y la energía libre (ΔG). (Pagano et al., 2013).

2.2.10. Permeabilidad al Vapor de Agua

Se refiere a la propiedad de un material de permitir el paso del vapor de agua a través de él (Bertuzzi et al., 2007).

2.3. Antecedentes de la Investigación

2.3.1. Antecedentes Nacionales

Choque Quispe et al. (2021), en su estudio titulado “Preparación y características químicas y físicas de una película comestible a base de almidón de papa nativa y mucílago de nopal” con el objetivo de desarrollar una película comestible utilizando almidón de papa nativa y mucílago de nopal para potenciales aplicaciones en empaques de alimentos. La metodología implicó formular doce películas comestibles diferentes con distintas proporciones de almidón, mucílago y glicerol mediante termo síntesis. Se recolectaron y procesaron para la preparación de la película el almidón de papa nativa de la variedad Allica sipas y el mucílago de nopal. El estudio evaluó la solubilidad, la resistencia a los solventes, la actividad del agua, el análisis FTIR y el análisis SEM de las películas. Los resultados indicaron que la solubilidad de las películas osciló entre 19,77% y 54,08%, mostrando la formulación F3 el mayor porcentaje de solubilidad. La adición de mucílago de nopal y glicerol disminuyó la solubilidad, mientras que el almidón de papa y la temperatura de síntesis aumentaron la solubilidad. El análisis FTIR destacó la interacción de los componentes de la película, particularmente influenciada por la adición de mucílago de nopal. El análisis SEM reveló superficies de película uniformes y sin grietas. El estudio concluyó que las películas comestibles sintetizadas tienen potencial como materiales de embalaje debido a sus propiedades y podrían ofrecer beneficios nutricionales para la conservación de alimentos.

Choque-Quispe et al., (2022). En la investigación titulada “Efecto de la adición de nano cristales de celulosa de cáscara de maíz en el desarrollo de una nueva película comestible” teniendo como fin explorar el impacto de la incorporación de nano cristales de celulosa de cáscara de maíz en películas comestibles . El objetivo fue evaluar cómo la inclusión de nano cristales de celulosa derivados de la hoja de maíz influyó en las propiedades de las películas comestibles. La metodología implicó extraer celulosa de hojas de maíz, preparar nano cristales mediante hidrólisis de ácido cítrico y asistencia de microondas, e integrarlos en películas comestibles. Se realizaron varias caracterizaciones, incluida la absorción de agua, el carbono orgánico total (TOC), el índice de amarillez (YI), el índice de blancura (WI), la transparencia

y la resistencia a la tracción. Los resultados revelaron cambios significativos en las propiedades de las películas con la adición de nano cristales de celulosa. Los valores de absorción de agua fueron 8,22% para los nano cristales, 4,32% para el almidón, 1,05% para M1-C, 0,94% para M2-C, 0,69% para M3-C y 0,71% para M4-S. Los valores de TOC fueron 83,36% para nano cristales, 91,63% para almidón, 97,27% para M1-C, 97,14% para M2-C, 97,03% para M3-C y 96,92% para M4-S. El estudio concluyó que las películas comestibles que incorporan nano cristales de celulosa de cáscara de maíz presentan potencial para aplicaciones de envasado de alimentos, ofreciendo características respetuosas con el medio ambiente y contribuyendo a la economía circular.

En el estudio de Chocano Peralta, (2019), titulado "Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucílago de nopal" se investigó la formulación y caracterización de una biopelícula a base de almidón de papa y mucílago de nopal. El objetivo fue evaluar las propiedades físicas y mecánicas de esta biopelícula para determinar su viabilidad como material para aplicaciones comestibles. La metodología incluyó la preparación de la biopelícula y su posterior análisis para determinar propiedades como la resistencia a la tracción, la elongación, la permeabilidad al vapor de agua y la transparencia. Los resultados mostraron que la biopelícula presentó una resistencia a la tracción de 12.5 MPa, una elongación del 15%, una permeabilidad al vapor de agua de 3.5 g/m²·día y una transparencia del 85%. En conclusión, la biopelícula formulada con almidón de papa y mucílago de nopal demostró ser una opción prometedora para aplicaciones comestibles debido a sus propiedades físicas y mecánicas adecuadas.

En el estudio de Guevara, (2022), titulado "Obtención y caracterización de biopelículas comestibles para recubrir alimentos a partir de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)" se investigó la formulación y caracterización de biopelículas comestibles para recubrir alimentos. El objetivo fue obtener y caracterizar biopelículas comestibles a partir de mucílago de nopal y almidón de oca. La metodología incluyó la preparación de 9 biopelículas comestibles por termoformado que fueron secadas a 40, 50 y 60 °C. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas, mecánicas y térmicas. Los resultados mostraron una solubilidad en agua superior a 91%, una actividad de agua entre 0.402 y 0.573, una densidad entre 1.803 y 2.238 g/mL, una elongación que se ve favorecida por la glicerina, pero afecta su resistencia a la tensión, y una pérdida de masa alrededor de los 300 °C en el análisis termogravimétrico. Además, el análisis IR mostró relación entre los componentes y el nuevo ordenamiento molecular de las biopelículas. En conclusión, el estudio demostró que las

biopelículas comestibles presentan propiedades adecuadas para su aplicación en la industria alimentaria.

En la investigación de Ayquipa-Cuellar et al., (2021), titulada “Evaluación del mucílago de piel de tuna y almidón de cáscara de patata para la producción de películas comestibles para industrias de envasado de alimentos” tuvo como interés por las películas comestibles biodegradables el cual motivó esta investigación a valorar los subproductos agroindustriales como recursos sostenibles. El objetivo fue fabricar películas comestibles a partir de mucílago de cáscara de tuna (PPM) y almidón de cáscara de papa (PHS) y caracterizar sus propiedades físico-químicas. Se prepararon seis formulaciones de película variando los contenidos de PPM (10-20 ml), PHS (1-2 g) y glicerina (1,05-1,96 g). El vinagre se mantuvo constante como agente acidificante. Las películas se caracterizaron por su espesor (0,09-0,22 mm), densidad (1,00-2,06 g/cm³), opacidad (0,089-0,541), humedad (10,079-12,462%), solubilidad en agua (39,676-54,430%), capacidad de retención de agua. (19,704-77,860%), y permeabilidad al vapor de agua excepcionalmente baja (1.2×10^{-16} - 2.5×10^{-15} g/m.s.Pa). Los análisis FTIR y SEM confirmaron las interacciones de los componentes y las microestructuras de películas homogéneas. Los resultados demostraron la viabilidad de producir películas comestibles, especialmente para envases de productos frescos, a partir de la valorización de estos residuos agroindustriales.

2.3.2. Antecedentes Internacionales

Se según la investigación de Brain Wilfer et al., (2021). en el estudio titulado " Efecto del tipo de almidón sobre las propiedades de las películas comestibles a base de almidón nativo.", se investigó el efecto del tipo de almidón en las propiedades de películas comestibles a base de almidón nativo. El objetivo fue evaluar el impacto de diferentes fuentes de almidón, como maíz, papa y tapioca, en las características de las películas. La metodología incluyó la preparación de las películas y su caracterización en términos de propiedades mecánicas, de barrera y ópticas. Los resultados mostraron que el tipo de almidón afectó significativamente las propiedades de las películas. Las películas de almidón de papa presentaron una mayor resistencia a la tracción de 25 MPa, un menor porcentaje de elongación de 15% y una menor permeabilidad al vapor de agua de 2.5 g/m²·día en comparación con las películas de almidón de maíz y tapioca. En cuanto a las propiedades ópticas, las películas de almidón de papa exhibieron una mayor transparencia con un valor de transmitancia de luz del 90%. En

conclusión, el estudio demostró que el tipo de almidón utilizado tiene un impacto significativo en las propiedades de las películas comestibles, siendo el almidón de papa el que presenta mejores características para su aplicación en el envasado de alimentos.

En la investigación titulada "Preparación de películas compuestas de quitosano/curcumina a base de nanopartículas de zeína y almidón de patata para la conservación de filetes de *Schizothorax prenati*" de Xin et al. (2020), el objetivo era desarrollar una película compuesta de zeína/almidón de patata incorporada con nanopartículas de quitosano/curcumina (CCN) para conservar filetes de pescado de *Schizothorax prenati*. La metodología implicó preparar CCN mediante gelificación iónica de quitosano con tripolifosfato de sodio y cargar curcumina, seguido de la incorporación del CCN optimizado en una matriz de película de zeína/almidón de patata. El CCN tenía un tamaño de partícula de $218,7 \pm 1,32$ nm, un potencial zeta de $17,4 \pm 1,2$ mV, un índice de polidispersidad de $0,252 \pm 0,012$ y una eficiencia de encapsulación de curcumina de $84,8 \pm 1,1\%$. La película compuesta con una relación 5:5 zeína:CCN exhibió el mejor desempeño general, con una resistencia a la tracción de $13,6 \pm 2,4$ MPa, alargamiento a la rotura de $52,4 \pm 4,5\%$, permeabilidad al vapor de agua de $1,39 \pm 0,03 \times 10^{-4}$ g·mm/h·m²·kPa, permeabilidad al oxígeno de $2,23 \pm 0,06 \times 10^{-14}$ cm³/m·s·Pa, eficiencia de liberación de curcumina de $52,5 \pm 2,7\%$ y alta actividad antioxidante. La investigación concluyó que la película compuesta de CCN, zeína y almidón de patata desarrollada es un material de embalaje bioactivo prometedor para conservar los filetes de *Schizothorax prenati*.

En la investigación de Gómez-Aldapa et al., (2020) titulado "Caracterización de propiedades funcionales de películas biodegradables basadas en almidones de diferentes fuentes botánicas." estudiaron las propiedades funcionales de películas biodegradables elaboradas con almidones de diferentes fuentes botánicas. El objetivo fue evaluar el efecto de la fuente de almidón en las propiedades mecánicas, de barrera y térmicas de las películas. Se utilizaron almidones de maíz, papa, trigo y yuca para elaborar las películas por el método de casting. Se caracterizaron las propiedades de tracción, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua, opacidad y propiedades térmicas. Los resultados mostraron que las películas de almidón de papa presentaron mayor resistencia a la tracción (6.8 MPa) y menor permeabilidad al vapor de agua (1.1 g/m²·día), mientras que las películas de almidón de yuca tuvieron mayor elongación a la ruptura (25.5%) y menor opacidad (4.5%). Todas las películas presentaron solubilidad en agua entre 25-35% y temperaturas de transición vítrea entre 55-

65°C. En conclusión, la fuente de almidón afecta significativamente las propiedades funcionales de las películas biodegradables, lo que permite seleccionar la fuente más adecuada según la aplicación deseada.

En la investigación de González-Soto et al.,(2019), titulado “Preparación y caracterización parcial de películas elaboradas con almidón de patata dualmente modificado (acetilación y reticulación)” donde se propuso el almidón como un material alternativo para producir películas biodegradables; sin embargo, los almidones nativos tienen limitaciones debido a su naturaleza hidrofílica. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos de la modificación dual (acetilación y reticulación) de un almidón de papa comercial sobre las propiedades mecánicas, de barrera y fisicoquímicas de sus películas. El almidón de patata doblemente modificado se obtuvo comercialmente y las películas se prepararon colando a partir de dispersiones acuosas plastificadas con glicerol. La caracterización incluyó grado de sustitución de grupos acetilo ($0,058 \pm 0,006$), patrones de difracción de rayos X, propiedades térmicas, perfiles de pasta, reología, propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, isothermas de sorción y microscopía electrónica de barrido. Las películas de almidón con doble modificación exhibieron mayor alargamiento (82,81%), pero menor resistencia a la tracción (2,17 MPa), cristalinidad (25,4% fresco, 29,2% después de 30 días), permeabilidad al vapor de agua ($1,28 \times 10^{-10}$ g/msPa). y solubilidad (32,86%) en comparación con las películas de almidón nativo. Los autores concluyeron que la modificación dual del almidón podría ser una opción viable para mejorar las propiedades de las películas de almidón biodegradables.

Según la investigación de Indrianti et al., (2018), titulada "Preparación y caracterización de películas comestibles elaboradas a partir de almidón de camote nativo y modificado" donde se propusieron investigar el impacto del tratamiento con calor-humedad (HMT) en las propiedades de las películas comestibles derivadas del almidón de camote. La metodología implicó la preparación de películas comestibles a partir de almidón de camote nativo y modificado, seguido de su caracterización mediante diversas pruebas. Los resultados indicaron que el contenido de humedad de las películas comestibles de almidón de camote modificado osciló entre 12,79% y 14,71%, sin diferencia significativa en comparación con las películas nativas. La adición de un 1,5% de almidón aumentó significativamente el contenido de humedad. Se encontró que la resistencia a la tracción y el alargamiento de rotura de las películas modificadas eran mayores que los de las películas nativas. Los análisis de permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, morfología, propiedades térmicas y difracción de rayos X revelaron

valores y características específicos de las películas comestibles. En general, el estudio concluyó que el HMT no afectó significativamente el contenido de humedad de las películas y que las películas de almidón de camote modificado exhibieron propiedades mecánicas mejoradas en comparación con las películas nativas.

2.4. Hipótesis de la Investigación

2.4.1. Hipótesis General

Las películas comestibles elaboradas con almidón de papa nativa, almidón modificado, Nostoc atomizado y glicerina presentan variaciones significativas en sus propiedades térmicas, mecánicas, fisicoquímicas, estructurales y de color dependiendo de las formulaciones y temperaturas de moldeo empleadas.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- ✓ Las diferentes formulaciones y temperaturas de moldeo afectan significativamente las propiedades térmicas y mecánicas de las películas comestibles.
- ✓ Las formulaciones y temperaturas de moldeo influyen en las características fisicoquímicas y estructurales de las películas comestibles.
- ✓ Las variaciones en las formulaciones y temperaturas de moldeo influyen en el color de las películas comestibles.

2.5. Identificación de Variables e Indicadores

2.5.1. Variables independientes

Las variables independientes o de estudio se pueden controlar, manejar o pueden ser modificadas por el investigador, para ello tenemos.

- ✓ Formulación (F1, F2 y F3) donde cada Formulación está compuesta por NA/AN: Nostoc Atomizado/Almidón Nativo, AM: Almidón Modificado y G: Glicerina, en diferentes porcentajes.
- ✓ Temperatura de moldeo (50°C y 60°C)

2.5.2. Variables Dependientes

Se considera como variable respuesta de la variable independiente, el producto final donde se evaluará con las siguientes variables.

- ✓ Propiedades estructurales (grupos funcionales FT-IR, estructura superficial SEM).
- ✓ Propiedades Mecánicas (resistencia a la tracción, elongación y espesor).

- ✓ Propiedades físico-químicas (permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en medio acuoso, resistencia a solventes, transparencia y actividad de agua).
- ✓ Propiedades térmicas (análisis termogravimétrico TGA, calorimetría diferencial de barrido DSC).
- ✓ Características de color (coordenadas CIELab).

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 5

Esquema de variables identificados.

Variables	Indicador	Unidad	Método	Técnica	Instrumento
Independientes					
Formulación	F1, F2 y F3	mL	Formulación	Medida	Probeta
°T	50 °C y 60°C	°C	Medida	Medida	Termómetro
Dependientes					
Propiedades Estructurales	Grupos Funcionales	%Transmitancia/longitud de Onda (cm ⁻¹)	Espectroscópico	Espectroscopia Infrarrojo	Espectrofotómetro de Fourier
	Estructura Superficial	µm	Microscopio Electrónico	Microscopio Electrónico de Barrido	Microscopio Electrónico de Barrido
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Tracción	N/m ²	Tracción	Tracción	Máquina de esfuerzos
	Porcentaje de Elongación	%	Tracción	Tracción	Máquina de esfuerzos
	Espesor	mm	Medida	Medida	Micrómetro
	PVA	g.mm/h. m ² Pa	Difusión	Medida	Calculo

Propiedades Físico-químicas	Aw	-	Higrómetro	Medida	Higrómetro
	Resistencia a Solventes	-	Observación	Dilución	Observación
	%S	%	Gravimétrico	Solubilidad	Balanza Analítica
	Transparencia	%	Fotómetro	Espectroscopia	Espectrofotómetro
Propiedades Térmicas	TGA	-	Térmico/Gravimétrico	Termogravimétrico	Analizador TGA
	DCS	-	Micrográfico	Microfotográfico	Calorímetro
Color	L*, a* y b*	-	Medida	Medida	Colorímetro

Nota: Donde F; Formulación compuesta en diferentes % de AN: Almidón Nativo, NA: Nostoc Atomizado, AM: Almidón Modificado y G: Glicerina

CAPITULO II

Materiales y Metodología de Investigación

3.1. Ámbito de Estudio

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación e Innovación de Productos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNSAAC, en la ciudad de Sicuani, ubicada entre las coordenadas 14°30' y 14°56' de latitud sur y 71°24' y 71°39' de longitud oeste, a una altitud de 3,548 m.s.n.m. Las caracterizaciones y ensayos de las películas comestibles se llevaron a cabo en los laboratorios de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional José María Arguedas de Andahuaylas (UNAJMA), utilizando equipos especializados para garantizar precisión en los resultados obtenidos.

3.2. Tipo y Nivel de Investigación

Esta investigación corresponde al tipo aplicada-experimental, donde se manipulan variables independientes para observar su efecto sobre las variables dependientes. Los resultados obtenidos tienen un impacto directo en las propiedades de las películas comestibles, permitiendo una evaluación precisa de su comportamiento y funcionalidad.

3.3. Unidad de Análisis

Fueron las películas comestibles elaboradas a partir de almidón de papa nativa, almidón modificado, Nostoc atomizado y glicerina.

3.4. Población de Estudio

Se investigaron películas producidas utilizando almidón de papa, almidón modificado, Nostoc atomizado y glicerina como plastificante. Estas películas se sometieron a diversas pruebas con el fin de evaluar sus características físicas, mecánicas, estructurales, fisicoquímicas y de color. El grupo de estudio consistió tres diferentes formulaciones con diferentes porcentajes de almidón de papa nativa, almidón modificado, Nostoc atomizado y glicerina, donde cada solución filmogénica de las películas comestibles fueron 50 ml para cada formulación.

3.5. Tamaño de Muestra

Se planteó utilizar tres formulaciones a dos diferentes temperaturas de tratamiento de las películas comestibles con diferentes con diferentes porcentajes de Nostoc Atomizado/Almidón Nativo, Almidón Modificado y glicerina.

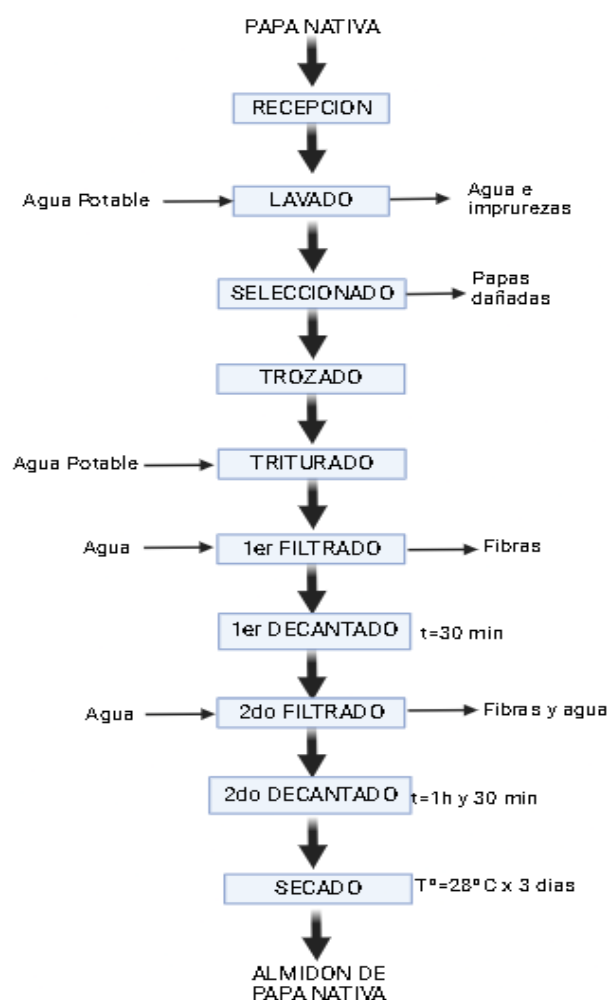
3.6. Técnicas de Recolección de Información

3.6.1. Metodología de Extracción del Almidón de Papas Nativas

La extracción del almidón de papa nativa de la variedad Yuraq Anqa se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Abanto, (2017) el cual se detalla en la figura03, el proceso de extracción del almidón de papa nativa. Primero, se recepcionan y lavan los tubérculos con agua potable para eliminar impurezas. Tras la selección de las papas en buen estado, se trozan para facilitar la trituración, que se realiza también con agua potable. Luego, el primer filtrado separa las fibras del almidón. Tras 30 minutos de decantado, se efectúa un segundo filtrado con adición de agua para remover más fibras. El segundo decantado toma 1 hora y 30 minutos. Finalmente, el almidón líquido se seca a una temperatura controlada de 28°C durante tres días, obteniendo el producto final.

Figura 3

Proceso de extracción del almidón de papa nativa

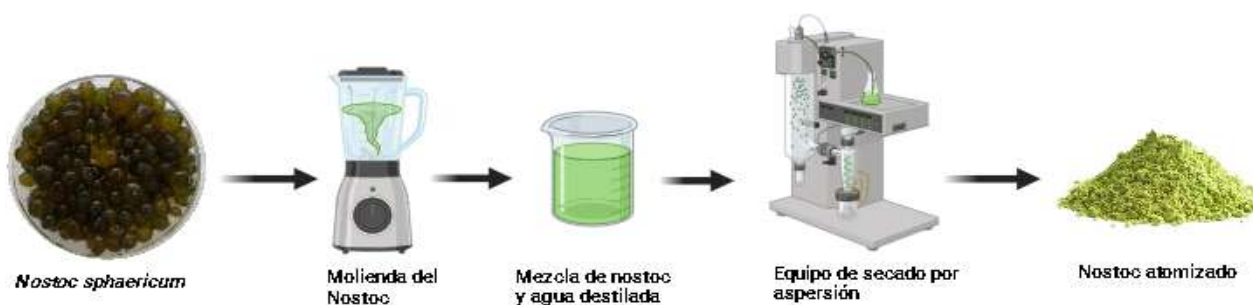


3.6.2. Obtención del Nostoc Atomizado

Se utilizó la metodología descrita por Choque Quispe et al. (2022), en la cual las muestras de *Nostoc sphaericum* pasaron una molienda en una proporción 1:1 con agua destilada y luego tamizadas utilizando una malla de 45 micras. El extracto obtenido fue procesado mediante secado por aspersión en un secador mini spray modelo B-290, marca Büchi (Flawil, Suiza). Durante el proceso, se mantuvo una agitación constante de 100 rpm, con una temperatura de entrada de 100 °C, flujo de aire de 600 L/s y velocidad de succión de 38 m³/h. El polvo resultante fue almacenado para su posterior caracterización.

Figura 4

Proceso de obtención del Nostoc Atomizado

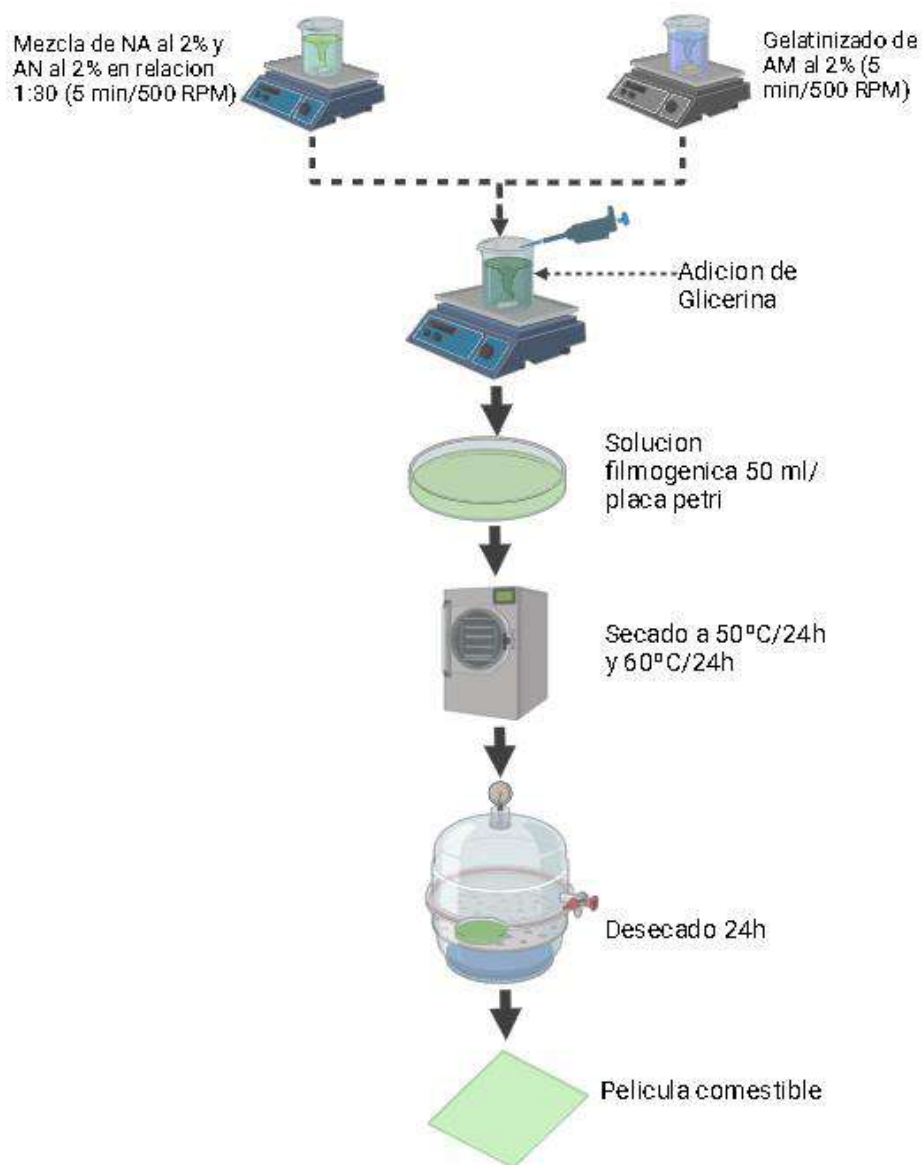


3.6.3. Elaboración de la película comestible

Se usó la metodología descrita por Choque Quispe et al., (2021) con algunas modificaciones para la elaboración de la película comestible se realizó en base de tres formulaciones a dos diferentes temperaturas de moldeo (50°C y 60°C), como se describe en la figura 5.

Figura 5

Elaboración de la película comestible



La elaboración de la película comestible comienza con la mezcla de Nostoc Atomizado (NA) y Almidón Nativo (AN), ambos al 2%, en una relación de 1:30, para luego ser gelatinizado durante 5 minutos a 500 RPM. Paralelamente, se gelatiniza el Almidón Modificado (AM) al 2% bajo las mismas condiciones de tiempo y velocidad. Posteriormente, se añade glicerina a la solución mezclada. La cantidad de glicerina varía según la formulación, tal como se especifica en la tabla 6. Esta solución filmogénica se vierte en una placa de Petri, utilizando 50 ml por placa. El siguiente paso es el secado de la solución, el cual se realiza a dos temperaturas diferentes (tratamientos): primero a 50°C durante 24 horas y luego a 60°C durante otras 24 horas. Posteriormente, la película se deseca durante 24 horas adicionales. Las diferentes formulaciones

se secan a distintas temperaturas, según lo indicado: en las formulaciones F1, F2 y F3 a 60°C y 50°C. Finalmente, se obtiene la película comestible. Este proceso detallado garantiza la producción de una película comestible con las propiedades deseadas, utilizando una combinación específica de NA/AN, AM y glicerina, ajustada por los diferentes formulaciones y temperaturas de secado para optimizar sus características.

Tabla 6

Formulación para la elaboración de la película comestible

Formulación	NA/AN al 2%	AM al 2%	G (%)
F1,60°C	92%	5%	3%
F2,60°C	91%	7%	2%
F3,60°C	90%	9%	1%
F1,50°C	92%	5%	3%
F2,50°C	91%	7%	2%
F3,50°C	90%	9%	1%

Nota: Donde :NA/AN, Nostoc Atomizado/Almidón Nativo; AM, Almidón Modificado y G, Glicerina

3.7. Técnicas de Recolección de Información

3.7.1. Caracterización Estructural de Películas Comestibles.

3.7.1.1. Espectrofotometría de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FT-IR)

Para esta caracterización de las películas comestibles se utilizó la metodología descrito por Choque Quispe et al., (2022), donde se usó comprimidos prensados preparados con 0,1% de la película en KBr (IR Grade, Darmstadt, Alemania). Se llevaron al módulo de transmisión del espectrómetro FT-IR (espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier), Thermo Fisher (Waltham, MA, EUA), modelo Nicolet IS50, en un rango de 4000 a 400 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} .

3.7.1.2. Estructura Superficial SEM

Las microfotografías se obtuvieron utilizando un microscopio electrónico de barrido Prisma E (Thermo Fisher Scientific, MA, EE. UU). Se utilizó microanálisis de dispersión de energía de rayos X, las películas fueron colocadas en una cinta adhesiva y llevado a la cámara de vacío del equipo con una aceleración de 30 kV y aumento de 1000×. El software del equipo Velox 2.9 (FEI, Waltham, MA, EE. UU.) identificó la superficie del biopolímero.

3.7.2. Caracterización Mecánica de Películas Comestibles

3.7.2.1. Resistencia a la Tracción y Porcentaje de Elongación

Según describe Kurt & Kahyaoglu, (2014). La resistencia a la tracción (TS) y el porcentaje de elongación a la rotura (E%) se determinaron con la máquina de ensayos ME-8236 basado en el método estándar ASTM 882 (ASTM, 2001). Las películas se cortaron en tiras (10 mm × 100 mm) y se acondicionó durante 3 días (43% HR). Antes de la prueba, se midió el grosor de las tiras en diez puntos. La fuerza y la distancia se registraron durante la extensión de las tiras montadas entre las empuñaduras a 2 mm/s hasta la rotura. Los resultados dados son el promedio de cinco muestras. La resistencia a la tracción y el alargamiento porcentual en el punto en el que se rompió la película se calcularon con las siguientes ecuaciones.

$$(TS) = \frac{\text{Fuerza Maxima (N)}}{\text{Espesor (m)} * \text{Ancho (m)}} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 1.}$$

$$E\% = \frac{dr}{do} * 100 \dots \dots \dots \text{Ecuacion 2.}$$

Donde E% es el porcentaje de elongación a la rotura, *do* es la distancia al inicio de la separación (mm) y *dr* es la distancia a la rotura o la longitud final (en el momento de la rotura), medida en milímetros (mm).

3.7.2.2. Espesor

Oregel Zamudio et al., (2016). El grosor se determinó con un micrómetro (Mitutoyo MDC-1 PX, Kamata, Japón). A un total de 10 muestras, determinados en diferentes puntos del film.

3.7.3. Caracterización Físico-Química de las Películas Comestibles

3.7.3.1. Permeabilidad al Vapor de Agua

Según describe Díaz Saenz, (2019). Esta característica se realizó bajo la norma ASTM E-96/ E-96M-05, se utilizaron tubos de ensayo con un diámetro de 13.628 mm, a los que se añadió agua destilada 10ml y luego fueron sellados con película comestible, con un espesor de 0.153 mm en promedio, luego se llevó a la campana de desecación que contenía silica gel SiO_2 , los 6 tratamientos en una gradilla, la humedad relativa en el interior de la campana desecadora fue de 32% a temperatura de 16.8°C y la humedad relativa del exterior de la campana fue de 50% a la misma temperatura, luego se pesó las muestras periódicamente con una frecuencia de tiempo de 2 horas durante 34 horas en una balanza analítica de marca A&D Weighing modelo HR-250AZ de procedencia Reino Unido. La presión de saturación del vapor de agua a presión de vapor 1934.00 Pa en función a la temperatura. Los resultados de la transmisión al vapor de agua fueron calculados graficando el tiempo vs peso, y se ajustó a una línea recta, la pendiente de la recta fue el índice de transmisión del vapor de agua.

$$\text{Aumento} = P_1 - P_n \dots \dots \dots \text{Ecuacion 3.}$$

Dónde:

Aumento: Ganancia de peso en el tubo en un periodo determinado, gramos

P_n : Peso del tubo tomado en un tiempo conocido

P_1 : Peso inicial del tubo en el ensayo

$$VTVA = \frac{d_m}{d_t} * \frac{1}{A} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 4.}$$

Dónde:

VTVA: Velocidad de transmisión de vapor de agua

d_m/d_t : Diferencia de masa a través del tiempo

A : Área de la película expuesta

$$TPVA = \frac{VTVA}{P(R_1 - R_2)} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 5.}$$

Dónde:

TPVA: Tasa de permeabilidad al vapor de agua

P : Presión de vapor de saturación a la temperatura experimental, kPa

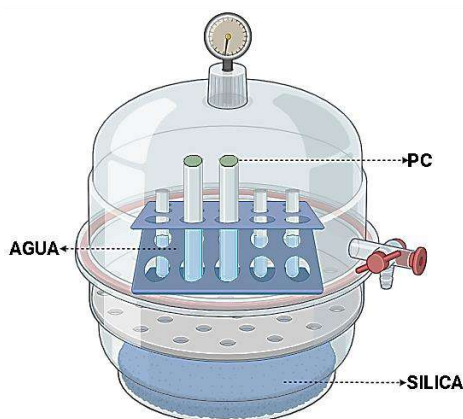
R_1 : Humedad relativa de la cámara, en fracción

R_2 : Humedad relativa interna del tubo de prueba, en fracción

$$\text{Permeabilidad} \left(g * \frac{mm}{h} * m^2 * kPa \right) = \frac{TPVA}{\text{Espesor}} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 6.}$$

Figura 6

Ensayo para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua



3.7.3.2. Actividad de Agua

Se usó la metodología descrita por Choque-Quispe et al., (2022). Las muestras de películas (1cm x 1cm) se llevaron a un determinador de actividad de agua (A_w) previamente calibrado, marca Rotronic, modelo HygroPalm23-AW (Bassersdorf, Suiza) para ello se realizaron 5 repeticiones de cada muestra.

3.7.3.3. Resistencia a Solventes

Para esta caracterización se utilizó la metodología descrita por Chocano Peralta, (2019), con algunas modificaciones. El comportamiento plástico de la película se puso a prueba con algunos disolventes, ácidos y bases. Se colocaron muestras de película de 0.5 x 1cm en tubos de ensayo con 2 mL de las siguientes sustancias: agua destilada, acetona, alcohol etílico, ácido clorhídrico (0.1 M), ácido acético (0.1 M) e hidróxido de sodio (0.1 M), respectivamente. Las muestras se mantuvieron inmersas durante 10 h a 20 °C. (López et al., 2018), para lo cual se trabajó

basándose en la metodología descrita por el autor teniendo como diferencia el uso de agua destilada, alcohol de 90°, ácido clorhídrico (0.1 M), ácido acético (0.1 M) e hidróxido de sodio (0.1 M).

3.7.3.4.Solubilidad

Para determinar esta propiedad, se siguió la metodología de Vanegas (2014) con modificaciones. Se cortaron películas de 2x2 cm y se pesaron en una balanza analítica A&D Weighing HR-250AZ. Luego, se sumergieron en 80 ml de agua destilada en un vaso de precipitado y se agitaron a 400 rpm durante 30 minutos en un agitador magnético OXFORD MHS-10L. Posteriormente, las muestras se filtraron, se colocaron en placas Petri y se secaron en un horno eléctrico Whirlpool WOB60M a 110 °C por 24 horas. Finalmente, se pesaron nuevamente las muestras para su análisis.

El porcentaje de solubilidad se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\%S = \frac{(Peso\ Inicial - Peso\ Final)}{Peso\ Inicial} * 100 \dots \dots \dots Ecuacion\ 7.$$

3.7.3.5.Transparencia

Para determinar la transparencia de las películas comestibles se utilizó la metodología descrita por Oregel-Zamudio et al., (2016) con una modificación que consistía en cortar tiras de (35mm x 9 mm) a una longitud de onda de 600 nm, en el Espectrofotómetro Tipo UV-vis i8 de la marca Hanon Instruments de procedencia China, dichos valores obtenidos de absorbancia se divide por el espesor de la película respectivamente para la obtención de los valores de transparencia de las Películas Comestibles.

3.7.4. Caracterización Térmica de las Películas Comestibles

3.7.4.1.Análisis Termogravimétrico (TGA)

Para el análisis termogravimétrico de las películas comestibles se colocaron muestras en crisoles de alúmina (Al₂O₃) y se transfirieron al instrumento (TA Instruments, TGA550, New Castle, DE, EE. UU.) con el software Trios V5.0.0.44616T. El calentamiento se programó de 20 a

600 °C, con una tasa de calentamiento de 10 °C/min y un suministro de nitrógeno a 50 mL/min. Las curvas de degradación se mostraron con el software del equipo.

3.7.4.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Para la caracterización por calorimetría diferencial de barrido de las películas comestibles se analizaron utilizando un calorímetro diferencial de barrido (TA Instruments, modelo DSC2500 Waters TM, New Castle, DE, EE. UU.) en una atmósfera de nitrógeno (50 mL/min). Las muestras se sellaron en una bandeja de aluminio y se escanearon desde 20 hasta 200 °C, a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min. El equipo se estabilizó a través de una ejecución de línea base bajo condiciones analíticas durante 1 hora.

3.7.5. Color de las Películas Comestibles

Se usó la metodología utilizada por Choque-Quispe et al., (2022), donde para las características de color de las películas se midieron con el colorímetro Konica Minolta, modelo CR-5 (Tokio, Japón), se determinó la luminosidad L^* (0 = negro y 100 = blanco), croma a^* (+a = rojo, -a = verde), croma b^* (+b = amarillo y -b = azul).

3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Con el propósito de analizar los impactos de las variables de entrada o componentes, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANVA). Asimismo se empleó el test de comparación múltiple de Turkey con el objetivo de discernir la formulación que presente diferencias significativas y para comprender cómo las temperaturas empleadas en la etapa de moldeo de las películas comestibles ejercieron su influencia.

3.9. Metodología Demostrativa de Hipótesis

Los valores obtenidos en la investigación para las variables independientes (propiedades estructurales, propiedades físico – químicas, propiedades mecánicas, térmicas y de color) fueron evaluadas con una diferencia significativa de $p < 0.05$, donde se aplicó un análisis de varianza (ANVA) de tres factores con interacción (dos temperaturas de moldeo) en consecuencia se comprobó las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula, H0: Las características estructurales, mecánicas, fisicoquímicas, térmicas y de color no presentan diferencia significativa para las películas comestibles con distintas formulaciones de Nostoc Atomizado/Almidón Nativo, Almidón Modificado, y glicerina.

Hipótesis alterna, HA. Las características estructurales, mecánicas, fisicoquímicas, térmicas y de color presentan diferencia significativa para las películas comestibles con distintas formulaciones de Nostoc Atomizado/Almidón Nativo, Almidón Modificado, y glicerina

CAPITULO III

Resultados y Discusiones

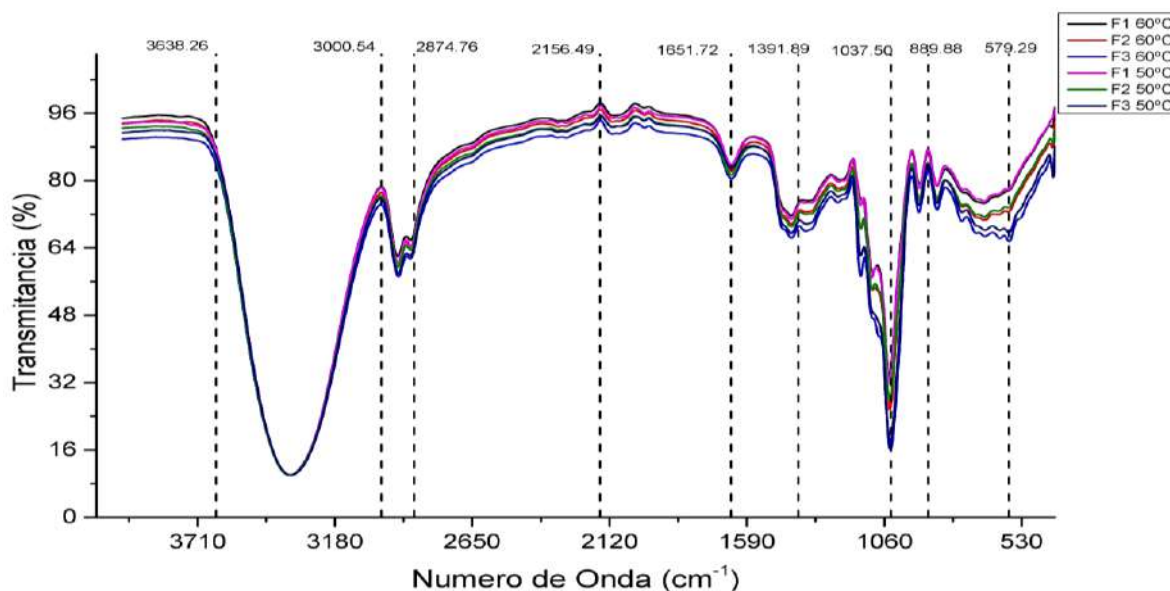
4.1. Características Estructurales

4.1.1. Identificación de Grupos Funcionales por FT-IR

Este estudio, utiliza un análisis mediante FT-IR para examinar las películas comestibles y obtener resultados de las interacciones entre sus componentes principales: almidón de papa nativa, Nostoc, almidón modificado de papa nativa y glicerina, los cuales están presentes en la estructura básica en todas las formulaciones. El análisis se efectuó en la región de infrarrojo medio, abarcando números de onda desde 4000 cm^{-1} hasta 400 cm^{-1} .

Figura 7

Espectros de infrarrojo de las películas comestibles



Nota: Los espectros (FT-IR) que se muestra en la Fig. 6. para las tres formulaciones a dos tratamientos de temperaturas de moldeo de las películas comestibles, donde la denotación es F1, F2 y F3 a (60°C y 50°C respectivamente).

El análisis FT-IR mostró diferencias clave en las vibraciones de estiramiento y picos de absorción entre las películas comestibles. El pico de absorción a 3430 cm^{-1} , asociado con las vibraciones de NH y OH, se desplazó a 3360 cm^{-1} en la película compuesta, sugiriendo la

presencia de alcohol. El pico a 2940 cm^{-1} , relacionado con la vibración CH de los grupos metilo del éster, fue más intenso en el almidón nativo, indicando una mayor concentración de este en la película. Las vibraciones C=C más fuertes se encontraron alrededor de 1650 cm^{-1} en todas las muestras, mientras que las de los grupos C-O, C-H y -OH aparecieron cerca de 1460 cm^{-1} , destacando la resistencia de las cadenas de carbohidratos polimerizados. Los espectros también mostraron bandas anchas en 3360 cm^{-1} , asociadas con grupos hidroxilo (-OH) y enlaces de hidrógeno intermoleculares típicos de los polisacáridos.

Las bandas en 1047 cm^{-1} y 1022 cm^{-1} reflejan cambios en la cristalinidad del almidón, permitiendo medir la proporción de almidón cristalino frente al amorfo. Las bandas alrededor de 994 cm^{-1} son sensibles a la cristalinidad y al contenido de agua, revelando la unión intramolecular de hidrógeno en la estructura del almidón. Este análisis destaca la influencia de los componentes y sus interacciones en las propiedades físicas y químicas de las películas comestibles.

Choque-Quispe et al., (2021), menciona que el rango entre 1500 cm^{-1} y 800 cm^{-1} se conoce como la huella digital del material, y prevalecen los grupos funcionales -OH, C-O, -CH₂, C-O-C, que incluye moléculas de azúcares, alcoholes y ácidos orgánicos presentes en el almidón de papa y el mucílago de nopal, siendo característicos de este tipo de materiales.

También Hollmann et al., (2009), hace mención a la información de las regiones de los espectros mostrados en la Fig. 6. podemos apreciar que en la región de $3370\text{-}3240\text{ cm}^{-1}$ se presenta una amplia banda típica del grupo funcional -OH, que indican la presencia de los enlaces de hidrogeno polimérico.

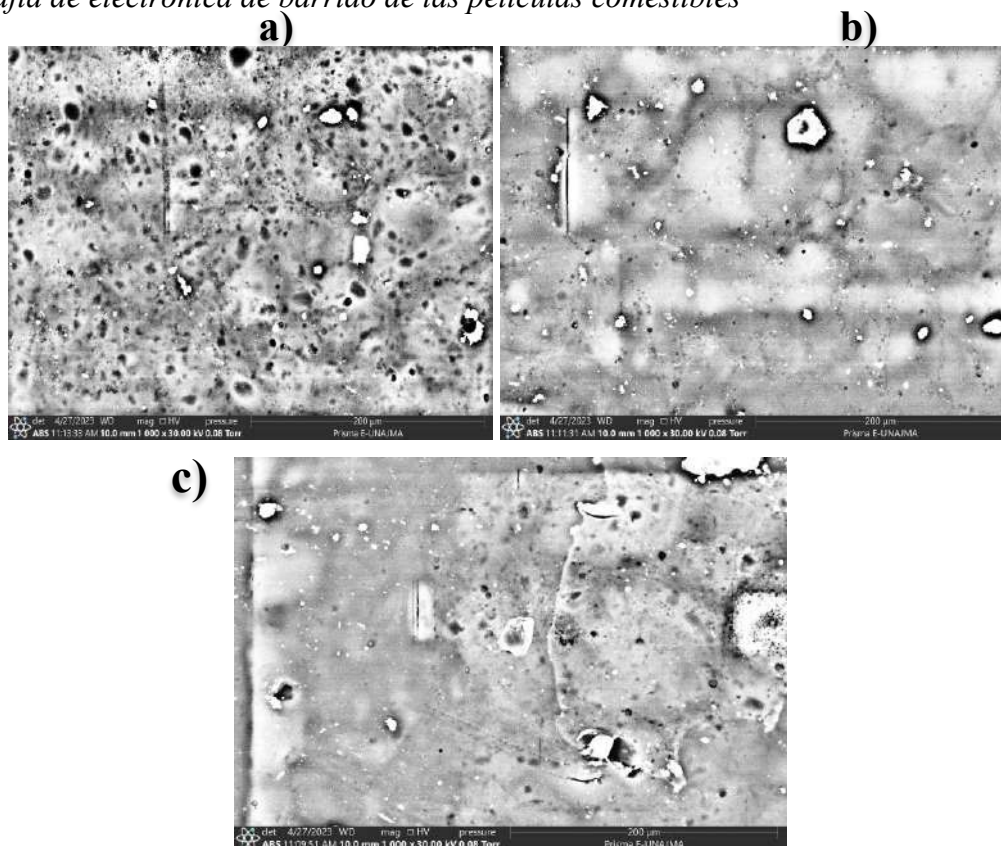
Resultados similares también presento Torres et al., (2019), donde analiza mediante FTIR los espectros infrarrojos del almidón nativo y oxidado para la elaboración de biopelículas comestibles. Los resultados muestran la oxidación de grupos hidroxilo a carbonilo y carboxilo en el almidón de papa. Se observa una banda ancha en $3100\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$, indicando un aumento de uniones O-H hidrofílicas en el almidón oxidado. Además, se identifican bandas en 2920 cm^{-1} (C-H), $1630\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ (C=O), 1620 cm^{-1} (C=N), 1600 cm^{-1} (flexión de agua) y $1050\text{-}1150\text{ cm}^{-1}$ (vibraciones glucosídicas), confirmando cambios estructurales clave en el proceso de degradación.

4.1.2. Estructura Superficial de las Películas Comestibles por SEM

La estructura superficial de las películas comestibles formuladas F1:(92%:NA/AN al 2%, 5%:AM al 2% y 3%:G), F2:(91%:NA/AN al 2%, 7%:AM al 2% y 2%:G), y F3:(90%:NA/AN al 2%, 9%:AM al 2% y 1%:G), fue analizada utilizando Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). En las imágenes presentadas en la Figura 8, se observa una superficie uniforme y sin grietas para todas las formulaciones. Estos resultados indican una adecuada distribución y cohesión de los componentes, lo cual es crucial para asegurar la integridad mecánica y funcionalidad de las películas comestibles. La ausencia de grietas sugiere que las formulaciones poseen una resistencia estructural adecuada, lo que podría traducirse en una mayor durabilidad y efectividad como recubrimientos protectores para productos hortofrutícolas. Además, la uniformidad en la superficie implica una homogeneidad en la mezcla de los ingredientes, lo que es esencial para garantizar una barrera efectiva contra la humedad, mejorando así la conservación de los alimentos.

Figura 8

Micrografía de electrónica de barrido de las películas comestibles



Nota: Micrografías de las películas comestibles. Donde las letras (a, b y c) representan a las formulaciones de las películas comestibles (F1, F2 y F3) respectivamente.

El análisis microestructural mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) reveló una conexión importante entre la composición, la morfología y la funcionalidad entre las formulaciones. Las formulaciones F2 y F3, que contienen menos matriz polimérica, exhibieron una microestructura más uniforme y densa, atribuida a la inclusión de almidón modificado. Este componente, al actuar como relleno eficiente, se dispersó de manera uniforme, rellenando espacios vacíos en la matriz y produciendo una superficie más homogénea en comparación con F1. Sin embargo, las imágenes SEM también evidenciaron ciertas irregularidades y poros residuales que pueden afectar las propiedades mecánicas y de barrera. La compatibilidad moderada entre Nostoc y almidón modificado fue determinante para la funcionalidad del material comestible. La estructura de F2 y F3 indicó que el almidón modificado ayudó a formar una red polimérica densa, mientras que F1, con más glicerol, presentó una superficie más heterogénea.

Según Bengtsson, (2003), obtuvo resultados similares del análisis SEM en películas de almidón de patata con alto contenido de amilosa (HAP) muestran que las películas no modificadas tienen una superficie lisa sin estructuras específicas. En contraste, las películas HAP modificadas exhiben una superficie significativamente más rugosa, atribuida al hinchamiento y secado, indicando heterogeneidad. Esta rugosidad no se debe solo al cloruro de octanoilo, ya que las películas tratadas con piridina también la presentan. La cristalinidad relativa de las películas de HAP es del 25%, superior a las películas de almidón de patata normales. Los resultados sugieren que la modificación superficial genera un cambio distintivo hacia una morfología más rugosa.

La investigación de Choque-Quispe et al. (2021), analizó películas comestibles mediante SEM, revelando gránulos de almidón de papa nativo Allica sipas de formas ovaladas y tamaños menores a 25 μm . El mucílago de nopal deshidratado apareció como cristales amorfos debido a sales de calcio y potasio. Las formulaciones F1-70 y F4-70 eran compactas, translúcidas y sin grietas, aunque presentaban hendiduras, siendo más pequeñas en F1-70 por el mayor contenido de almidón que retenía más agua. La película F4-70 contenía pequeñas burbujas causadas por la retención de agua en el mucílago durante el termo moldeo.

4.2. Características Mecánicas de las Películas Comestibles

4.2.1. Resistencia a la Tracción

Tabla 7

Resistencia a la tracción de las películas comestibles

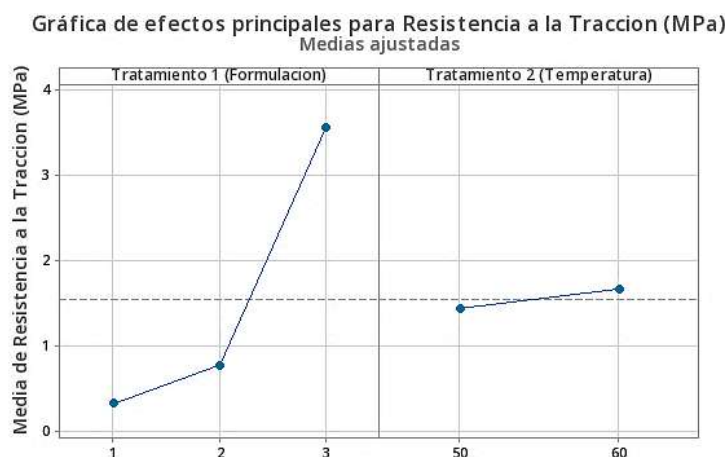
Formulación	TS (MPa)				Dif.Sig. *
	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. (%)	
F1,60°C	0.306	$\pm$ 0.106	34.64	C	
F2,60°C	0.592	$\pm$ 0.032	5.42	C	
F3,60°C	4.091	$\pm$ 0.161	3.94	A	
F1,50°C	0.351	$\pm$ 0.087	24.75	C	
F2,50°C	0.944	$\pm$ 0.409	43.30	C	
F3,50°C	3.018	$\pm$ 0.407	13.48	B	

Nota: *Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{X}$, es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa.

La incorporación de almidón modificado de papa nativa en las formulaciones de las películas comestibles resultó en un incremento en los valores de resistencia a la tracción. Este fenómeno contribuyó a mejorar tanto la movilidad como la resistencia de las cadenas poliméricas presentes. Además, la presencia de glicerina también ejerció influencia en esta caracterización, añadiendo a la mejora observada.

Figura 9

Diagrama de efectos para la Resistencia a la Tracción



En la Figura 9, se puede apreciar que la formulación 3 (90%; AN/NA al 2%, 9%;AM al 2%, 1%,G) muestra una resistencia a la tracción superior en las películas comestibles, con valores promedio de 4.091 MPa. Esto contrasta con la influencia de la temperatura en los tratamientos, específicamente en los tratamientos secados a 60°C, que muestran valores cercanos a 4 MPa. Estos resultados indican una mayor estabilidad en la resistencia mecánica de la película comestible.

Leyva et al., (2018), en su investigación “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” presenta los valores de la resistencia a la ruptura de las películas comestibles con aloe vera, los cuales se encontraron entre 0.93 a 4.53 MPa.

Se obtuvo valores menores para la resistencia a la tracción de las películas en comparación a lo descrito por Kurt & Kahyaoglu, (2014), en su artículo de revista académica “Caracterización de una nueva película comestible biodegradable a base de salep glucomanano”. Menciona que, la resistencia a la tracción (TS) siguió la tendencia LBG> SG> GG. El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias significativas entre las películas SG y GG ($p > 0,05$). El valor de TS de SG (49,59 MPa) fue diferente al de la película KGM. Donde (SG: glucomanano de salep; LBG: goma de algarrobo; GG: goma guar).

Además Aguilar-Méndez et al., (2012), muestra que la resistencia a la ruptura de las películas aumentó a medida que la concentración de glicerol fue mayor. Esto debido a la disminución de las interacciones entre biopolímeros, especialmente interacciones proteína-proteína, lo que favoreció un incremento en la movilidad de las cadenas poliméricas. Por otra parte, la disminución en el contenido del agente plastificante se reflejó en películas quebradizas y poco flexibles.

4.2.2. Resultados del Espesor de las Películas Comestibles

Tabla 8

Espesor de las películas comestibles

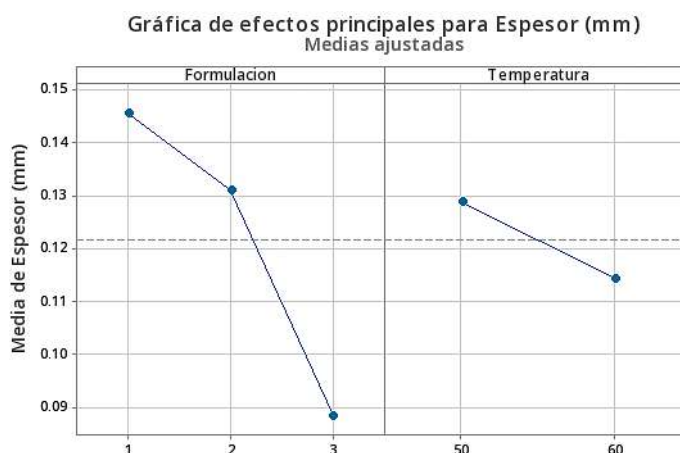
Formulación	Espesor (mm)				Dif. Sig.*
	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. (%)	
F1,60°C	0.131	$\pm$	0.005	3.65	BC
F2,60°C	0.126	$\pm$	0.003	2.29	C
F3,60°C	0.086	$\pm$	0.004	4.44	D
F1,50°C	0.160	$\pm$	0.004	2.74	A
F2,50°C	0.136	$\pm$	0.003	2.45	B
F3,50°C	0.090	$\pm$	0.004	4.95	D

Nota:*Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{X}$, es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa

Durante la evaluación del espesor de las películas comestibles, se registraron mediciones que variaron en un rango de 0,086 mm a 0,136 mm. Es importante destacar que la formulación F2,50°C exhibió un mayor espesor en comparación con las demás muestras, como se ilustra en la tabla 8. Este incremento en el grosor se atribuye tanto al notable porcentaje de glicerina empleado en su elaboración como a un aumento proporcional en la concentración de almidón en la formulación.

Figura 10

Diagrama de efectos para el Espesor



En la figura 10, se evidencia que las formulaciones que tuvieron la temperatura de moldeo de 50°C, exhibe un espesor considerablemente superior en comparación con otras formulaciones de películas comestibles, con valores promedios de 0.160 mm en promedio. Asimismo, al analizar el efecto de la temperatura de secado en las películas, se destaca que las formulaciones que fueron sometidas a un secado a 50°C presentan un aumento significativo en el espesor.

Kurt & Kahyaoglu, (2014). En su investigación “Desarrollo de película comestible a base de ácido hialurónico para el alivio de la boca seca”. Menciona: El valor del espesor afecta la permeabilidad, las propiedades mecánicas y la transparencia de la película. La película hecha con SG tenía el espesor de película más bajo (0,025 mm). Se obtuvieron valores de espesor similares para películas de galactomananos (0.034 y 0.033 mm para LBG y GG, respectivamente).

En el estudio de Chocano Peralta (2019), se evaluó el espesor de las películas comestibles formuladas con almidón de papa y mucílago de nopal. Los resultados indicaron que las películas presentaron un espesor promedio de 0.25 mm, valores promedios a los obtenidos en la película comestible que fueron con termo moldeo a 50°C.

4.2.3. Resultados para el Porcentaje de Elongación

Tabla 9

Resultados para el porcentaje de elongación delas películas comestibles

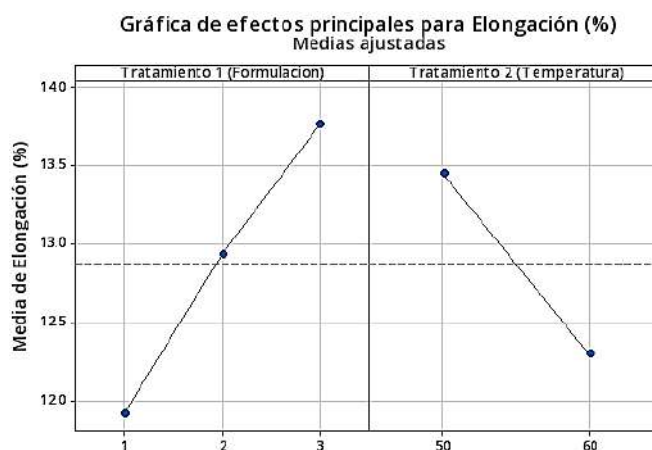
Formulación	% Elongación				Dif. Sig.*
	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. (%)	
F1,60°C	11.720	$\pm$ 0.026	0.226		E
F2,60°C	12.023	$\pm$ 0.025	0.209		D
F3,60°C	13.160	$\pm$ 0.053	0.402		C
F1,50°C	12.120	$\pm$ 0.026	0.218		D
F2,50°C	13.850	$\pm$ 0.050	0.361		B
F3,50°C	14.377	$\pm$ 0.025	0.175		A

Nota:*Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{X}$ es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa

Las películas comestibles elaboradas a 50°C muestran mayores porcentajes de elongación que las formuladas a 60°C, destacando la formulación F3 a 50°C con un 14.377%. Esto indica que una mayor proporción de almidón modificado y menor cantidad de glicerina, combinados con una temperatura más baja, mejoran significativamente la elongación. Las desviaciones estándar y coeficientes de variabilidad sugieren una consistencia adecuada en los resultados, con la formulación F3 a 50°C siendo la más constante. Las diferencias significativas (test de Tukey) confirman que las variaciones en temperatura y composición afectan el rendimiento, con F3 a 50°C mostrando el mejor comportamiento mecánico.

Figura 11

Diagrama de efectos para el Porcentaje de Elongación



En la Figura 11 de efectos principales para la elongación muestra que la formulación y la temperatura tienen un impacto significativo. La formulación F3 (90% NA/AN, 9% AM, 1% G) presenta la mayor elongación, mientras que la F1 (92% NA/AN, 5% AM, 3% G) tiene la menor. En cuanto a la temperatura, las películas tratadas a 50°C exhiben una mayor elongación comparadas con las tratadas a 60°C. Estos resultados sugieren que un mayor contenido de Almidón Modificado y menor de Glicerina, junto con una menor temperatura de tratamiento, favorecen la capacidad de elongación de las películas comestibles.

Según la investigación de Kurt y Kahyaoglu (2014), informa que la película de glucomanano (SG) tiene el mayor porcentaje de elongación ($37,2 \pm 0,15\%$), superando a las películas de goma garrofin (LBG) y goma guar (GG). En contraste con la Figura 10 muestra que la formulación F3 (90% NA/AN, 9% AM, 1% G) exhibe la mayor elongación, influenciada por un mayor contenido de Almidón Modificado (AM) y menor de Glicerina (G), particularmente a 50°C. Estas diferencias sugieren que, mientras la naturaleza del polímero (SG, LBG, GG) influye en la elongación, la composición específica y el tratamiento térmico (50°C vs. 60°C) también juegan un papel crucial.

En el estudio de Racmayani y Husni (2020), las películas comestibles de alginato con una concentración del 6% mostraron un alargamiento promedio de $86,682 \pm 5,090\%$. Comparativamente, con las películas comestibles elaboradas con almidón de papa nativa, Nostoc, almidón modificado y glicerina a 50°C, particularmente la formulación F3, mostraron un alargamiento del 14,377%, indicando que una mayor proporción de almidón modificado y menos glicerina, combinados con una temperatura más baja, mejoran la elongación. A pesar de la diferencia en materiales y condiciones, ambos estudios subrayan la influencia de la formulación y las condiciones de procesamiento en la mejora de las propiedades mecánicas de las películas comestibles.

4.3. Caracterización Físico – Química de las Películas Comestibles

4.3.1. Permeabilidad al Vapor de Agua en las Películas Comestibles (PVA)

Tabla 10

Resultados obtenidos para la permeabilidad al vapor de agua en las PC

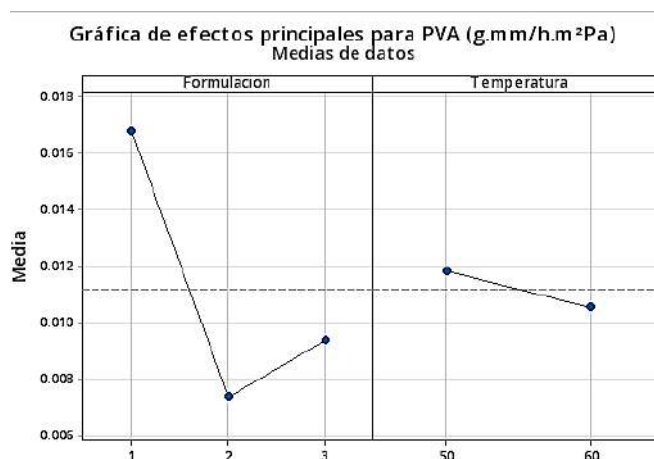
Formulación	Permeabilidad al Vapor de Agua (g.mm/h.m ² Pa)				
	$\bar{x}$	$\pm$	S	C.V. (%)	Dif. Sig.*
F1,60°C	0.0180	$\pm$	0.0076	0.4211	A
F2,60°C	0.0076	$\pm$	0.0010	0.1351	B
F3,60°C	0.0061	$\pm$	0.0005	0.0808	B
F1,50°C	0.0156	$\pm$	0.0037	0.2343	AB
F2,50°C	0.0072	$\pm$	0.0005	0.0678	B
F3,50°C	0.0126	$\pm$	0.0015	0.1181	AB

Nota: *Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{x}$ es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa

Los valores de permeabilidad al vapor de agua (PVA) en las muestras oscilaron entre 1.26×10^{-2} y 7.55×10^{-3} g·mm/h·m²Pa, siendo menores en las películas secadas a 60 °C que en las secadas a 50 °C. Esto se debe a que las altas temperaturas favorecen una estructura más densa en las películas, reduciendo su permeabilidad. La formulación F2 mostró el menor (PVA) en ambos tiempos de secado, debido a su capacidad para formar una red más compacta que resiste el paso de vapor. En contraste, el glicerol incrementó el (PVA) , ya que su pequeña estructura molecular facilita la difusión de agua. F1, con más glicerol y menor contenido de almidón modificado, presentó la mayor permeabilidad. Las formulaciones F2 y F3, con más almidón y menos glicerol, demostraron una menor permeabilidad, siendo la composición el principal factor en las propiedades de barrera de las películas comestibles.

Figura 12

Diagrama de efectos para la permeabilidad al vapor de agua



El gráfico de efectos principales muestra la influencia de la formulación y la temperatura en la permeabilidad al vapor de agua (PVA) en g·mm/h·m²Pa. En el eje de la formulación, se observa una disminución significativa de la PVA desde la formulación 1 hasta la 2, y un leve incremento en la formulación 3. Esto sugiere que la formulación 2 tiene la mejor capacidad de barrera contra el vapor. En cuanto a la temperatura, las películas secadas a 60 °C exhiben una menor PVA en comparación con las secadas a 50 °C, lo que indica que el secado a mayor temperatura favorece una mayor densidad y menor permeabilidad al vapor de agua.

Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos sobre la permeabilidad al vapor de agua en recubrimientos, donde se ha reportado que la temperatura influye en la permeabilidad, pero no siempre de manera significativa entre formulaciones similares. García et al. (2019) encontraron que, aunque las diferencias entre formulaciones de recubrimientos fueron mínimas, la temperatura influye en el aumento de la permeabilidad debido a la mayor movilidad molecular del polímero. Asimismo, Martínez y López (2020), observaron que, si bien las diferencias en la permeabilidad no siempre son significativas, factores como la variabilidad en la composición de las formulaciones pueden influir en los resultados.

4.3.2. Actividad de Agua de las Películas Comestibles

Tabla 11

Resultados para la actividad de agua en las películas comestibles

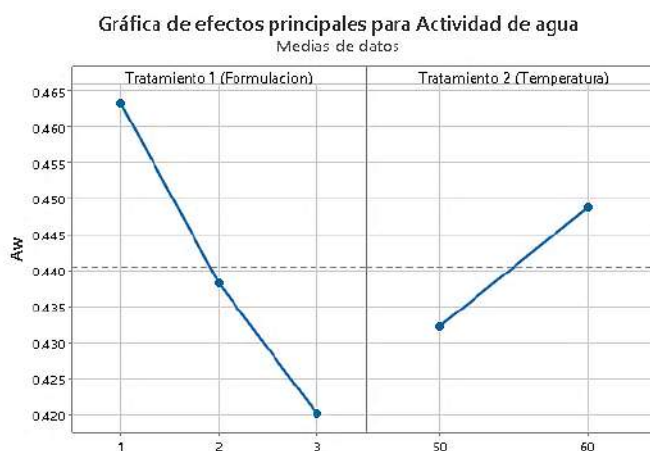
Formulación	Actividad de Agua (Aw)				
	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. (%)	Dif. Sig.*
F1,60°C	0.465	$\pm$	0.007	1.48	A
F2,60°C	0.453	$\pm$	0.011	2.49	B
F3,60°C	0.429	$\pm$	0.012	2.79	B
F1,50°C	0.461	$\pm$	0.007	1.47	A
F2,50°C	0.424	$\pm$	0.009	2.21	B
F3,50°C	0.412	$\pm$	0.014	3.31	B

Nota:*Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{X}$, es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa.

De la tabla 11, el impacto de la temperatura de secado de las formulaciones secadas a 60°C tienden a tener una mayor actividad de agua en comparación con las secadas a 50°C, aunque la diferencia no es muy pronunciada. Esto sugiere que la temperatura de secado puede influir en la retención de agua en las películas, pero no de manera drástica. Las diferencias significativas (Dif. Sig. A y B) indican que la composición de las formulaciones afecta notablemente la actividad de agua. En ambos rangos de temperatura, las formulaciones F2 y F3 muestran menores valores de Aw en comparación con F1, lo que sugiere que los ingredientes adicionales en F2 y F3 podrían estar contribuyendo a una menor retención de agua. Las formulaciones con un menor coeficiente de variación (C.V.) son más consistentes. En este caso, F1 a ambas temperaturas muestra la menor variabilidad, indicando una mayor estabilidad en su Aw. Por otro lado, F3,50°C muestra la mayor variabilidad, sugiriendo que esta formulación puede ser más sensible a cambios en las condiciones de secado.

Figura 13

Diagrama de efectos para la Actividad de Agua



La gráfica de efectos principales en la Figura 13 muestra que tanto la formulación como la temperatura de secado afectan significativamente la actividad de agua (A_w) de las películas comestibles. La formulación F3, con la menor A_w (~ 0.420), demuestra la mayor efectividad en la reducción de humedad, seguida de F2 y F1. Secar a 50°C resulta en una menor A_w (~ 0.435) en comparación con 60°C (~ 0.445). Estos hallazgos sugieren que para optimizar la barrera contra la humedad, es preferible usar la formulación F3 y secar a 50°C . Esto concuerda con Khedher et al. (2021), quienes reportaron que el glicerol redujo la A_w de las películas a 0.44, indicando que los aditivos pueden mejorar la resistencia a la humedad. Además, García et al. (2020) observaron que temperaturas más altas de secado pueden reducir la humedad residual en películas comestibles, lo que implica una mayor pérdida de agua a temperaturas elevadas. Esto sugiere que los ingredientes y las condiciones de secado son cruciales para controlar la actividad de agua en las películas comestibles.

En la investigación desarrollada por Choque-Quispe et al., (2021), Efecto de la adición de nanocristales de celulosa de cáscara de maíz, se observó que la adición de nanocristales de celulosa de cáscara de maíz (NCCA) aumentó notablemente la actividad del agua (A_w) en las películas comestibles, con valores que van de 0,421 a 0,447, mientras que la glicerina la disminuyó significativamente y el almidón la modificó ligeramente. En contraste, con la investigación desarrollada de la elaboración de películas comestibles de almidón de papa nativa, Nostoc, almidón modificado y glicerina se encontró que las películas secadas a 60°C tenían una mayor A_w que las secadas a 50°C , aunque las diferencias no eran drásticas. Las formulaciones F2 y F3 mostraron menores A_w en comparación con F1, indicando que los ingredientes adicionales en F2 y F3

reducen la retención de agua. Ambos estudios destacan cómo la composición y las condiciones de procesamiento afectan la A_w .

4.3.3. Resistencia a Solventes de las Películas Comestibles

Tabla 12

Resultados para la resistencia a solventes en las películas comestibles.

Formulación	Alcohol 90°	NaOH (0.05M)	HCL (0,1M)	Agua destilada	CH ₃ COOH (0.1.M)
F1,60°C	I	B	M	I	B
F2,60°C	I	B	B	I	M
F3,60°C	I	B	B	B	M
F1,50°C	I	B	B	I	B
F2,50°C	I	M	M	I	M
F3,50°C	I	B	M	I	M

Nota: Donde: (I) Insoluble, (B) Baja solubilidad, (M) Media solubilidad (A) Alta solubilidad.

La tabla 12 presenta los resultados de la evaluación de resistencia a solventes en películas elaboradas con formulaciones de Nostoc atomizado combinado con almidón nativo (NA/AN), almidón modificado (AM) y glicerina (G). Estas películas se secaron a 50°C y 60°C, y se analizaron en alcohol 90°, NaOH (0.05M), HCl (0.1M), agua destilada y ácido acético (0.1M). Todas las formulaciones (F1, F2, F3) resultaron insolubles en alcohol 90° y agua destilada, sin importar la temperatura de secado. No obstante, la solubilidad en NaOH y HCl varió entre baja y media según la formulación y temperatura. F1 secada a 60°C mostró baja solubilidad en NaOH y media en HCl. Las películas secadas a 50°C tendieron a ser más solubles en ambos solventes que las secadas a 60°C.

En la investigación de Chocano Peralta, (2019), demuestra que la solubilidad de las biopelículas de almidón varía según el nivel de almidón y la temperatura de secado. A bajos niveles de almidón (T1 y T4), las películas son altamente solubles (AS) o medianamente solubles (MS) en ácido clorhídrico, ácido acético e hidróxido de sodio. A mayor %AP, la solubilidad disminuye.

Todas las formulaciones son insolubles (I) en éter y alcohol etílico. Las biopelículas secadas a 60°C (T4, T5, T6) presentan mayor resistencia a solventes polares, aunque la temperatura de secado no influye significativamente en la resistencia a solventes apolares. Estos hallazgos indican que el contenido de almidón y la temperatura de secado afectan la solubilidad en solventes específicos.

. La investigación realizada concuerda con los resultados obtenidos por Chocano Peralta (2019), evidenciando que la resistencia a solventes de las biopelículas de almidón está estrechamente relacionada con su composición y la temperatura a la que se someten durante el secado. Según Chocano Peralta, las biopelículas con un mayor contenido de almidón, secadas a 60°C, presentaron una notable resistencia frente a solventes polares, mientras que todas las formulaciones analizadas demostraron ser completamente insolubles en solventes apolares como éter y alcohol etílico. De forma similar, las biopelículas que incorporan Nostoc, almidón modificado y glicerina, cuando se secan a la misma temperatura, también exhiben una resistencia superior a solventes polares. Ambas investigaciones destacan que las películas son altamente resistentes a solventes apolares, subrayando la importancia de ajustar cuidadosamente tanto la formulación de los mismos como la temperatura de secado para maximizar el desempeño en función de los solventes específicos.

4.3.4. Solubilidad

Tabla 13.

Resultados para solubilidad de las películas comestibles

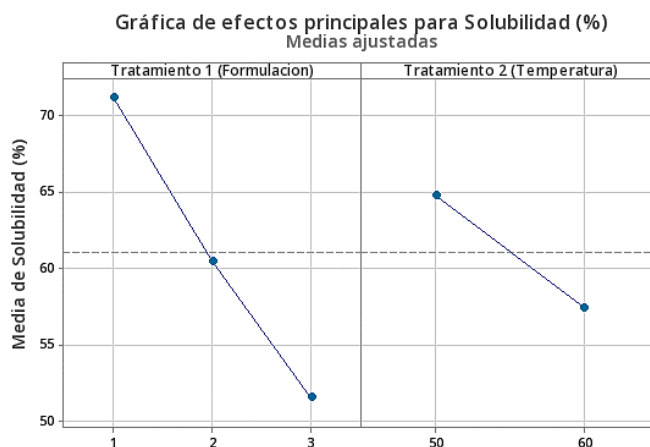
Formulación	% Solubilidad				Dif. Sig.*
	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. (%)	
F1,60°C	62.238	$\pm$ 5.743		9.23	ABC
F2,60°C	64.408	$\pm$ 0.191		0.30	AB
F3,60°C	45.637	$\pm$ 3.939		8.63	C
F1,50°C	80.232	$\pm$ 2.629		3.28	A
F2,50°C	56.635	$\pm$ 12.045		21.27	BC
F3,50°C	57.504	$\pm$ 8.937		15.54	BC

Nota: *Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{x}$, es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa.

Los resultados de solubilidad de las películas comestibles muestran que tanto la matriz polimérica como la temperatura influyen significativamente. Donde a 60°C, la formulación F2 tiene la mayor solubilidad con 64.408% y una baja variabilidad, siendo significativamente diferente de F3, que tiene la menor solubilidad (45.637%). F1 tiene una solubilidad intermedia y diferencias significativas con F3 pero no con F2. Para las películas con termo moldeo a 50°C, donde la formulación F1 presenta la mayor solubilidad (80.232%) y una baja variabilidad, siendo significativamente diferente de todas las otras formulaciones. Las formulaciones F2 y F3 tienen solubilidades similares y no presentan diferencias significativas entre ellas.

Figura 14

Diagrama de efectos para la Solubilidad



En la Figura 14, se muestra cómo la formulación y la temperatura de moldeo afectan la solubilidad de películas comestibles de almidón de papa nativa. La formulación 1 tiene la mayor solubilidad (~72%), seguida por la formulación 2 (~63%) y la formulación 3 (~51%). En cuanto a la temperatura de moldeo, la solubilidad es mayor a 50°C (~66%) comparado con 60°C (~57%). En conclusión, se destaca la importancia de la matriz polimérica y las condiciones de temperatura de moldeo, en la solubilidad de las películas comestibles.

La investigación de Mohd Marsin y Muhamad (2016) analizó películas comestibles de almidón de papa morada con diferentes proporciones de carragenano y glicerol, evaluando su

solubilidad. La película de control mostró la mayor solubilidad, disolviéndose más del 50% en agua a $27 \pm 2^\circ\text{C}$ en 5 minutos, seguida por la película C ($53,50 \pm 4,01\%$). Las demás películas tuvieron solubilidades inferiores al 50%, influenciadas por las cantidades de glicerol y kappa carragenano. La película C, con más plastificante, presentó mayor solubilidad debido a la reducción de enlaces de hidrógeno, mientras que la película H, sin plastificante, tuvo la solubilidad más baja. En contraste, las películas con Nostoc, almidón de papa nativa y glicerina demostraron una solubilidad superior, atribuida a su matriz polimérica y al uso proporcional del plastificante en el estudio.

En su estudio titulado "Elaboración y caracterización de biopelículas con quitosano y partículas de almidón", de Escobar, (2020), presenta en los valores medios de la propiedad de solubilidad de las biopelículas con adición de partículas de almidón en concentraciones del 0%, 5% y 10%. Los resultados indican que la variabilidad de los porcentajes de esta propiedad oscila entre 56.17% y 61.44%..donde esto sugiere que una relativa estabilidad en la solubilidad de las películas comestibles esta influenciado por un incremento en la proporción del almidón.

En el estudio realizado por Choque-Quispe et al., (2021), se caracterizaron películas comestibles con diferentes formulaciones de almidón y glicerol, obteniendo solubilidades entre 19,77% y 54,08%. Las formulaciones F1.50, F1.60 y F1.70 presentaron solubilidades de 35,92%, 40,36% y 40,42%, mientras que F3.50, F3.60 y F3.70 alcanzaron 47,87%, 51,65% y 50,71%. En comparación con esta investigación desarrollada, se observó que la temperatura y la matriz polimérica influyen significativamente en la solubilidad.

4.3.5. Transparencia

Tabla 14

Resultados de la transparencia en las películas comestibles

Formulación	Transparencia (nm/mm)				
	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. (%)	Dif. Sig.*
F1,60°C	2.612	$\pm$ 0.071	0.027	0.027	D
F2,60°C	4.567	$\pm$ 0.027	0.006	0.006	C
F3,60°C	5.773	$\pm$ 0.147	0.026	0.026	A

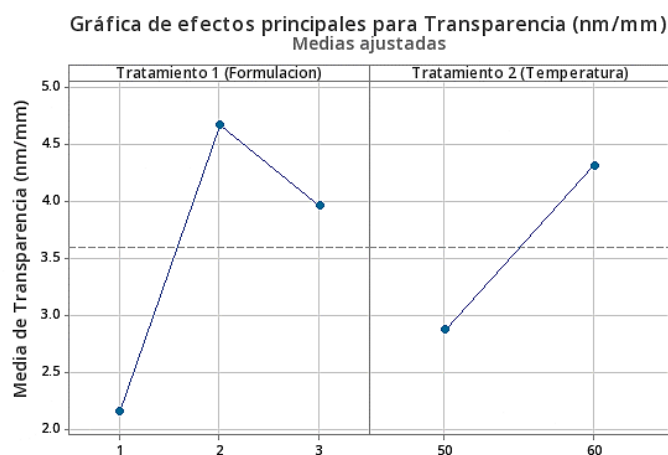
F1,50°C	1.695	± 0.037	0.022	F
F2,50°C	4.765	± 0.033	0.007	B
F3,50°C	2.151	± 0.004	0.002	E

Nota:*Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{x}$, es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa.

La Tabla N.º 14 presenta los resultados de la transparencia en dos diferentes temperaturas de moldeo para las tres formulaciones de películas comestibles elaboradas a partir de almidón nativo de papa, Nostoc y glicerina. Es importante destacar que la transparencia se expresa en porcentaje (%). En la formulación F3 a 60°C muestra la mayor transparencia (5.773 nm/mm) y F1 a 50°C la menor (1.695 nm/mm). donde las películas a 60°C tienden a ser más transparentes que a 50°C, resaltando la importancia de la temperatura en las propiedades ópticas de las películas..

Figura 15

Diagrama de efectos para la Transparencia



En lo que respecta a la Figura 15, se muestra los efectos principales de la formulación y la temperatura de moldeo en relación a la transparencia de películas comestibles de almidón de papa nativa, Nostoc y glicerol. En el eje de la formulación, la transparencia aumenta de F1 a F2 y disminuye ligeramente en F3, con F2 mostrando la mayor transparencia (~4.6 nm/mm). En el eje de la temperatura, la transparencia es significativamente mayor a 60°C (~4.2 nm/mm) que a 50°C (~2.6 nm/mm). Esto indica que tanto la formulación como la temperatura afectan la transparencia, con la temperatura teniendo un impacto notable, aumentando la transparencia de las películas comestibles a 60°C.

La investigación de Oregel-Zamudio et al. (2016), reveló que las películas comestibles a base de cera de candelilla tienen diferentes niveles de transparencia: F1 con 13,05%, F2 con 19,64%, F3 con 11,95%, y F4 con 15,63%. La película F2 mostró la mayor transparencia, mientras que F1, F3 y F4 presentaron valores menores. En comparación, las películas de cera de candelilla son más transparentes (11,95%-19,64%) que las de almidón de papa y Nostoc (1,695%-5,773%), con la variación en la transparencia influenciada tanto por la formulación como por la temperatura de procesamiento y la matriz polimérica.

La investigación de Choque-Quispe et al. (2021), sobre películas comestibles con nanocristales de celulosa de cáscara de maíz (NCCA) muestra que estos nanocristales mejoran notablemente la transparencia de las películas, con valores entre 6,17 y 6,69 nm/mm, mientras que la glicerina reduce la transparencia y el almidón solo mejora ligeramente. Esto se debe a la formación de nanoagregados y la reorganización de la matriz de almidón. En comparación, las películas hechas con almidón nativo de papa, Nostoc, almidón modificado y glicerina muestran una transparencia variable según la temperatura de moldeo: F3 a 60°C tiene 5.773 nm/mm, mientras que F1 a 50°C alcanza solo 1.695 nm/mm. Esto demuestra que tanto los aditivos como las condiciones de procesamiento influyen en las propiedades ópticas de las películas comestibles, evidenciando la complejidad de su optimización..

4.4. Caracterización Térmica de las Películas Comestibles

4.4.1. Análisis Termogravimétrico (TGA)

Tabla 15.

Etapas de pérdida de peso y cambio de temperatura

Formulación	PRIMERA ETAPA		SEGUNDA ETAPA		TERCERA ETAPA		CUARTA ETAPA		RESIDUO
	PERDIDA		PERDIDA		PERDIDA		PERDIDA		
	DE PESO	T °C	DE PESO	T °C	DE PESO	T °C	DE PESO	T °C	
	%		%		%		%		
F1,60°C	18.066	99.99	40.709	200	34.054	329.99	3.563	591.76	3.603
F2,60°C	17.849	108.74	38.445	203.02	34.464	333.93	4.252	589.9	4.981
F3,60°C	13.355	111.2	20.909	185.22	53.071	327.57	7.582	589.91	4.994

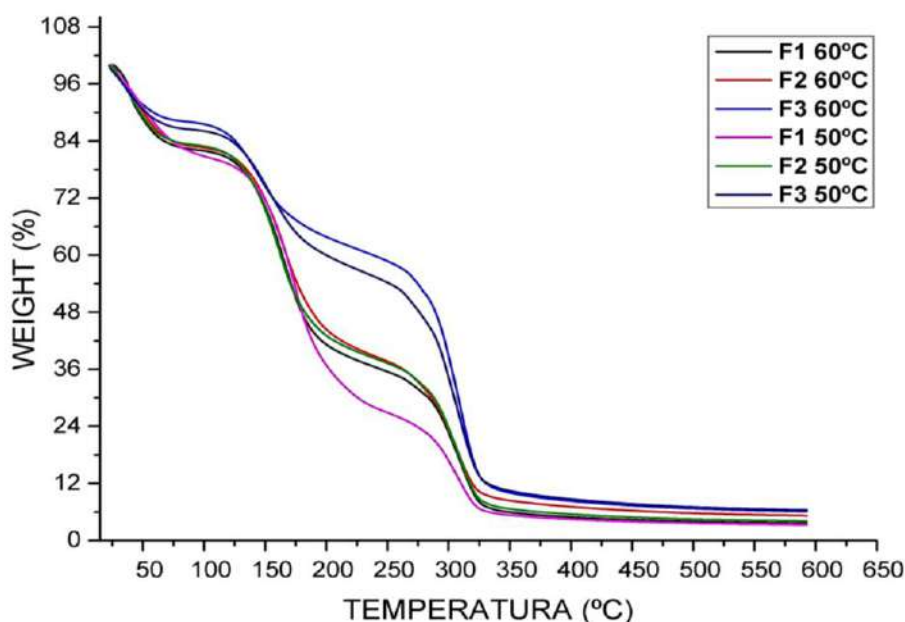
F1,50°C	18.535	100	43.416	200	32.177	329.89	2.788	589.48	3.076
F2,50°C	17.498	97.21	35.218	199.61	38.846	329.17	5.193	587.87	3.146
F3,50°C	13.903	100.01	26.072	199.99	47.763	329.98	5.87	591.64	6.381

Nota: Donde F1, F2 y F3 son las formulaciones a dos tratamientos de temperatura en el análisis termogravimétrico.

El análisis termogravimétrico (TGA) que se muestra en la tabla 16, donde se obtuvieron valores para cada etapa donde se mide la pérdida de peso de las películas comestibles de almidón de papa nativa y Nostoc en función de la temperatura, el cual nos proporciona información sobre su estabilidad térmica y composición de las películas comestibles. En la primera etapa (50°C - 120°C), las muestras muestran una pérdida de peso significativa (13.355% a 18.535%) debido a la eliminación de agua adsorbida, con temperaturas entre 97.21°C y 111.2°C. En la segunda etapa (150°C - 250°C), la pérdida de peso varía considerablemente (20.909% a 43.416%), atribuida a la descomposición de componentes volátiles y compuestos orgánicos, con temperaturas entre 185.22°C y 203.02°C. La tercera etapa (300°C - 350°C) muestra la mayor pérdida de peso (32.177% a 53.071%), indicando la descomposición de la matriz principal de almidón y Nostoc, con temperaturas entre 327.57°C y 333.93°C. En la cuarta etapa (500°C - 600°C), la pérdida de peso es menor (2.788% a 7.582%), correspondiente a la carbonización y formación de residuos estables, con temperaturas entre 587.87°C y 591.76°C. El residuo final, que varía entre 3.076% y 6.381%, sugiere una mayor resistencia a la descomposición térmica, indicando estabilidad térmica, crucial para aplicaciones que requieren materiales resistentes al calor.

Figura 16

Termograma TGA de las películas comestibles



La figura 16 muestra el análisis termogravimétrico (TGA) el cual refleja la pérdida de peso de películas comestibles de almidón de papa y Nostoc en función de la temperatura para tratamientos de termo moldeo de 50°C y 60°C. Las muestras tratadas a 60°C pierden peso más rápidamente en las primeras etapas (deshidratación y descomposición de volátiles), indicando mayor contenido de humedad y compuestos volátiles. En la tercera etapa (300°C-350°C), la descomposición de la matriz principal es más pronunciada en estas muestras. Las muestras a 50°C son más estables térmicamente, mostrando menor pérdida de peso en las primeras etapas y reteniendo más peso en la etapa final de carbonización.

El análisis termogravimétrico (TGA) presentado es coherente con investigaciones previas sobre la degradación térmica de películas comestibles a base de almidón y otros biopolímeros. Según Zhang et al. (2020), los materiales a base de almidón experimentan una pérdida significativa de peso en la primera etapa (50°C - 120°C) debido a la evaporación del agua, con pérdidas que oscilan entre el 10% y el 20%, similar a los valores observados en este estudio (13.355% - 18.535%). En la segunda etapa (150°C - 250°C), la descomposición de los compuestos volátiles y orgánicos es comparable a lo reportado por Parra et al., (2021), quienes indicaron pérdidas de peso del 20% al 40%, alineándose con los datos obtenidos aquí (20.909% - 43.416%). La tercera etapa (300°C - 350°C), que corresponde a la degradación del almidón y Nostoc, mostró pérdidas de peso similares a los resultados de Shafiq et al., (2019), con valores entre el 30% y el 50%. Finalmente, la cuarta etapa (500°C - 600°C) refleja una pérdida de peso moderada (2.788% - 7.582%),

comparada con otros estudios que informan de una pérdida del 2% al 8% debido a la carbonización, como lo expuso Martínez et al. (2018). Estos valores numéricos refuerzan la estabilidad térmica observada en este análisis para aplicaciones en alta temperatura.

En la investigación de (Choque-Quispe et al., 2022), destaca la descomposición significativa del NCCA y almidón en las películas compuestas, especialmente en la segunda etapa alrededor de 220°C y la tercera etapa a 320°C. En comparación en la Tabla 16, se observa una primera etapa de pérdida de peso significativa debido a la eliminación de agua adsorbida entre 97.21°C y 111.2°C, seguido por una notable descomposición de componentes volátiles en la segunda etapa a temperaturas entre 185.22°C y 203.02°C. La mayor pérdida de peso ocurre en la tercera etapa, indicando la descomposición de la matriz principal, mientras que la cuarta etapa muestra una menor pérdida de peso asociada a la carbonización donde se coinciden en la importancia del contenido de almidón y NCCA para la estabilidad térmica, pero difieren en las temperaturas específicas y las proporciones de pérdida de peso en cada etapa

4.4.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Tabla 16

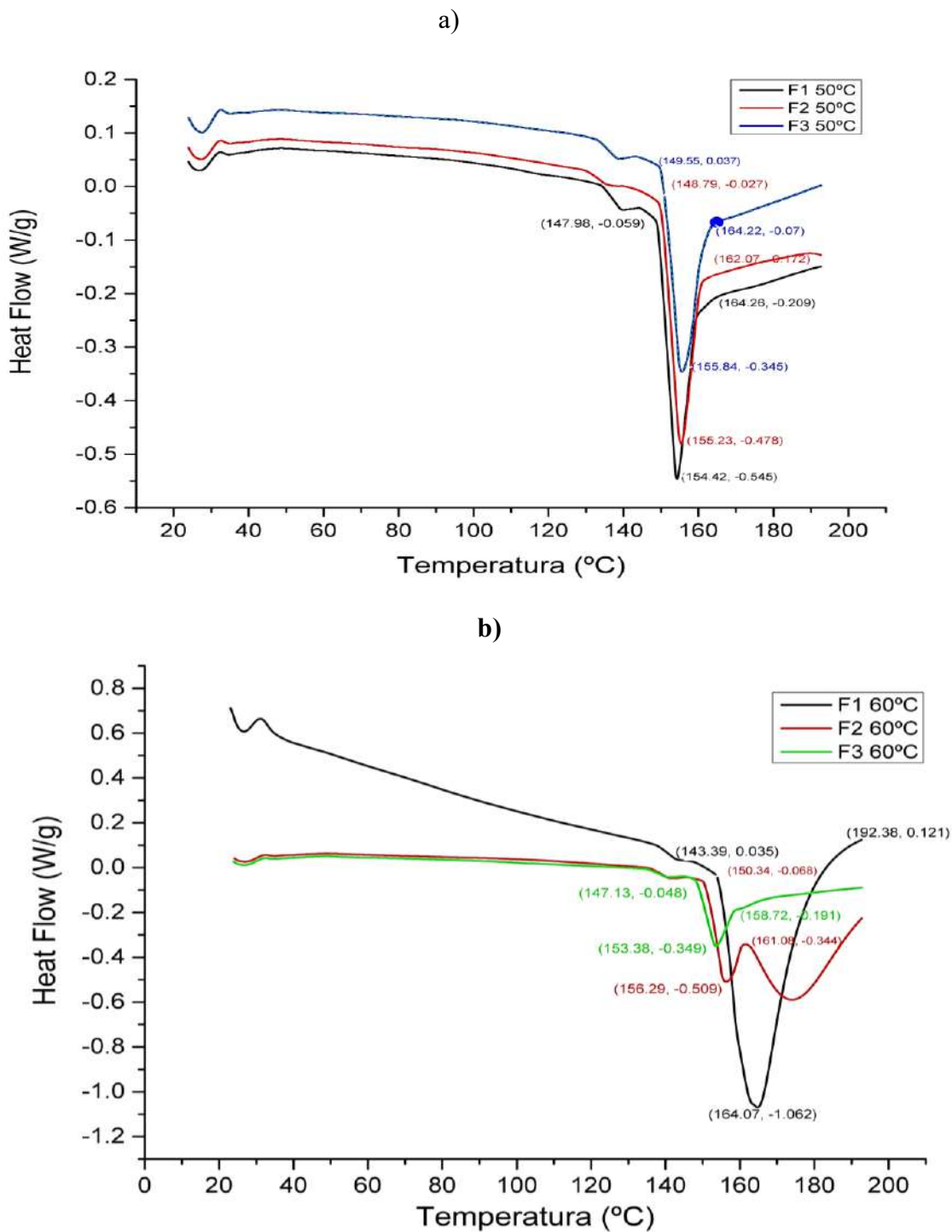
Transiciones térmicas calorimétricas de barrido diferencial (DSC) para las películas

Formulación	°Tg (°C)	ΔH^* (J/g)	°Tm (°C)	ΔH^* (J/g)	°Td (°C)
F1 60°C	142.73	1.29	164.74	169.94	192.00
F2 60°C	140.95	1.41	155.67	19.55	159.00
F3 60°C	140.02	1.08	153.43	15.18	158.00
F1 50°C	138.26	1.38	154.17	27.88	165.00
F2 50°C	135.86	0.64	155.31	26.40	162.00
F3 50°C	138.91	1.13	155.45	28.17	164.00

Nota: Tp: temperatura de gelatinización, Tg: temperatura de transición vítrea, Tm: temperatura de fusión, Td: temperatura de degradación y, ΔH : variación de entalpía.

Figura 17

Termograma calorimétrico diferencial de barrido (DSC) para las películas comestibles a) películas a 50°C y b) Películas a 60°C



El estudio analizó las propiedades térmicas de las formulaciones F1, F2 y F3, compuestas por Nostoc Atomizado/Almidón Nativo (NA/AN), Almidón Modificado (AM) y Glicerina (G), sometidas a 50°C y 60°C. La formulación F1 (92% NA/AN, 5% AM, 3% G) destacó por alcanzar las temperaturas más altas de transición vítrea (T_g), fusión (T_m) y descomposición térmica (T_d) en ambos tratamientos térmicos. Su alta proporción de NA/AN y glicerina contribuyó a una estructura más cristalina, térmicamente estable y resistente al calor, ideal para aplicaciones en condiciones de alta temperatura. En contraste, la formulación F2 (91% NA/AN, 7% AM, 2% G) mostró menores T_g y T_m , reflejando una estructura menos cristalina y más flexible. Su menor contenido de glicerina redujo el efecto plastificante, haciéndola menos estable térmicamente, aunque adecuada para usos donde se requiera flexibilidad moderada. Finalmente, la formulación F3 (90% NA/AN, 9% AM, 1% G) presentó las temperaturas más bajas de T_g , T_m y T_d , especialmente a 60°C, indicando una estructura amorfa, alta flexibilidad y baja resistencia al calor, adecuada para aplicaciones a bajas temperaturas. Los resultados se alinean con estudios previos. Zhang et al. (2019) reportaron que películas con 5% de glicerina alcanzaron T_g de 95°C y T_m de 150°C, coherente con la estabilidad térmica de F1. Zuo et al. (2020) hallaron que reducir la glicerina (1-3%) y aumentar AM disminuye T_g y T_m hasta 85°C y 140°C, respectivamente, consistente con los valores observados en F2 y F3. En resumen, las formulaciones demuestran que la combinación y proporción de componentes influyen significativamente en la estabilidad y flexibilidad térmica, permitiendo ajustar sus propiedades según las necesidades específicas de aplicación.

El estudio realizado por (Choque-Quispe et al., 2022) con películas comestibles que incorporan nanocristales de celulosa activada (NCCA) reveló importantes conocimientos a través del análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC). El comportamiento térmico de las películas indicó un ligero aumento en la temperatura de transición vítrea (T_g) con la adición de almidón (S) y glicerina (G), pasando de 141,3 °C a 142,3 °C. Este cambio sugiere una mayor estabilidad térmica debido a las interacciones entre los componentes. La temperatura de fusión (T_m) de las películas osciló entre 150,1 °C y 156,7 °C, con entalpías de fusión correspondientes entre 11,49 y 19,06 J/g, lo que indica que las películas poseen una considerable capacidad de absorción de energía térmica. En comparación con el estudio realizado se concluye que la adición

de almidón y glicerina en la matriz polimería es crucial para la estabilidad térmica de las películas comestibles.

4.5. Color

4.5.1. Luminosidad de las Películas Comestibles

Tabla 17

Resultados para la luminosidad de las películas comestibles

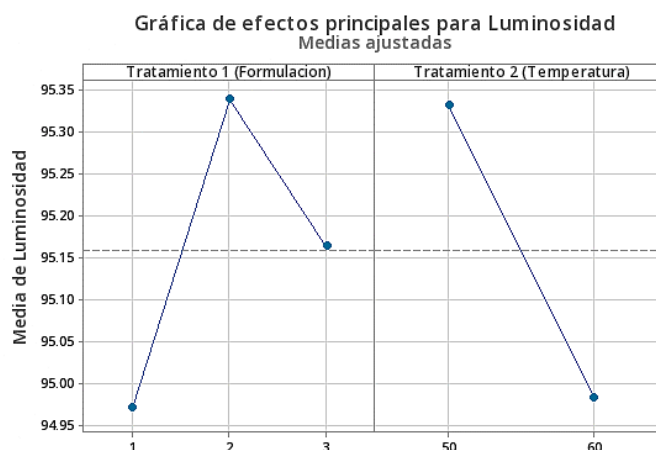
Formulación	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. %	Dif. Sig.*
F1 60°C	94.97	$\pm$	$5.77 * 10^{-3}$	$6.08 * 10^{-5}$	D
F2 60°C	95.08	$\pm$	0.00	0.00	C
F3 60°C	94.90	$\pm$	$1.74 * 10^{-14}$	$1.83 * 10^{-16}$	E
F1 50°C	94.97	$\pm$	$1.74 * 10^{-14}$	$1.83 * 10^{-16}$	D
F2 50°C	95.60	$\pm$	$1.74 * 10^{-14}$	$1.83 * 10^{-16}$	A
F3 50°C	95.43	$\pm$	0.00	0.00	B

Nota: *Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{X}$, es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa.

La tabla muestra los resultados de la luminosidad de películas comestibles hechas de almidón de papa nativa y Nostoc, medidas a 50°C y 60°C para tres formulaciones (F1, F2, F3). Los valores medios de luminosidad ($\bar{X}$) son similares entre formulaciones y temperaturas, oscilando entre 94.90 y 95.43. Las formulaciones F2 y F3 a ambas temperaturas no presentan desviación estándar ni coeficiente de variabilidad, indicando uniformidad en las mediciones. La formulación F1 muestra ligeras variaciones, con desviaciones estándar muy pequeñas, sugiriendo una mínima variabilidad. Los resultados indican un impacto limitado de la temperatura y la formulación en la luminosidad, con alta consistencia y estabilidad. La prueba de Tukey al 5% confirma que las diferencias no son estadísticamente significativas.

Figura 18

Diagrama de Efectos para la Luminosidad en las Películas Comestibles



La figura de efectos principales para la luminosidad muestra cómo la formulación y la temperatura de moldeo influyen en la luminosidad de las películas comestibles elaboradas a partir de almidón de papa nativa y Nostoc. La formulación (F2) produce las películas más luminosas, mientras que la formulación (F1) resulta en la menor luminosidad. En términos de temperatura de moldeo, las películas procesadas a 50°C tienen una mayor luminosidad en comparación con las procesadas a 60°C. Estos resultados sugieren que la formulación y la temperatura son factores críticos para optimizar la luminosidad de las películas comestibles, con la formulación 2 y una temperatura de 50°C proporcionando los mejores resultados.

4.5.2. Coordenadas a^* y b^*

Tabla 18

Resultados obtenidos para las coordenadas a^ y b^* en las películas*

Formulación	a^*				b^*			
	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. %	$\bar{X}$	$\pm$	S	C.V. %
F1 60°C	-1.51	$\pm$	1.00×10^{-2}	-6.62×10^{-3}	9.33	$\pm$	5.77×10^{-3}	6.19×10^{-4}
F2 60°C	-1.01	$\pm$	0.00	0.00	7.34	$\pm$	0.00	0.00
F3 60°C	-1.09	$\pm$	0.00	0.00	7.49	$\pm$	5.77×10^{-3}	7.71×10^{-4}
F1 50°C	-1.31	$\pm$	1.15×10^{-2}	-8.84×10^{-3}	7.97	$\pm$	5.77×10^{-3}	7.25×10^{-4}
F2 50°C	-1.14	$\pm$	0.00	0.00	6.50	$\pm$	5.77×10^{-3}	8.89×10^{-4}
F3 50°C	-1.33	$\pm$	1.15×10^{-2}	-8.66×10^{-3}	9.39	$\pm$	5.77×10^{-3}	6.15×10^{-4}

Nota: *Test de Tukey al 5% de significancia Donde: $\bar{X}$, es la media; S, es la desviación estándar; CV, es el coeficiente de variabilidad, Dif. Sig; diferencia significativa

La tabla 18 presenta los resultados de las coordenadas CieLab de color a^* y b^* de películas comestibles elaboradas a partir de almidón de papa nativa y Nostoc, medidas a dos temperaturas diferentes, 50°C y 60°C, para tres formulaciones (F1, F2 y F3). Los valores de a^* (indicando la variación entre verde y rojo) y b^* (indicando la variación entre azul y amarillo) muestran que la formulación F1 tiene una mayor variabilidad en ambas coordenadas, especialmente a 50°C, con desviaciones estándar significativas. Las formulaciones F2 y F3, en contraste, presentan valores consistentes y desviaciones estándar cercanas a cero, indicando uniformidad en las mediciones. La mayor homogeneidad en las formulaciones F2 y F3 sugiere que estas condiciones de temperatura y formulación resultan en propiedades de color más estables. Los valores de b^* son generalmente positivos, indicando una tendencia hacia tonos amarillos. La prueba de Tukey al 5% de significancia confirma que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas, asegurando que las propiedades de color de las películas comestibles son homogéneas independientemente de la temperatura o formulación utilizada.

Según Chocano Peralta, (2019), el análisis de color de las películas utilizando el sistema CIE Lab reveló valores específicos de luminosidad (L^*), croma rojo-verde (a^*) y croma amarillo-azul (b^*). El tratamiento T1 exhibió un valor de luminosidad de $1,20 \pm 0,07$, lo que indica una apariencia más brillante, mientras que el T6 tuvo un valor ligeramente inferior de $0,92 \pm 0,03$. En cuanto al croma rojo-verde, T1 presentó un valor de $0,70 \pm 0,07$, inclinándose hacia el rojo, mientras que T3 tuvo un valor inferior de $0,35 \pm 0,05$. Los valores de croma amarillo-azul indicaron una tendencia hacia el amarillo, con T1 en $0,70 \pm 0,07$ y T3 en $0,35 \pm 0,05$, demostrando las características de color de las biopelículas.

En la investigación desarrollada por Choque-Quispe et al., (2021), obtuvo para el análisis de color (CieLab) de las películas comestibles revelando características de color distintas para las diferentes formulaciones. Los valores de L^* oscilaron entre 85,3 y 91,2, lo que indica variaciones en la luminosidad entre las películas. Los valores de a^* oscilaron entre -1,2 y 1,8, lo que representa el espectro de colores del verde al rojo, y algunas formulaciones se inclinan hacia los tonos verdes. Los valores de b^* oscilaron entre 6,3 y 10,5, lo que indica el espectro de colores de amarillo a azul, y las formulaciones muestran distintos grados de tonos amarillos.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que la formulación F1 a las temperaturas de moldeo de 50 y 60 °C, influye significativamente en el comportamiento térmico de las películas comestibles donde se registró temperaturas de transición vítrea de 142,73°C y con temperaturas de fusión de 164.74°C con pérdidas de peso del 20.90%. Los análisis térmicos indicaron que las variaciones en las proporciones de estos componentes modifican las propiedades térmicas, mejorando la estabilidad térmica.
2. Los estudios mecánicos revelaron que la formulación F3 a 50°C de las películas comestibles resalto de manera notable en las propiedades mecánicas de las películas comestibles. Se observó que en la formulación F3 a 60°C resulto en una mayor resistencia a la tracción de 3.018 MPa y mejor elongación del 14.37% en F3 a 50°C, lo cual es esencial para su aplicación práctica en la industria alimentaria.
3. La investigación demostró que la temperatura de moldeo a 50°C tiene un impacto considerable en las características físico-químicas y estructurales de las películas comestibles. Donde las formulaciones F2 y F3 tuvieron influencia en la estructura superficial de 5µm a 15µm de porosidad, mejorando así la funcionalidad y durabilidad de las películas.
4. Los porcentajes de almidón modificado, Nostoc atomizado y glicerina en la F3 a 60°C influyo en el color de las películas comestibles con valores de 5.77 nm/mm para la transparencia y en la coordenada de b* con valores de $5.77 * 10^{-3}$, indicando una tendencia hacia los tonos amarillos a diferencia de las demás formulaciones que contenían menor porcentaje de Nostoc atomizado.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda continuar investigando y optimizando las formulaciones de almidón de papa nativa, Nostoc, almidón modificado y glicerina para mejorar aún más las propiedades térmicas y mecánicas de las películas comestibles.
- ✓ Es crucial establecer y mantener un control preciso de la temperatura de moldeo durante la producción de películas comestibles para asegurar la calidad y consistencia de las características físico-químicas y estructurales.
- ✓ Se sugiere realizar estudios de estabilidad a largo plazo para evaluar cómo las películas comestibles mantienen sus propiedades bajo diferentes condiciones de almacenamiento y transporte.
- ✓ Dado el potencial de estas películas comestibles, se recomienda explorar su aplicación en diferentes tipos de productos alimenticios, considerando sus propiedades de color, textura y funcionalidad para mejorar la conservación y presentación de los alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

Abubakar, A., Saito, T., Kitazawa, H., Kawai, Y., & Itoh, T. (1998). Structural analysis of new antihypertensive peptides derived from cheese whey protein by proteinase K digestion. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3131–3138. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(98\)75878-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(98)75878-3)

Alzate-Calderón, M. (2019). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles elaboradas con almidón de mandioca y hidroxipropil metilcelulosa (HPMC).

Amaya Pinos, J. B. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista colombiana de química*, 48(1), 43–51. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>

Andriani, D., Karina, M., Priatni, S., Indriyati, Apriyana, A. Y., & Srikanthace, Y. (2023). Optimization of edible film production: natural dyes addition. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 1201(1), 012093. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012093>

Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J. J., Calderón-Domínguez, G., Terres-Rojas, E., Garibay-Febles, V., Martínez-Rivas, A., & Gutiérrez-López, G. F. (2012). Microstructural characterization of chitosan and alginate films by microscopy techniques and texture image analysis. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.044>

Ayquipa-Cuellar, E., Salcedo-Sucasaca, L., Azamar-Barrios, J. A., & Chaquilla-Quilca, G. (2021). Assessment of prickly pear peel mucilage and potato husk starch for edible films production for food packaging industries. *Waste and Biomass Valorization*, 12(1), 321–331. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00981-y>

Bellumori, M., Chasquibol Silva, N., Vilca, L., Andrenelli, L., Cecchi, L., Innocenti, M., Balli, D., & Mulinacci, N. (2020). A study on the biodiversity of pigmented Andean potatoes: Nutritional profile and phenolic composition. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(14), 3169. <https://doi.org/10.3390/molecules25143169>

Bengtsson, M. (2003). Surface octanoylation of high-amylose potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, 54(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(03\)00121-8](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(03)00121-8)

Bertuzzi, M. A., Castro Vidaurre, E. F., Armada, M., & Gottifredi, J. C. (2007). Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 972–978. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.016>

Brain Brisson, D., Vohl, M.-C., St-Pierre, J., Hudson, T. J., & Gaudet, D. (2021). Glycerol: a neglected variable in metabolic processes? *BioEssays: News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology*, 23(6), 534–542. <https://doi.org/10.1002/bies.1073>

Cai, J., Cai, C., Man, J., Zhou, W., & Wei, C. (2014). Structural and functional properties of C-type starches. *Carbohydrate Polymers*, 101, 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.058>

Callister, W. D., Jr. (1991). Materials science and engineering: An introduction (2nd edition). *Materials in Engineering*, 12(1), 59. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)

Chang, R., Xiong, L., Li, M., Liu, J., Wang, Y., Chen, H., & Sun, Q. (2018). Fractionation of debranched starch with different molecular weights via edible alcohol precipitation. *Food Hydrocolloids*, 83, 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.033>

Chaves-Morillo, D. M., & Mejía-España, D. F. (2022). Physicochemical and technofunctional comparison of starch from varieties of native potato (*Solanum phureja*) with commercial starches. *TecnoLógicas*, 26(56), e2455. <https://doi.org/10.22430/22565337.2455>

Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Ligarda-Samanez, C. A., Peralta-Guevara, D. E., Solano-Reynoso, A. M., Ramos-Pacheco, B. S., Taipe-Pardo, F., Martínez-Huamán, E. L., Aguirre Landa, J. P., Agreda Cerna, H. W., Loayza-Céspedes, J. C., Zamalloa-Puma, M. M., Álvarez-López, G. J., Zamalloa-Puma, A., Moscoso-Moscoso, E., & Quispe-Quispe, Y. (2022). Effect of the addition of corn husk cellulose nanocrystals in the development of a novel edible film. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 12(19), 3421. <https://doi.org/10.3390/nano12193421>

Choque-Quispe, D., Froehner, S., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Palomino-Rincón, H., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A. M., Taipe-Pardo, F., Zamalloa-Puma, L. M., Calla-Florez, M., Obregón-Yupanqui, M. E., Zamalloa-Puma, M. M., & Mojo-Quisani, A. (2021). Preparation and chemical and physical characteristics of an edible film based on native potato starch and Nopal mucilage. *Polymers*, 13(21), 3719. <https://doi.org/10.3390/polym13213719>

Choque-Quispe, D., Mojo-Quisani, A., Ligarda-Samanez, C. A., Calla-Florez, M., Ramos-Pacheco, B. S., Zamalloa-Puma, L. M., Peralta-Guevara, D. E., Solano-Reynoso, A. M., Choque-Quispe, Y., Zamalloa-Puma, A., Palomino-Malpartida, Y. G., Medina-Quiquin, L. D., & Kari-Ferro, A. (2022). Preliminary characterization of a spray-dried hydrocolloid from a high Andean

algae (Nostoc sphaericum). *Foods* (Basel, Switzerland), 11(11), 1640. <https://doi.org/10.3390/foods11111640>

Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>

Cushuro: conoce el alga peruana que es considerada “el alimento del futuro”. (s/f). Industriaalimentaria.org. Recuperado el 3 de mayo de 2024, de <https://www.industriaalimentaria.org/blog/contenido/cushuro-conoce-el-alga-peruana-que-es-considerada-el-alimento-del-futuro>

Díaz Saenz, R. (2019). Evaluación de películas comestibles de harina de maíz morado (Zea mays L.) y propóleo en la conservación de palta fuerte (Persea americana). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

E37 Committee. (2022). Terminology relating to thermal analysis and rheology. ASTM International.

Escobar, J. A. G. (2020). Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109321>

Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.004>

Faraone, A., Wagle, D. V., Baker, G. A., Novak, E. C., Ohl, M., Reuter, D., Lunkenheimer, P., Loidl, A., & Mamontov, E. (2018). Glycerol hydrogen-bonding network dominates structure and collective dynamics in a deep eutectic solvent. *The Journal of Physical Chemistry. B*, 122(3), 1261–1267. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcb.7b11224>

García, P., Sánchez, L., & Gómez, R. (2019). Estudio de la permeabilidad en polímeros bajo diferentes condiciones térmicas. *Journal of Materials Science*, 54(8), 2456-2468. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-03218-3>

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Romig, A. D., Jr, Lyman, C. E., Fiori, C., & Lifshin, E. (1992). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: A text for biologists, materials scientists, and geologists*. Springer US.

Gómez-Aldapa, C. A., Velazquez, G., Gutierrez, M. C., Castro-Rosas, J., Jiménez-Regalado, E. J., & Aguirre-Loredo, R. Y. (2020). Characterization of functional properties of biodegradable films based on starches from different botanical sources. *Die Starke*, 72(11–12). <https://doi.org/10.1002/star.201900282>

Gómez-Estaca, J., Bravo, L., Gómez-Guillén, M. C., Alemán, A., & Montero, P. (2009). Antioxidant properties of tuna-skin and bovine-hide gelatin films induced by the addition of oregano and rosemary extracts. *Food Chemistry*, 112(1), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.034>

Gontard, N., Marchesseau, S., Cuq, J.-L., & Guilbert, S. (2007). Water vapour permeability of edible bilayer films of wheat gluten and lipids. *International Journal of Food Science & Technology*, 30(1), 49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb01945.x>

González-Soto, R. A., Núñez-Santiago, M. C., & Bello-Pérez, L. A. (2019). Preparation and partial characterization of films made with dual-modified (acetylation and crosslinking) potato starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 3134–3141. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9528>

Guerrero, C., Salamanca, M., & Diaz, J. (2010). ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO EN LA CARACTERIZACIÓN. *Revista colombiana de química*, 39(2), 287–297. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/20337>

Guevara, P. E. D. (2022). Obtención y caracterización de biopelículas comestibles para recubrir alimentos a partir de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7022>

Han, J. H. (2014). Edible films and coatings. En *Innovations in Food Packaging* (pp. 213–255). Elsevier.

Hermansson, A.-M., & Svegmarm, K. (1996). Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 7(11), 345–353. [https://doi.org/10.1016/s0924-2244\(96\)10036-4](https://doi.org/10.1016/s0924-2244(96)10036-4)

Hollmann, J., Elbegzaya, N., Pawelzik, E., & Lindhauer, M. G. (2009). Isolation and characterization of glucuronoarabinoxylans from wheat bran obtained by classical and ultrasound-

assisted extraction methods. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 1(4), 231–239. <https://doi.org/10.1111/j.1757-837x.2009.00039.x>

Huang, T.-T., Zhou, D.-N., Jin, Z.-Y., Xu, X.-M., & Chen, H.-Q. (2016). Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*, 54, 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.002>

Indrianti, N., Pranoto, Y., & Abbas, A. (2018). Preparation and characterization of edible films made from modified sweet potato starch through heat moisture treatment. *Indonesian journal of chemistry*, 18(4), 679. <https://doi.org/10.22146/ijc.26740>

Jeevahan, J., & Chandrasekaran, M. (2019). Edible films and coatings: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 1–15.

Jeya Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Venkatesan, S. P., Sriram, V., Britto Joseph, G., Mageshwaran, G., & Durairaj, R. B. (2020). Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.014>

Johnson, E. M., Kumar, K., & Das, D. (2014). Physicochemical parameters optimization, and purification of phycobiliproteins from the isolated Nostoc sp. *Bioresource Technology*, 166, 541–547. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.097>

Kamper, S. L., & Fennema, O. (1984). Water vapor permeability of edible bilayer films. *Journal of Food Science*, 49(6), 1478–1481. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb12825.x>

Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z. E., Ghasemlou, M., & Jouki, M. (2014). Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) gum. *Carbohydrate Polymers*, 102, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.062>

Koksel, H., Muti, S. O., & Kahraman, K. (2023). Starch. En *ICC Handbook of 21st Century Cereal Science and Technology* (pp. 45–54). Elsevier.

Kurt, A., & Kahyaoglu, T. (2014). Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 104, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.003>

Lavrič, G., Oberlintner, A., Filipova, I., Novak, U., Likozar, B., & Vrabč-Brodnjak, U. (2021). Functional nanocellulose, alginate and chitosan nanocomposites designed as active film packaging materials. *Polymers*, 13(15), 2523. <https://doi.org/10.3390/polym13152523>

León-Leyva, A. P., Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Calderón-Castro, A., Fitch-Vargas, P. R., Jacobo-Valenzuela, N., Sánchez-Chilero, M. A., & Aguilar-Palazuelos, E. (2018). *Desarrollo y Caracterización de Películas Comestibles Elaboradas a Partir de Almidón Acetilado por Extrusión y Gelatina*. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/117.pdf>

Lezama-Solano, A., & Chambers, E., IV. (2018). Development and validation of a recipe method for doughs. *Foods (Basel, Switzerland)*, 7(10), 163. <https://doi.org/10.3390/foods7100163>

Lisette, {arévalo Alvarenga Verónica, Arnoldo, A. P. G., & Elisa}, L. A. S. (2018). Formulación y caracterización de una Biopelícula comestible elaborada a partir de Almidón de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y Yuca (*Manihot esculenta*) [UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR]. <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUES17918>

Machida-Hirano, R. (2015). Diversity of potato genetic resources. *Breeding Science*, 65(1), 26–40. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.26>

Manners, D. J. (1989). Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydrate Polymers*, 11(2), 87–112. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(89\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0144-8617(89)90018-0)

Marta, H., Rizki, D. I., Mardawati, E., Djali, M., Mohammad, M., & Cahyana, Y. (2023). Starch nanoparticles: Preparation, properties and applications. *Polymers*, 15(5), 1167. <https://doi.org/10.3390/polym15051167>

Martínez, A., & López, J. (2020). Influencia de la temperatura en la permeabilidad de recubrimientos. *Polymers and Coatings Journal*, 10(2), 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.pcj.2020.01.004>

Martínez, J., Rodríguez, P., & Torres, M. (2018). Propiedades térmicas y estructurales de biopolímeros en aplicaciones alimentarias. *Journal of Food Engineering*, 254(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.005>

Martínez, P., Peña, F., Bello-Pérez, L. A., Núñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X*, 2(100030), 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>

Martínez, P., Vilcarromero, D., Pozo, D., Peña, F., Manuel Cervantes-Uc, J., Uribe-Calderon, J., & Velezmoro, C. (2021). Characterization of starches obtained from several native

potato varieties grown in Cusco (Peru). *Journal of Food Science*, 86(3), 907–914. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15650>

Méndez-Ancca, S., Pepe-Victoriano, R., Gonzales, H. H. S., Zambrano-Cabanillas, A. W., Marín-Machuca, O., Rojas, J. C. Z., Maquera, M. M., Huanca, R. F., Aguilera, J. G., Zuffo, A. M., & Ratke, R. F. (2023). Physicochemical evaluation of cushuro (*Nostoc sphaericum* Vaucher ex Bornet & Flahault) in the region of Moquegua for food purposes. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(10), 1939. <https://doi.org/10.3390/foods12101939>

Mohd Marsin, A., & Muhamad, I. I. (2016). Effects of kappa carrageenan and glycerol in purple sweet potato starch based edible film. *Jurnal teknologi*, 78(6). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.4507>

Murrieta-Martínez, C. L., Soto-Valdez, H., Pacheco-Aguilar, R., Torres-Arreola, W., Rodríguez-Felix, F., & Márquez Ríos, E. (2018). Edible protein films: Sources and behavior. *Packaging Technology and Science*, 31(3), 113–122. <https://doi.org/10.1002/pts.2360>

Nakatsuka, S., & Andrady, A. L. (1992). Thermogravimetric determination of starch content in starch–polyethylene blend films. *Journal of Applied Polymer Science*, 45(11), 1881–1887. <https://doi.org/10.1002/app.1992.070451102>

Ni, S., Zhu, H., Neuzil, P., & Yobas, L. (2023). Sub-nL thin-film differential scanning calorimetry chip for rapid thermal analysis of liquid samples. *Lab on a Chip*, 23(7), 1926–1934. <https://doi.org/10.1039/d2lc01094a>

Ohdan, K., Fujii, K., Yanase, M., Takaha, T., & Kuriki, T. (2006). Enzymatic synthesis of amylose. *Biocatalysis and Biotransformation*, 24(1–2), 77–81. <https://doi.org/10.1080/10242420600598152>

Oregel-Zamudio, E., Aguilar, C. N., Oyoque-Salcedo, G., Angoa-Pérez, M. V., & Mena-Violante, H. G. (2016). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE PELÍCULAS COMESTIBLES A BASE DE CERA DE CANDELILLA. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(1), 1–7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81346341001>

Othman, S. H., Edwal, S. A. M., Risyon, N. P., Basha, R. K., & A. Talib, R. (2017). Water sorption and water permeability properties of edible film made from potato peel waste. *Food Science and Technology*, 37(suppl 1), 63–70. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.30216>

Ovchinnikova, A., Krylova, E., Gavrilenko, T., Smekalova, T., Zhuk, M., Knapp, S., & Spooner, D. M. (2011). Taxonomy of cultivated potatoes (*Solanum* section *Petota*: *Solanaceae*): CULTIVATED POTATO TAXONOMY. *Botanical Journal of the Linnean Society. Linnean Society of London*, 165(2), 107–155. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2010.01107.x>

Parra, D. F., Lourenço, R. V., & Sobral, P. J. A. (2021). Degradación térmica de películas biodegradables a base de almidón: Una revisión crítica. *Polymer Degradation and Stability*, 182(2), 109393. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109393>

Pacheco, N., Naal-Ek, M. G., Ayora-Talavera, T., Shirai, K., Román-Guerrero, A., Fabela-Morón, M. F., & Cuevas-Bernardino, J. C. (2019). Effect of bio-chemical chitosan and gallic acid into rheology and physicochemical properties of ternary edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.060>

Pagano, B., Randazzo, A., Fotticchia, I., Novellino, E., Petraccone, L., & Giancola, C. (2013). Differential scanning calorimetry to investigate G-quadruplexes structural stability. *Methods (San Diego, Calif.)*, 64(1), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2013.02.018>

Pavli, F., Argyri, A. A., Nychas, G.-J. E., Tassou, C., & Chorianopoulos, N. (2018). Use of Fourier transform infrared spectroscopy for monitoring the shelf life of ham slices packed with probiotic supplemented edible films after treatment with high pressure processing. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 106, 1061–1068. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.064>

Peralta, C., & Rocio, N. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*solanum tuberosum*) y mucilago de nopal. *Universidad Nacional José María Arguedas.mn*

Racmayani, N., & Husni, A. (2020). Effect of different formulations on characteristic of biobased alginate edible films as biodegradable packaging. *E3S web of conferences*, 147, 03003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703003>

Radic, N., & Kukoc-Modu, L. (2012). Kinetic methods of analysis with potentiometric and spectrophotometric detectors – our laboratory experiences. En *Analytical Chemistry*. InTech.

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2021a). Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 14(2), 209–231. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02528-4>

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2021b). Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 14(2), 209–231. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02528-4>

Shafiq, M., Haider, S., & Khan, N. (2019). Estabilidad térmica y degradación de películas de almidón modificado para aplicaciones en la industria alimentaria. *Carbohydrate Polymers*, 203, 320-328. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.008>

Silverstein, R. M., Webster, F. X., Kiemle, D. J., & Bryce, D. L. (2014). *Spectrometric identification of Organic Compounds*. John Wiley & Sons.

Standard Test Method for Determining the Tensile Strength of Edible Films. (2014). American Society for Testing and Materials.

Struik, P. C. (1994). Potato genetics: J.E. Bradshaw & G.R. Mackay (eds.) CAB International Wallingford, UK, 1994. 13+552 pp. Subject index. ISBN 0 85198 869 5. Price: 76 pounds. *Potato Research*, 38(1), 109–109. <https://doi.org/10.1007/bf02358075>

Takei, S. (2018). Safety-oriented photolithography of water-soluble resist using water-coating and water-developable processes for edible pharmaceutical polymer films. *Applied physics express*, 11(8), 086501. <https://doi.org/10.7567/apex.11.086501>

Tan, C. P., Che Man, Y. B., Selamat, J., & Yusoff, M. S. A. (2002). Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods. *Food Chemistry*, 76(3), 385–389. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(01\)00272-2](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(01)00272-2)

Tavares, L., Souza, H. K. S., Gonçalves, M. P., & Rocha, C. M. R. (2021). Physicochemical and microstructural properties of composite edible film obtained by complex coacervation between chitosan and whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 113(106471), 106471. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106471>

Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development and characterization of edible films based on kefir and whey protein concentrate. *Carbohydrate Polymers*, 137, 350–358.

Temsiripong, T., Pongsawatmanit, R., Ikeda, S., & Nishinari, K. (2005). Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 1054–1063. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.02.005>

Tomás, S. A., Cruz-Orea, A., Stolik, S., Pedroza-Islas, R., Villagómez-Zavala, D. L., & Gómez-Corona, C. (2004). Determination of the thermal diffusivity of edible films. *International Journal of Thermophysics*, 25(2), 611–620. <https://doi.org/10.1023/b:ijot.0000028494.54816.e6>

Torres, G., Frausto, P., Villarruel, N., Barrera, A., Gutiérrez-Lomelí, M., Rodríguez-Félix, F., Del Toro, L., & Robles, M. A. (2019). *Preparación y caracterización de almidón modificado para elaborar a futuro biopelículas para productos hortofrutícolas*. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13437.00486>

Vanegas, H. (2014). Obtención de películas biodegradables a partir de mezclas de quitosano de cáscara de camarón y agentes plastificantes.

Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Scientia agropecuaria*, 7(SPE), 223–230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>

Wahidin, M., Srimarlita, A., Sulaiman, I., & Indarti, E. (2021). Transparency and thickness of jackfruit and durian seed starch edible film. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 667(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/667/1/012030>

Wang, Y., & Zhang, G. (2021). The preparation of modified nano-starch and its application in food industry. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 140(110009), 110009. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110009>

Whitton, B. A., & Potts, M. (Eds.). (2002). *The ecology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers.

Xin, S., Xiao, L., Dong, X., Li, X., Wang, Y., Hu, X., Sameen, D. E., Qin, W., & Zhu, B. (2020). Preparation of chitosan/curcumin nanoparticles based zein and potato starch composite films for *Schizothorax prenati* fillet preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.082>

Zhang, Y., & Han, J. H. (2006). Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science*, 71(2). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb08891.x>

Zheng, K., Xiao, S., Li, W., Wang, W., Chen, H., Yang, F., & Qin, C. (2019). Chitosan-acorn starch-eugenol edible film: Physico-chemical, barrier, antimicrobial, antioxidant and

structural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.151>

Zimmerer, K. S. (1991). The regional biogeography of native potato cultivars in highland Peru. *Journal of biogeography*, 18(2), 165. <https://doi.org/10.2307/2845290>

ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables de Investigación	Metodología
¿Cuáles son las características de las películas comestibles elaboradas con almidón de papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> ssp <i>andigenum</i>) de la variedad Yuraq anqa, almidón modificado, Nostoc atomizado (<i>Nostoc sphaericum</i>) y glicerina?.	Evaluar las características de las películas comestibles elaboradas a partir de almidón de papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> ssp <i>andigenum</i>) de la variedad Yuraq anqa, almidón modificado, Nostoc atomizado (<i>Nostoc sphaericum</i>) y glicerina,	Las películas comestibles elaboradas con almidón de papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> ssp <i>andigenum</i>) de la variedad Yuraq anqa y Nostoc Atomizado (<i>Nostoc sphaericum</i>), almidón modificado y glicerina presentan características específicas en función de las diferentes formulaciones y temperaturas de moldeo.	Variables independientes -Formulaciones -Temperaturas de moldeo.	Tipo de Investigación -Aplicada- Experimental
¿Cuál es el efecto de las diferentes formulaciones y temperaturas de moldeo sobre las propiedades térmicas y mecánicas de las películas comestibles?.	Determinar el efecto de las diferentes formulaciones y las temperaturas de moldeo sobre las propiedades térmicas y mecánicas de las películas comestibles.	Las diferentes formulaciones y temperaturas de moldeo afectan significativamente el comportamiento térmico y mecánico de las películas comestibles.	Variables dependientes -Propiedades Estructurales -Propiedades Mecánicas	
¿De qué manera las formulaciones planteadas y temperaturas de moldeo afectan las características físico-químicas y estructurales de las películas comestibles?.	Analizar cómo las formulaciones y las temperaturas de moldeo influyen en las características fisicoquímicas y estructurales de las películas comestibles.	Las formulaciones y temperaturas de moldeo tienen un impacto considerable en las características físico-químicas y estructurales de las películas comestibles.	-Propiedades Físico-químicas -Propiedades Térmicas -Color	
¿Qué formulaciones y temperaturas de moldeo influyen sobre el color de las películas comestibles?.	Evaluar el impacto de las formulaciones y las condiciones de moldeo sobre el color de las películas comestibles.	Las distintas formulaciones y temperaturas tratamiento influyen en el color de las películas comestibles.		

Anexo B. Instrumentos de Recolección de Información

Anexo B1. Datos de los Resultados de la Resistencia a la Tracción

Datos para el espesor de las películas (mm)

Repetición	F1,60°C	F2,60°C	F3,60°C	F1,50°C	F2,50°C	F3, 50°C
1	0.1330	0.1280	0.0830	0.1580	0.1310	0.0840
2	0.1330	0.1250	0.0810	0.1560	0.1320	0.0830
3	0.1280	0.1280	0.0860	0.1590	0.1340	0.0880
4	0.1320	0.1260	0.0850	0.1570	0.1330	0.0890
5	0.1250	0.1260	0.0880	0.1610	0.1360	0.0910
6	0.1360	0.1270	0.0860	0.1560	0.1400	0.0910
7	0.1320	0.1290	0.0930	0.1620	0.1390	0.0960
8	0.1390	0.1200	0.0820	0.1570	0.1370	0.0930
9	0.1250	0.1280	0.0910	0.1680	0.1400	0.0960
10	0.1260	0.1220	0.0880	0.1670	0.1380	0.0930

Nota: Las tiras de las películas fueron 10 mm de ancho por 100 mm de largo para todas las formulaciones y tratamientos.

Fuerza máxima de la rotura de la película comestible en (N)

Formulación	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
F1, 60°C	0.2407	0.4814	0.4814
F2, 60°C	0.7222	0.7922	0.7222
F3, 60°C	3.3701	3.6108	3.6108
F1, 50°C	0.4814	0.7222	0.4814
F2, 50°C	0.9629	1.9258	0.9629
F3, 50°C	2.6479	3.1294	2.4072

Datos obtenidos para la resistencia a la tracción de las películas comestibles (N/mm²)

Formulación	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
F1, 60°C	0.1839	0.3678	0.3678
F2, 60°C	0.5736	0.6292	0.5736
F3, 60°C	3.9051	4.1840	4.1840
F1, 50°C	0.3007	0.4511	0.3007
F2, 50°C	0.7080	1.4160	0.7080
F3, 50°C	2.9291	3.4617	2.6628

Análisis de Varianza para la resistencia a la tracción de las películas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulación)	2	36.7257	18.3629	291.21	0.000
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	0.2291	0.2291	3.63	0.081
Tratamiento 1 (Formulación)*Tratamiento 2 (Temperatura)	2	1.6870	0.8435	13.38	0.001
Error	12	0.7567	0.0631		
Total	17	39.3985			

Información de la resistencia a la tracción utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento 1 (Formulación)*Tratamiento 2 (Temperatura)			
	N	Media	Agrupación
F3, 60°C	3	4.09104	A
F3, 50°C	3	3.01788	B
F2, 50°C	3	0.94402	C
F2, 60°C	3	0.59216	C
F1, 50°C	3	0.35082	C
F1, 60°C	3	0.30647	C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo B2. Datos de los Resultados del Porcentaje de Elongación

Datos obtenidos para d_0 y d_r en las películas comestibles

Formulación	d_0 (mm)	d_r (mm)		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
F1,60°C	100	111.71	111.75	111.70
F2,60°C	100	112.02	112.00	112.05
F3,60°C	100	113.18	113.20	113.10
F1,50°C	100	112.11	112.10	112.15
F2,50°C	100	113.85	113.80	113.90
F3,50°C	100	114.38	114.35	114.40

Datos obtenidos para el alargamiento a la rotura (EB) de las películas comestibles

Formulación	Alargamiento a la rotura (EB)(%)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
F1,60°C	11.71	11.75	11.70
F2,60°C	12.02	12.00	12.05
F3,60°C	13.18	13.20	13.10
F1,50°C	12.11	12.10	12.15
F2,50°C	13.85	13.80	13.90
F3,50°C	14.38	14.35	14.40

Análisis de Varianza para el porcentaje de elongación de las películas comestibles

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulación)	2	10.2832	5.14162	3872.35	0.000
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	5.9283	5.92827	4464.81	0.000
Tratamiento 1 (Formulación)*Tratamiento 2 (Temperatura)	2	1.5372	0.76861	578.87	0.000
Error	12	0.0159	0.00133		
Total	17	17.7647			

Información para el % Elongación utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento 1			
(Formulación)*Tratamiento			
2 (Temperatura)	N	Media	Agrupación
F3, 50°C	3	14.3767	A
F2, 50°C	3	13.8500	B
F3, 60°C	3	13.1600	C
F1, 50°C	3	12.1200	D
F2, 60°C	3	12.0233	D
F1, 60°C	3	11.7200	E

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo B3. Datos de los Resultados del Espesor

Repetición	F1, 60°C	F2, 60°C	F3, 60°C	F1, 50°C	F2, 50°C	F3, 50°C
1	0.1330	0.1280	0.0830	0.1580	0.1310	0.0840
2	0.1330	0.1250	0.0810	0.1560	0.1320	0.0830
3	0.1280	0.1280	0.0860	0.1590	0.1340	0.0880
4	0.1320	0.1260	0.0850	0.1570	0.1330	0.0890
5	0.1250	0.1260	0.0880	0.1610	0.1360	0.0910
6	0.1360	0.1270	0.0860	0.1560	0.1400	0.0910
7	0.1320	0.1290	0.0930	0.1620	0.1390	0.0960
8	0.1390	0.1200	0.0820	0.1570	0.1370	0.0930
9	0.1250	0.1280	0.0910	0.1680	0.1400	0.0960
10	0.1260	0.1220	0.0880	0.1670	0.1380	0.0930

Análisis de Varianza para el espesor de las películas comestibles

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulación)	2	0.035284	0.017642	1101.09	0.000
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	0.003139	0.003139	195.93	0.000
Tratamiento 1 (Formulación)*Tratamiento 2 (Temperatura)	2	0.001718	0.000859	53.61	0.000
Error	54	0.000865	0.000016		
Total	59	0.041006			

Información para el espesor utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%**Tratamiento 1****(Formulación)*Tratamiento****2 (Temperatura)**

	N	Media	Agrupación	
F1, 50°C	10	0.1601	A	
F2, 50°C	10	0.1360	B	
F1, 60°C	10	0.1309	B	C
F2, 60°C	10	0.1259		C
F3, 50°C	10	0.0904		D
F3, 60°C	10	0.0863		D

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo B4. Datos de los Resultados de la Permeabilidad al Vapor de Agua

a) Repetición 01. Para la permeabilidad al vapor de agua (PVA)

$$d_m \text{ (g)} = \text{Masa Final} - \text{Masa Inicial}$$

t (h)	F1 60C,R1 (g)	F2 60C,R1 (g)	F3 60C,R1 (g)	F1 50C,R1 (g)	F2,50,R1 (g)	F3 50C,R1 (g)
2	0.0051	0.0086	0.0070	0.0060	0.0076	0.0053
4	0.0090	0.0094	0.0084	0.0090	0.0086	0.0096
6	0.0083	0.0086	0.0075	0.0356	0.0079	0.0079
8	0.0081	0.0089	0.0080	0.0105	0.0078	0.0077
10	0.0084	0.0088	0.0081	0.0094	0.0085	0.0093
12	0.0094	0.0100	0.0093	0.0099	0.0095	0.0099
14	0.0076	0.0075	0.0071	0.0080	0.0070	0.0074
16	0.0059	0.0061	0.0062	0.0060	0.0057	0.0061
18	0.0059	0.0061	0.0062	0.0060	0.0057	0.0061
20	0.0059	0.0061	0.0062	0.0059	0.0057	0.0061
22	0.0118	0.0121	0.0122	0.0118	0.0112	0.0121
24	0.0059	0.0060	0.0061	0.0059	0.0056	0.0060
26	0.0075	0.0079	0.0040	0.0076	0.0070	0.0075
28	0.0066	0.0072	0.0064	0.0069	0.0071	0.0077
30	0.0091	0.0092	0.0085	0.0094	0.0081	0.0096

$$(d_m = \text{Masa Final} - \text{Masa Inicial}) / (d_t = \text{Tiempo final} - \text{Tiempo inicial})$$

	t (h)	F1 60C,R1	F2 60C,R1	F3 60C,R1	F1 50C,R1	F2,50,R1	F3 50C,R1
d_m/d_t (g/h)	2	0.0025	0.0043	0.0035	0.0030	0.0038	0.0027
	4	0.0045	0.0047	0.0042	0.0045	0.0043	0.0048
	6	0.0042	0.0043	0.0038	0.0178	0.0040	0.0039
	8	0.0040	0.0045	0.0040	0.0053	0.0039	0.0038
	10	0.0042	0.0044	0.0040	0.0047	0.0042	0.0046

12	0.0047	0.0050	0.0046	0.0049	0.0047	0.0050
14	0.0038	0.0038	0.0036	0.0040	0.0035	0.0037
16	0.0029	0.0031	0.0031	0.0030	0.0029	0.0031
18	0.0030	0.0031	0.0031	0.0030	0.0029	0.0031
20	0.0030	0.0031	0.0031	0.0030	0.0028	0.0031
22	0.0059	0.0061	0.0061	0.0059	0.0056	0.0061
24	0.0030	0.0030	0.0031	0.0030	0.0028	0.0030
26	0.0038	0.0039	0.0020	0.0038	0.0035	0.0038
28	0.0033	0.0036	0.0032	0.0034	0.0036	0.0038
30	0.0046	0.0046	0.0042	0.0047	0.0040	0.0048

Datos obtenidos para la permeabilidad al vapor de agua en la repetición 1

F	Pendiente (g/h)	d_m/d_t (Prom)	VTVA g/hm ²	TPVA g/hm ² Pa	Espesor (mm)	PVA gmm/hm ² Pa	Ø Film (m)	Area m ²	P (Pa)	HR Ext	HR Int
F1 60C	0.0063	0.0038	25.008	0.0718	0.1990	0.3610	0.0139	0.00015	1934	0.5	0.32
F2 60C	0.0469	0.0040	28.195	0.0809	0.1160	0.6982	0.0134	0.00014	1934	0.5	0.32
F3 60C	0.0337	0.0037	26.128	0.0750	0.0960	0.7818	0.0134	0.00014	1934	0.5	0.32
F1 50C	0.1056	0.0046	31.666	0.0909	0.2180	0.4173	0.0136	0.00014	1934	0.5	0.32
F2 50C	0.0398	0.0037	25.137	0.0722	0.1060	0.6812	0.0137	0.00014	1934	0.5	0.32
F3 50C	0.0063	0.0039	26.908	0.0773	0.1870	0.4133	0.0137	0.00014	1934	0.5	0.32

b) Repetición 02. Para la permeabilidad al vapor de agua

d_m (g) = Masa Final – Masa Inicial						
t (h)	F1 60C,R2 (g)	F2 60C,R2 (g)	F3 60C,R2 (g)	F1 50C,R2 (g)	F2,50,R2 (g)	F3 50C,R2 (g)
2	0.0150	0.0159	0.0197	0.0073	0.0126	0.0184
4	0.0145	0.0064	0.0060	0.0065	0.0070	0.0063
6	0.0145	0.0074	0.0066	0.0071	0.0070	0.0065
8	0.0145	0.0069	0.0065	0.0070	0.0070	0.0067
10	0.0145	0.0069	0.0065	0.0066	0.0069	0.0067

12	0.0145	0.0041	0.0037	0.0040	0.0042	0.0034
14	0.0145	0.0070	0.0066	0.0071	0.0070	0.0065
16	0.0145	0.0070	0.0066	0.0071	0.0070	0.0065
18	0.0145	0.0069	0.0065	0.0074	0.0069	0.0064
20	0.0145	0.0069	0.0065	0.0072	0.0070	0.0064
22	0.0145	0.0069	0.0065	0.0071	0.0069	0.0064
24	0.0145	0.0047	0.0045	0.0048	0.0047	0.0046
26	0.0145	0.0057	0.0054	0.0054	0.0116	0.0053
28	0.0145	0.0108	0.0098	0.0116	0.0112	0.0108
30	0.0145	0.0053	0.0049	0.0057	0.0055	0.0053

(d_m =Masa Final–Masa Inicial) / (d_t =Tiempo final–Tiempo inicial)

	Hora	F1 60C,R2	F2 60C,R2	F3 60C,R2	F1 50C,R2	F2,50,R2	F3 50C,R2
d_m/d_t (g/h)	2	0.0075	0.0080	0.0099	0.0037	0.0063	0.0092
	4	0.0073	0.0032	0.0030	0.0032	0.0035	0.0032
	6	0.0073	0.0037	0.0033	0.0036	0.0035	0.0032
	8	0.0073	0.0034	0.0032	0.0035	0.0035	0.0033
	10	0.0073	0.0035	0.0033	0.0033	0.0034	0.0034
	12	0.0073	0.0021	0.0018	0.0020	0.0021	0.0017
	14	0.0073	0.0035	0.0033	0.0035	0.0035	0.0032
	16	0.0073	0.0035	0.0033	0.0036	0.0035	0.0032
	18	0.0073	0.0034	0.0032	0.0037	0.0035	0.0032
	20	0.0073	0.0035	0.0032	0.0036	0.0035	0.0032
	22	0.0073	0.0034	0.0033	0.0036	0.0035	0.0032
	24	0.0073	0.0023	0.0023	0.0024	0.0023	0.0023
	26	0.0073	0.0029	0.0027	0.0027	0.0058	0.0027
	28	0.0073	0.0054	0.0049	0.0058	0.0056	0.0054
	30	0.0073	0.0027	0.0024	0.0029	0.0028	0.0026

Datos obtenidos para la permeabilidad al vapor de agua en la repetición 2

F	Pendi ente (g/h)	d_m/d_t (Prom)	VTVA g/hm ²	TPVA g/ hm ² Pa	Espes or (mm)	PVA gmm/ hm ² Pa	Ø Film (m)	Area m ²	P (Pa)	HR Ext	HR Int
F1 60C	0.114	0.0073	47.719	0.1370	0.196	0.6970	0.013	0.00015	1934	0.5	0.32
F2 60C	0.113	0.0036	25.564	0.0734	0.114	0.6404	0.013	0.00014	1934	0.5	0.32
F3 60C	0.145	0.0035	24.976	0.0717	0.098	0.7272	0.013	0.00014	1934	0.5	0.32
F1 50C	0.009	0.0034	23.382	0.0671	0.215	0.3124	0.013	0.00014	1934	0.5	0.32
F2 50C	0.001	0.0038	25.476	0.0731	0.106	0.6883	0.013	0.00014	1934	0.5	0.32
F3 50C	0.114	0.0035	24.155	0.0693	0.187	0.3697	0.013	0.00014	1934	0.5	0.32

c) Repetición 03. Para la permeabilidad al vapor de agua

$$d_m \text{ (g)} = \text{Masa Final} - \text{Masa Inicial}$$

T (h)	F1 60C,R3 (g)	F2 60C,R3 (g)	F3 60C,R3 (g)	F1 50C,R3 (g)	F2,50,R3 (g)	F3 50C,R3 (g)
2	0.0072	0.0068	0.0066	0.0039	0.0077	0.0076
4	0.0069	0.0061	0.0059	0.0059	0.0065	0.0072
6	0.0069	0.0066	0.0062	0.0065	0.0065	0.0075
8	0.0069	0.0068	0.0065	0.0062	0.0066	0.0066
10	0.0069	0.0067	0.0065	0.0062	0.0066	0.0066
12	0.0069	0.0040	0.0038	0.0042	0.0042	0.0041
14	0.0069	0.0071	0.0067	0.0068	0.0071	0.0071
16	0.0069	0.0071	0.0066	0.0067	0.0071	0.0071
18	0.0069	0.0070	0.0066	0.0067	0.0070	0.0071
20	0.0069	0.0070	0.0066	0.0063	0.0070	0.0071
22	0.0069	0.0070	0.0066	0.0071	0.0070	0.0071
24	0.0069	0.0050	0.0047	0.0049	0.0039	0.0047
26	0.0069	0.0053	0.0051	0.0049	0.0055	0.0055
28	0.0069	0.0098	0.0094	0.0098	0.0099	0.1676
30	0.0069	0.0049	0.0047	0.0048	0.0047	0.0837

$(d_m = \text{Masa Final} - \text{Masa Inicial}) / (d_t = \text{Tiempo final} - \text{Tiempo inicial})$

	Hora	F1 60C,R1	F2 60C,R1	F3 60C,R1	F1 50C,R1	F2,50,R5	F3 50C,R1
d_m/d_t (g/h)	2	0.0036	0.0034	0.0033	0.0019	0.0038	0.0038
	4	0.0035	0.0031	0.0030	0.0030	0.0032	0.0036
	6	0.0035	0.0033	0.0031	0.0032	0.0032	0.0038
	8	0.0035	0.0034	0.0033	0.0031	0.0033	0.0033
	10	0.0035	0.0033	0.0032	0.0031	0.0033	0.0033
	12	0.0035	0.0020	0.0019	0.0021	0.0021	0.0020
	14	0.0035	0.0036	0.0034	0.0034	0.0036	0.0036
	16	0.0035	0.0035	0.0033	0.0033	0.0035	0.0036
	18	0.0035	0.0035	0.0033	0.0034	0.0035	0.0035
	20	0.0035	0.0035	0.0033	0.0031	0.0035	0.0036
	22	0.0035	0.0035	0.0033	0.0035	0.0035	0.0036
	24	0.0035	0.0025	0.0023	0.0025	0.0020	0.0023
	26	0.0035	0.0027	0.0025	0.0024	0.0027	0.0027
	28	0.0035	0.0049	0.0047	0.0049	0.0050	0.0838
	30	0.0035	0.0025	0.0023	0.0024	0.0023	0.0419

Datos obtenidos para la permeabilidad al vapor de agua en la repetición 3

F	Pendi ente (g/h)	d_m/d_t (Prom)	VTVA g/hm ²	TPVA g/ hm ² Pa	Espes or (mm)	PVA gmm/ hm ² Pa	Ø Film (m)	Area m ²	P (Pa)	HR Ext	HR Int
F1 60C	0.280	0.0035	22.768	0.0654	0.196	0.3326	0.0139	0.00015	1934	0.5	0.32
F2 60C	0.000	0.0032	22.838	0.0656	0.114	0.5721	0.0134	0.00014	1934	0.5	0.32
F3 60C	0.000	0.0031	21.734	0.0624	0.098	0.6328	0.0134	0.00014	1934	0.5	0.32
F1 50C	0.066	0.0030	20.858	0.0599	0.215	0.2787	0.0136	0.00014	1934	0.5	0.32
F2 50C	0.010	0.0032	22.034	0.0633	0.106	0.5953	0.0137	0.00014	1934	0.5	0.32
F3 50C	0.280	0.0112	76.551	0.2199	0.187	1.1718	0.0137	0.00014	1934	0.5	0.32

Análisis de Varianza para la Permeabilidad al Vapor de Agua

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulacion	2	0.000295	0.000295	0.000147	11.90	0.001
Temperatura	1	0.000007	0.000007	0.000007	0.58	0.460
Formulacion*Temperatura	2	0.000065	0.000065	0.000032	2.62	0.114
Error	12	0.000149	0.000149	0.000012		
Total	17	0.000515				

Información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Formulacion*Temperatura	N	Media	Agrupación
1 60	3	0.0179557	A
1 50	3	0.0156123	A B
3 50	3	0.0126267	A B
2 60	3	0.0075602	B
2 50	3	0.0071922	B
3 60	3	0.0061184	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo B5. Datos de los Resultados del Porcentaje de Solubilidad

Muestras de 2 X 2 cm para la solubilidad , 81°C secado

Formulacion	Peso inicial film seco (g)	Peso final del film (g)	%S
F1, 60°C	0.0485	0.0211	56.4948
F2, 60°C	0.0517	0.0185	64.2166
F3, 60°C	0.0542	0.0316	41.6974
F1, 50°C	0.1307	0.0224	82.8615
F2, 50°C	0.0536	0.0297	44.5896
F3, 50°C	0.1034	0.0347	66.4410

Formulacion	Espesor del film seco (mm)				
	Repeticion 1	Repeticion 2	Repeticion 3	Repeticion 4	Repeticion 5
F1, 60°C	0.212	0.194	0.197	0.198	0.198
F2, 60°C	0.106	0.110	0.108	0.104	0.101
F3, 60°C	0.103	0.101	0.101	0.100	0.102
F1, 50°C	0.230	0.232	0.238	0.238	0.236
F2, 50°C	0.100	0.101	0.101	0.099	0.110
F3, 50°C	0.188	0.187	0.191	0.191	0.188

Análisis de Varianza para el porcentaje de solubilidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulacion)	2	1163.2	581.59	12.44	0.001
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	244.0	243.96	5.22	0.041
Tratamiento 1 (Formulacion)*Tratamiento 2 (Temperatura)	2	543.6	271.80	5.82	0.017
Error	12	560.8	46.74		
Total	17	2511.6			

Información para el % solubilidad utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento 1				
(Formulación)*Tratamiento				
2 (Temperatura)	N	Media	Agrupación	
1 50	3	80.2320	A	
2 60	3	64.4076	A	B
1 60	3	62.2376	A	B C
3 50	3	57.5038	B	C
2 50	3	56.6350	B	C
3 60	3	45.6368		C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo B6. Datos de los Resultados de la Transparencia

Longitud de onda de 600 nm

Formulación	Absorbancia (nm)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
F1, 60°C	0.504	0.511	0.526	0.514
F2, 60°C	0.527	0.524	0.52	0.524
F3, 60°C	0.569	0.569	0.57	0.569
F1, 50°C	0.364	0.365	0.364	0.364
F2, 50°C	0.508	0.506	0.506	0.507
F3, 50°C	0.403	0.404	0.404	0.404

Formulación	Espesor film (mm)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
F1, 60°C	0.199	0.194	0.197	0.197
F2, 60°C	0.116	0.114	0.114	0.115
F3, 60°C	0.096	0.101	0.099	0.099
F1, 50°C	0.218	0.21	0.217	0.215

F2, 50°C	0.106	0.106	0.107	0.106
F3, 50°C	0.187	0.188	0.188	0.188

Análisis de Varianza para la transparencia

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulación)	2	0.035284	0.017642	1101.09	0.00
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	0.003139	0.003139	195.93	0.00
Tratamiento 1 (Formulación)*Tratamiento 2 (Temperatura)	2	0.001718	0.000859	53.61	0.00
Error	54	0.000865	0.000016		
Total	59	0.041006			

Información para la transparencia utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento 1 (Formulación)*Tratamiento 2 (Temperatura)			
	N	Media	Agrupación
F3 60	3	5.77277	A
F2 50	3	4.76500	B
F2 60	3	4.56700	C
F1 60	3	2.61224	D
F3 50	3	2.15098	E
F1 50	3	1.69508	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo B7. Datos de los Resultados de la Actividad de Agua

Aw	Repeticion 1	Repeticion 2	Repeticion 3	Repeticion 4	Repeticion 5
F1 60°C	0.4750	0.4630	0.4600	0.4700	0.4590
F2 60°C	0.4710	0.4560	0.4450	0.4450	0.4460
F3 60°C	0.4450	0.4260	0.4270	0.4120	0.4330
F1 50°C	0.4700	0.4610	0.4660	0.4530	0.4570
F2 50°C	0.4380	0.4290	0.4200	0.4170	0.4160
F3 50°C	0.4340	0.4150	0.4050	0.4010	0.4030

Análisis de Varianza para la Actividad de Agua

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulacion	2	0.009454	0.009454	0.004727	44.49	0.000
Temperatura	1	0.002050	0.002050	0.002050	19.30	0.000
Formulacion*Temperatura	2	0.000757	0.000757	0.000379	3.56	0.044
Error	24	0.002550	0.002550	0.000106		
Total	29	0.014811				

Información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Formulacion*Temperatura	N	Media	Agrupación
1 60	5	0.4654	A
1 50	5	0.4614	A
2 60	5	0.4526	A

Formulacion*Temperatura	N	Media	Agrupación
3 60	5	0.4286	B
2 50	5	0.4240	B
3 50	5	0.4116	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo B8. Datos de los Resultados del espacio de Color (L*, a*, b*)

Formulacion	L*	a*	b*
F1,60°C Repetición 1	94.980	-1.510	9.330
F1,60°C Repetición 2	94.970	-1.500	9.330
F1,60°C Repetición 3	94.970	-1.520	9.340
F2,50°C Repetición 1	95.080	-1.010	7.340
F2,50°C Repetición 2	95.080	-1.010	7.340
F2,50°C Repetición 3	95.080	-1.010	7.340
F3,60°C Repetición 1	94.900	-1.090	7.480
F3,60°C Repetición 2	94.900	-1.090	7.490
F3,60°C Repetición 3	94.900	-1.090	7.490
F1,50°C Repetición 1	94.970	-1.300	7.960
F1,50°C Repetición 2	94.970	-1.300	7.970
F1,50°C Repetición 3	94.970	-1.320	7.970
F2,50°C Repetición 1	95.600	-1.140	6.500
F2,50°C Repetición 2	95.600	-1.140	6.500
F2,50°C Repetición 3	95.600	-1.140	6.490
F3,50°C Repetición 1	95.430	-1.320	9.380
F3,50°C Repetición 2	95.430	-1.340	9.390
F3,50°C Repetición 3	95.430	-1.340	9.390

Análisis de Varianza para la Luminosidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulación)	2	0.40734	0.203672	36661.00	0.000
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	0.54776	0.547756	98596.00	0.000
Tratamiento 1 (Formulacion)*Tratamiento 2 (Temperatura)	2	0.27921	0.139606	25129.00	0.000
Error	12	0.00007	0.000006		
Total	17	1.23438			

Información para la Luminosidad utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento 1 (Formulacion)*Tratamiento 2 (Temperatura)				
	N	Media	Agrupación	
F2, 50°C	3	95.6000	A	
F3, 50°C	3	95.4300	B	
F2, 60°C	3	95.0800	C	
F1, 60°C	3	94.9733	D	
F1, 50°C	3	94.9700	D	
F3, 60°C	3	94.9000	E	

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis de Varianza para la coordenada a* (escala de color rojo-verde)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulación)	2	0.336933	0.168467	2756.73	0.000
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	0.014450	0.014450	236.45	0.000

Tratamiento 1	2	0.161733	0.080867	1323.27	0.000
(Formulación)*Tratamiento 2					
(Temperatura)					
Error	12	0.000733	0.000061		
Total	17	0.513850			

Información para la coordenada a* utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento 1

(Formulación)*Tratamiento

2 (Temperatura)	N	Media	Agrupación
F2, 60°C	3	-1.01000	A
F3, 60°C	3	-1.09000	B
F2, 50°C	3	-1.14000	C
F1, 50°C	3	-1.30667	D
F3, 50°C	3	-1.33333	E
F1, 60°C	3	-1.51000	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Análisis de Varianza para la coordenada b* (escala de color amarillo - azul)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento 1 (Formulación)	2	10.6990	5.34952	192582.60	0.000
Tratamiento 2 (Temperatura)	1	0.0480	0.04805	1729.80	0.000
Tratamiento 1	2	9.2354	4.61772	166237.80	0.000
(Formulación)*Tratamiento 2					
(Temperatura)					
Error	12	0.0003	0.00003		
Total	17	19.9828			

Información para la coordenada b* utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

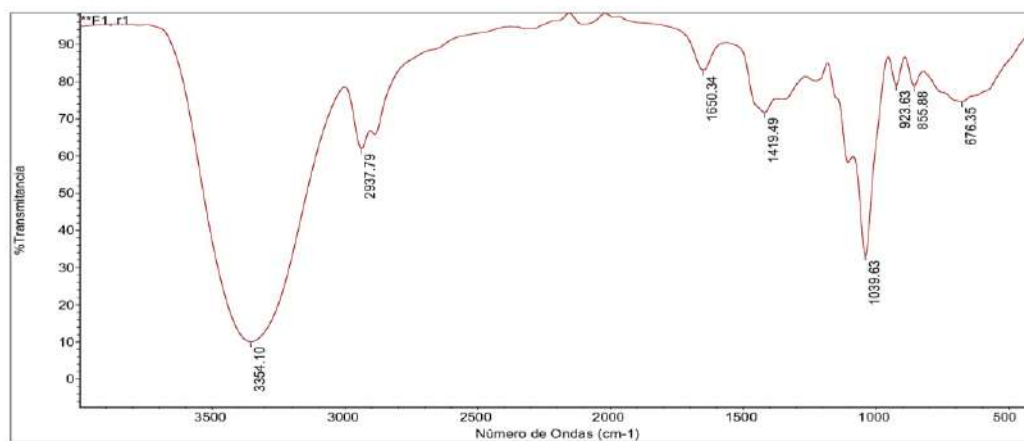
Tratamiento 1			
(Formulacion)*Tratamiento			
2 (Temperatura)	N	Media	Agrupación
F3, 50°C	3	9.38667	A
F1, 60°C	3	9.33333	B
F1, 50°C	3	7.96667	C
F3, 60°C	3	7.48667	D
F2, 60°C	3	7.34000	E
F2, 50°C	3	6.49667	F

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo C. Métodos de Prueba Estándar en los Análisis

Anexo C1. Datos del Resultado de los Grupos Funcionales FT-IR

a) Espectros para las formulaciones F1,60°C, F2,60°C, F3,60°C, F1,50°C, F2,50°C y F3,50°C, respectivamente

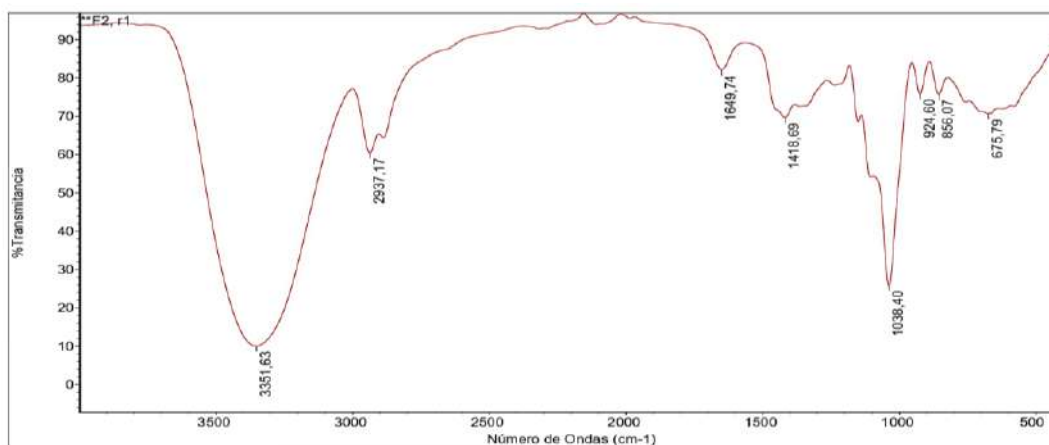


Jue Dic 23 10:27:37 2021 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

Espectro: **F1, r1
Región: 3999.71 402.40
Umbral absoluto: 95.059
Sensibilidad: 50

Posición	Intensidad
676.35	74.589
855.88	78.901
923.63	79.120
1039.63	33.274
1419.49	71.667
1650.34	83.067
2937.79	61.993
3354.10	10.006

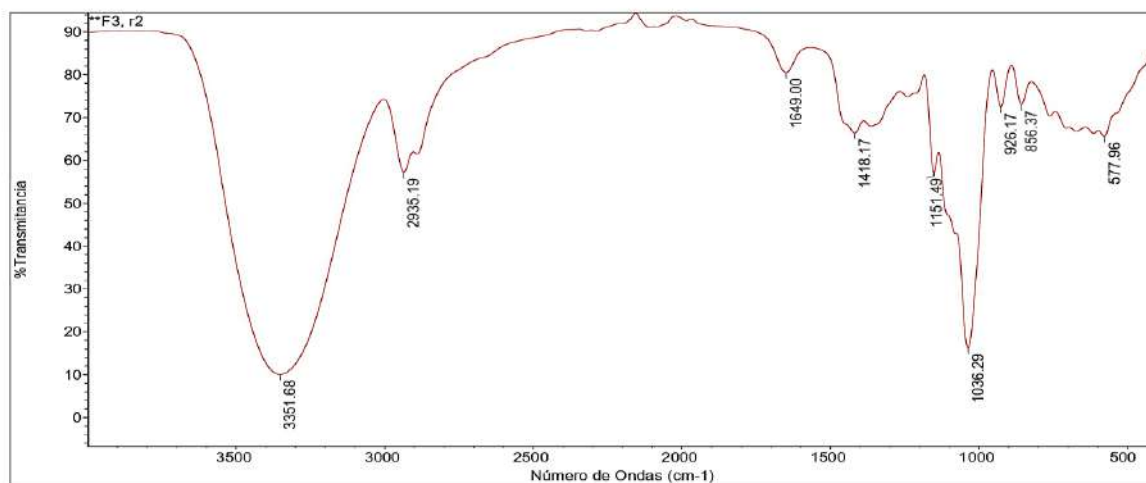


Jue Dic 23 10:27:19 2021 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

Espectro: **F2, r1
Región: 3999.71 402.40
Umbral absoluto: 94.815
Sensibilidad: 50

Posición	Intensidad
675.79	70.640
856.07	75.747
924.60	75.782
1038.40	25.656
1418.69	69.678
1649.74	82.187
2937.17	60.449
3351.63	10.007



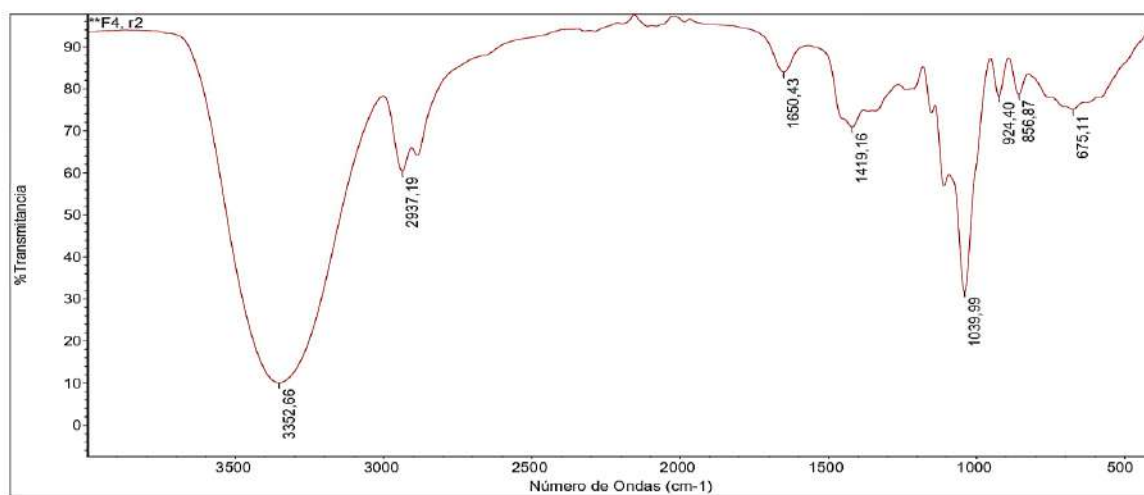
Jue Dic 23 10:26:58 2021 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

Espectros: **F3, r2
 Región: 3999,71 402,40
 Umbral absoluto: 91,617
 Sensibilidad: 50

Lista de picos:

Posición: 577,96	Intensidad: 65,523	Posición: 3351,68	Intensidad: 10,004
Posición: 856,37	Intensidad: 73,089		
Posición: 926,17	Intensidad: 72,510		
Posición: 1036,29	Intensidad: 16,148		
Posición: 1151,49	Intensidad: 57,249		
Posición: 1418,17	Intensidad: 66,389		
Posición: 1649,00	Intensidad: 80,499		
Posición: 2935,19	Intensidad: 57,182		



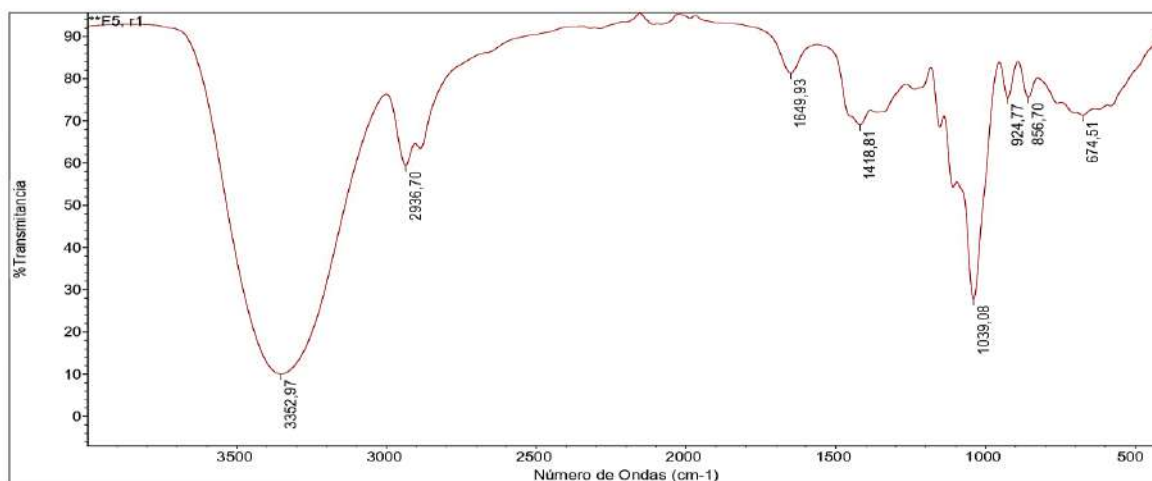
Jue Dic 23 10:26:42 2021 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

Espectros: **F4, r2
 Región: 3999,71 402,40
 Umbral absoluto: 95,435
 Sensibilidad: 50

Lista de picos:

Posición: 675,11	Intensidad: 75,072
Posición: 856,87	Intensidad: 78,674
Posición: 924,40	Intensidad: 78,204
Posición: 1039,99	Intensidad: 31,800
Posición: 1419,16	Intensidad: 70,881
Posición: 1650,43	Intensidad: 83,954
Posición: 2937,19	Intensidad: 60,346
Posición: 3352,66	Intensidad: 10,002

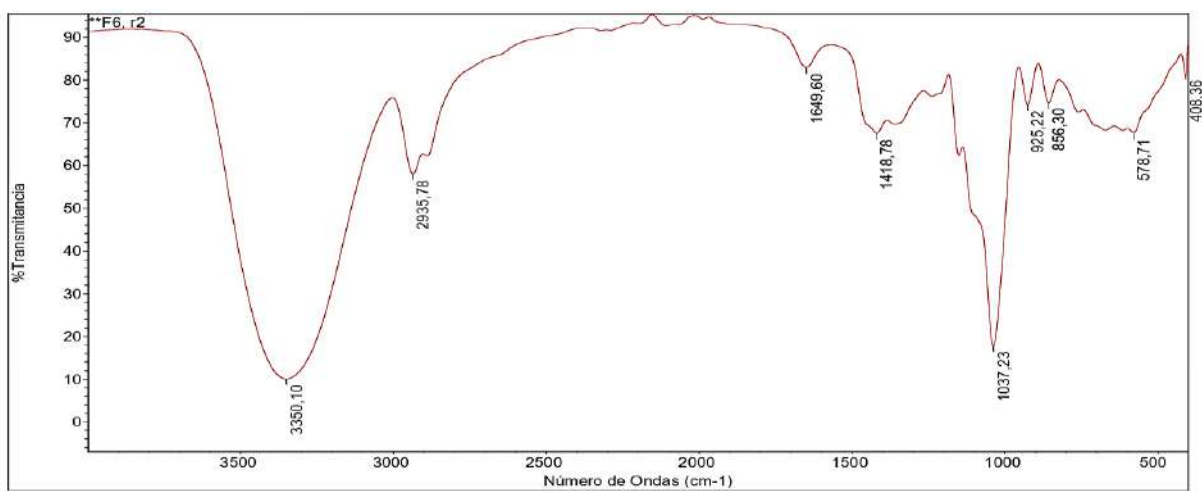


Jue Dic 23 10:26:25 2021 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

Espectros: **F5, r1
Región: 3999,71 402,40
Umbral absoluto: 94,754
Sensibilidad: 50
Lista de picos:

Posición:	674,51	Intensidad:	71,383
Posición:	856,70	Intensidad:	75,576
Posición:	924,77	Intensidad:	75,424
Posición:	1039,08	Intensidad:	27,755
Posición:	1418,81	Intensidad:	69,082
Posición:	1649,93	Intensidad:	81,382
Posición:	2936,70	Intensidad:	59,488
Posición:	3352,97	Intensidad:	10,003



Jue Dic 23 10:26:04 2021 (GMT-05:00)

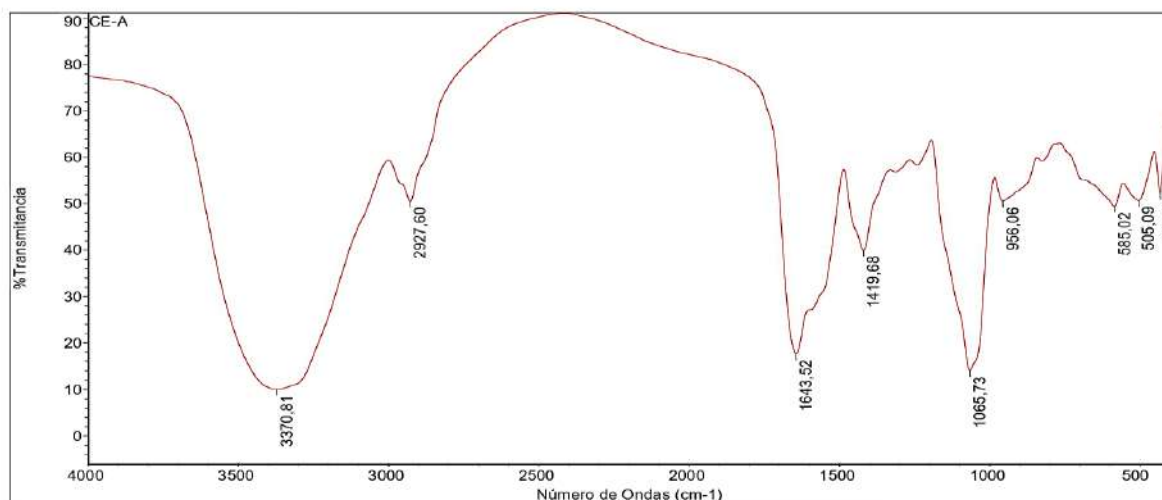
BUSCAR PICOS:

Espectros: **F6, r2
Región: 3999,71 402,40
Umbral absoluto: 93,725
Sensibilidad: 50
Lista de picos:

Posición:	408,36	Intensidad:	80,719
Posición:	578,71	Intensidad:	67,666
Posición:	856,30	Intensidad:	74,635
Posición:	925,22	Intensidad:	74,235
Posición:	1037,23	Intensidad:	17,741
Posición:	1418,78	Intensidad:	67,526
Posición:	1649,60	Intensidad:	82,932
Posición:	2935,78	Intensidad:	57,940

Posición: 3350,10 Intensidad: 10,001

b) Espectros para los componentes de la película comestible: Nostoc, almidón nativo y almidón modificado respectivamente



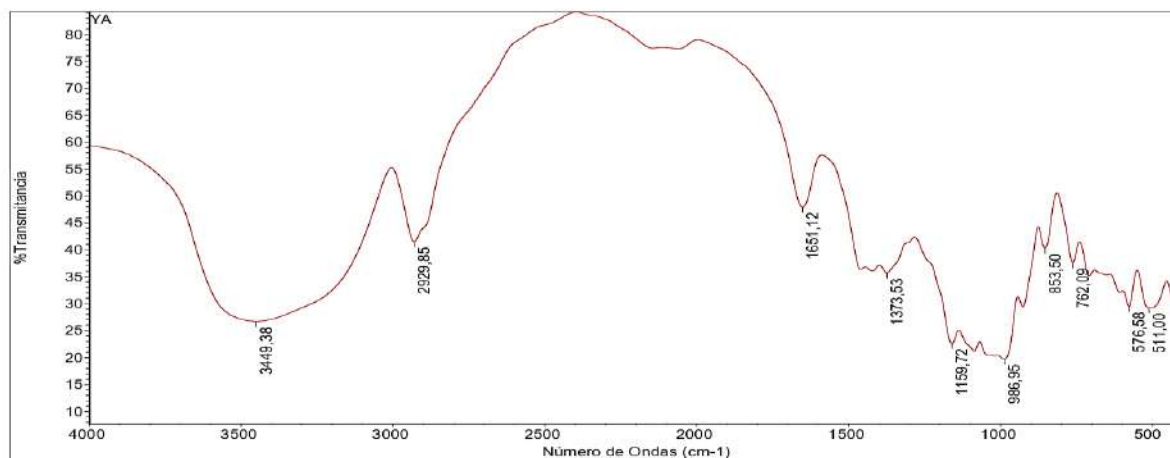
Vie Jun 11 11:50:21 2021 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

Espectro: CE-A
Región: 4000,00 400,00
Umbral absoluto: 90,834
Sensibilidad: 50

Lista de picos:

Posición: 432.29	Intensidad: 52.249
Posición: 505.09	Intensidad: 50.700
Posición: 585.02	Intensidad: 49.445
Posición: 956.06	Intensidad: 50.616
Posición: 1065.73	Intensidad: 14.061
Posición: 1419.68	Intensidad: 39.932
Posición: 1643.52	Intensidad: 17.644
Posición: 2927.60	Intensidad: 50.488



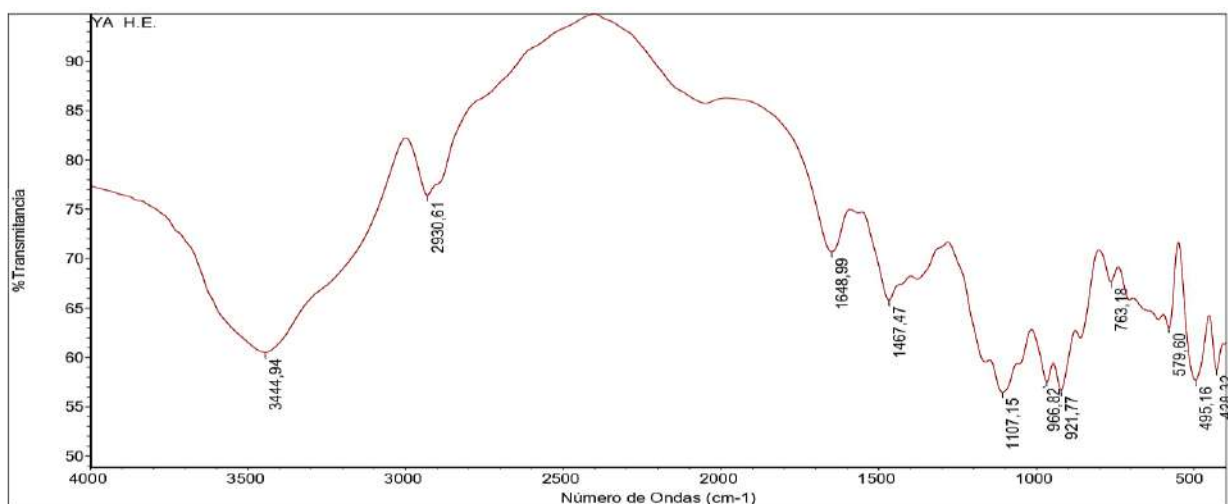
Jue Ene 13 17:04:40 2022 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

Espectro: YA
Región: 4000,00 400,00
Umbral absoluto: 83,850
Sensibilidad: 50

Lista de picos:

Posición: 511.00	Intensidad: 29.220
Posición: 576.58	Intensidad: 29.398
Posición: 762.09	Intensidad: 37.562
Posición: 853.50	Intensidad: 40.303
Posición: 986.95	Intensidad: 19.721
Posición: 1159.72	Intensidad: 22.620
Posición: 1373.53	Intensidad: 35.718
Posición: 1651.12	Intensidad: 47.945



Jue Ene 13 17:07:03 2022 (GMT-05:00)

BUSCAR PICOS:

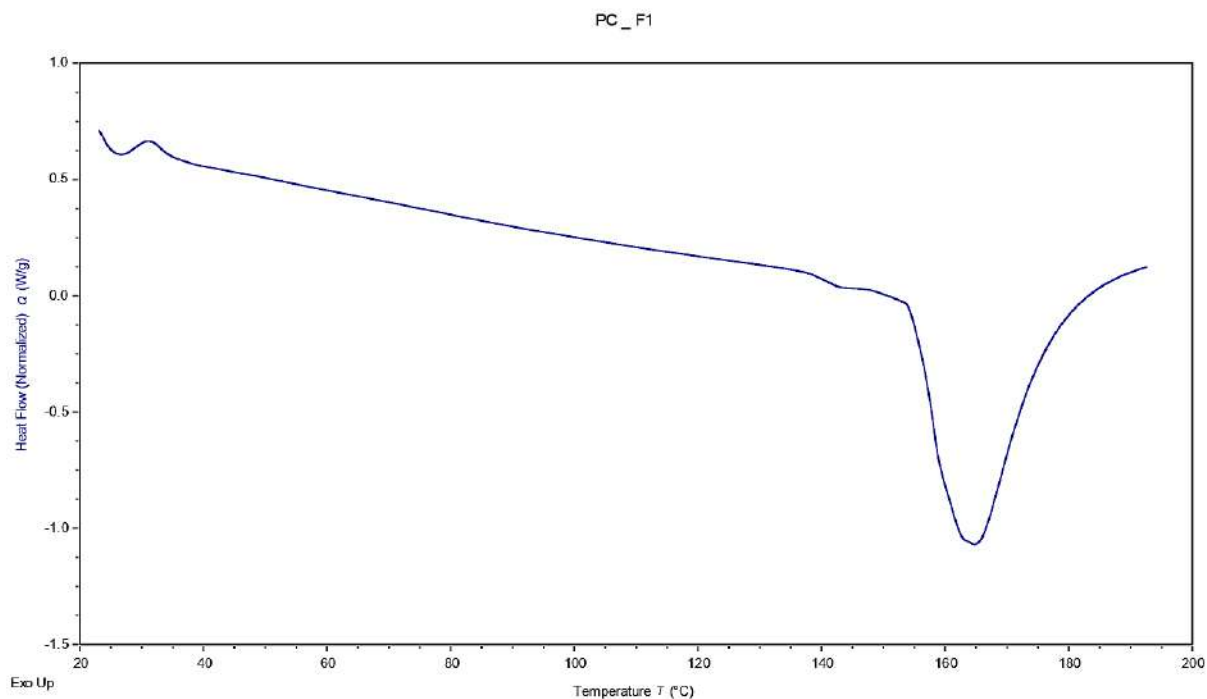
Espectro: YA H.E.
 Región: 4000,00 400,00
 Umbral absoluto: 94,372
 Sensibilidad: 50

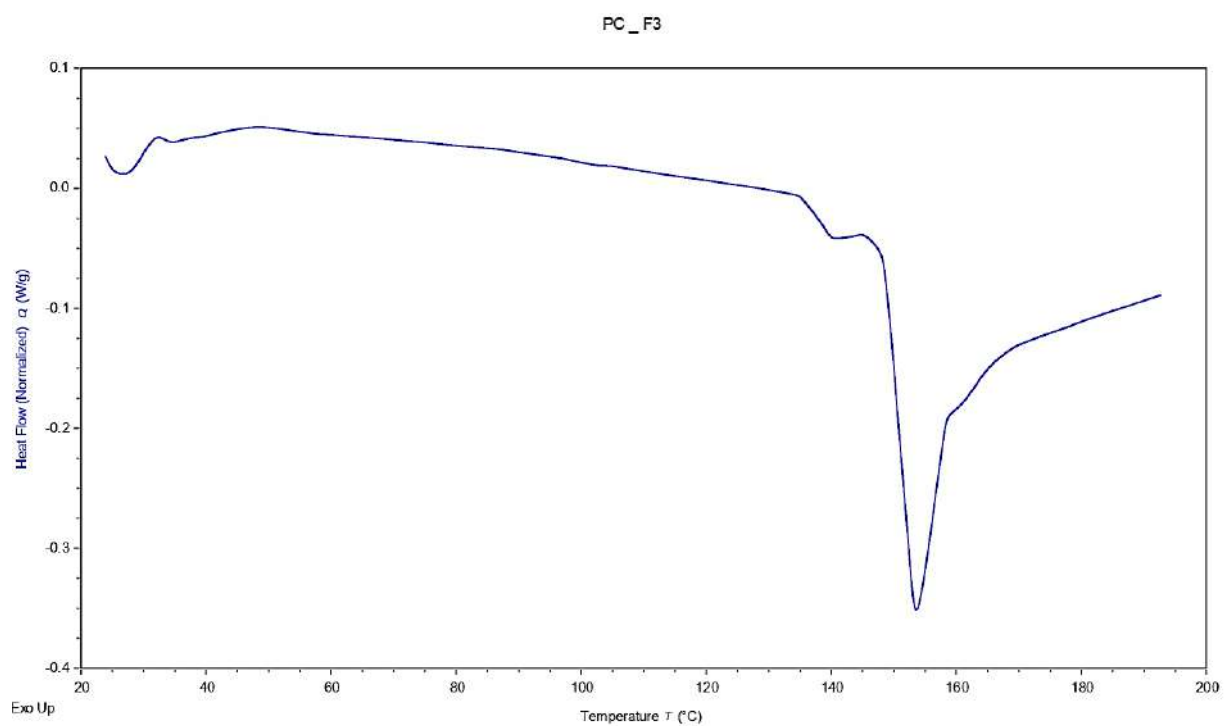
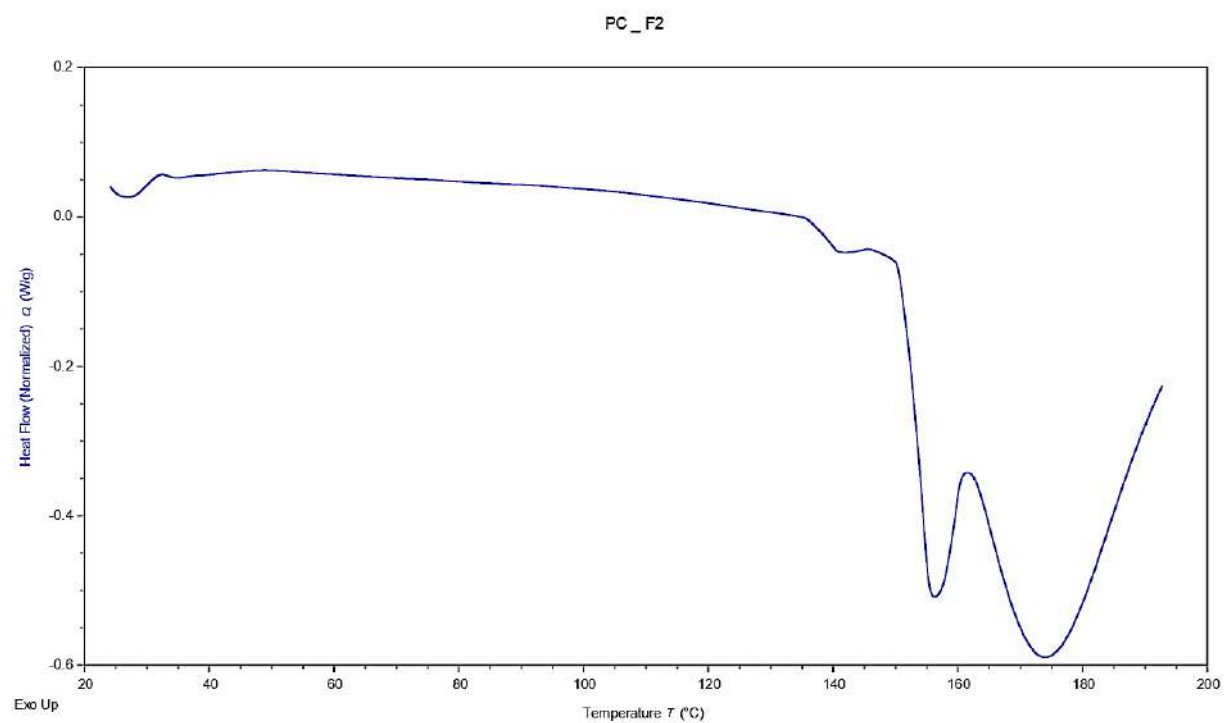
Lista de picos:

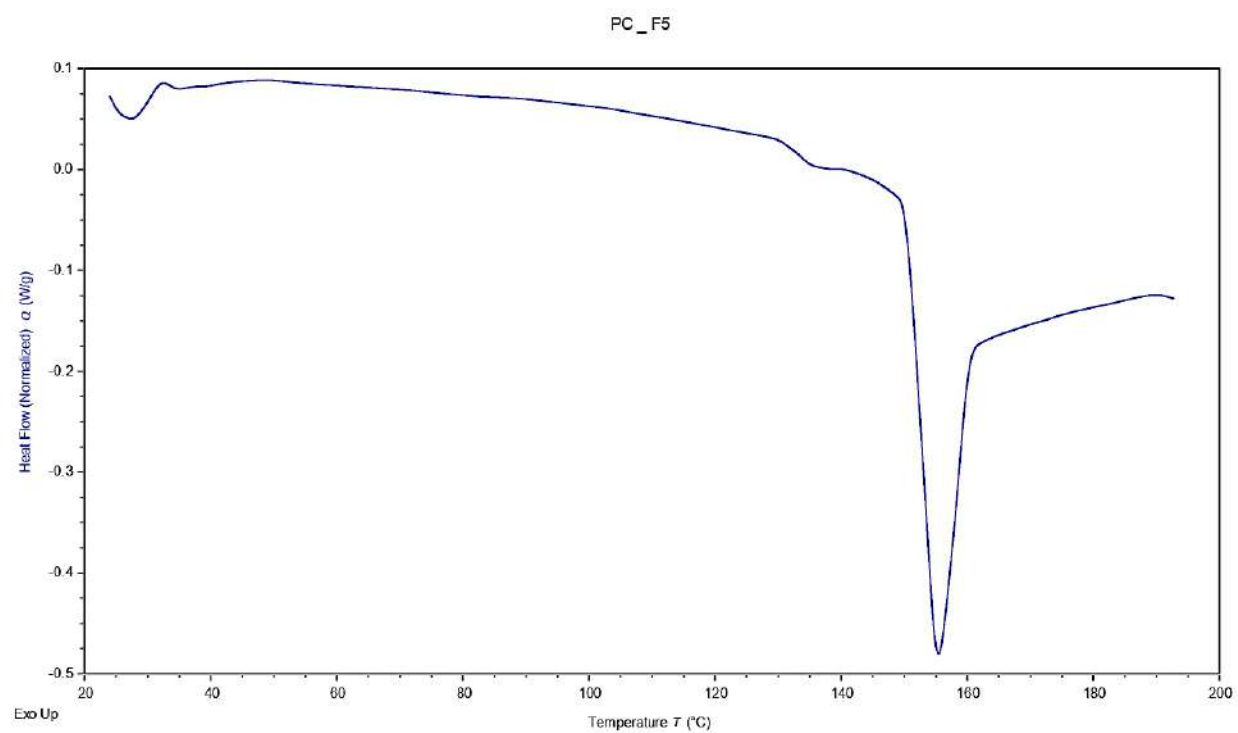
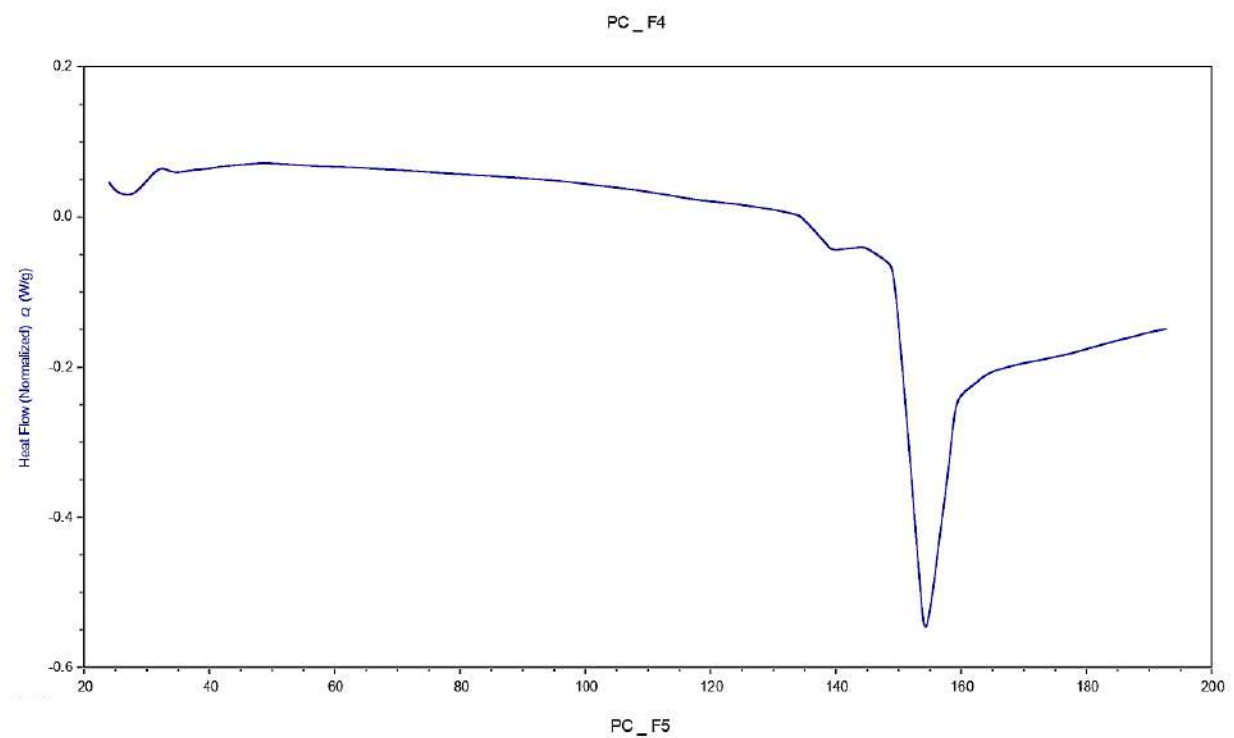
Posición:	Intensidad:
428,32	58,748
495,16	57,676
579,60	63,018
763,18	67,682
921,77	56,699
966,82	57,509
1107,15	56,464
1467,47	65,814

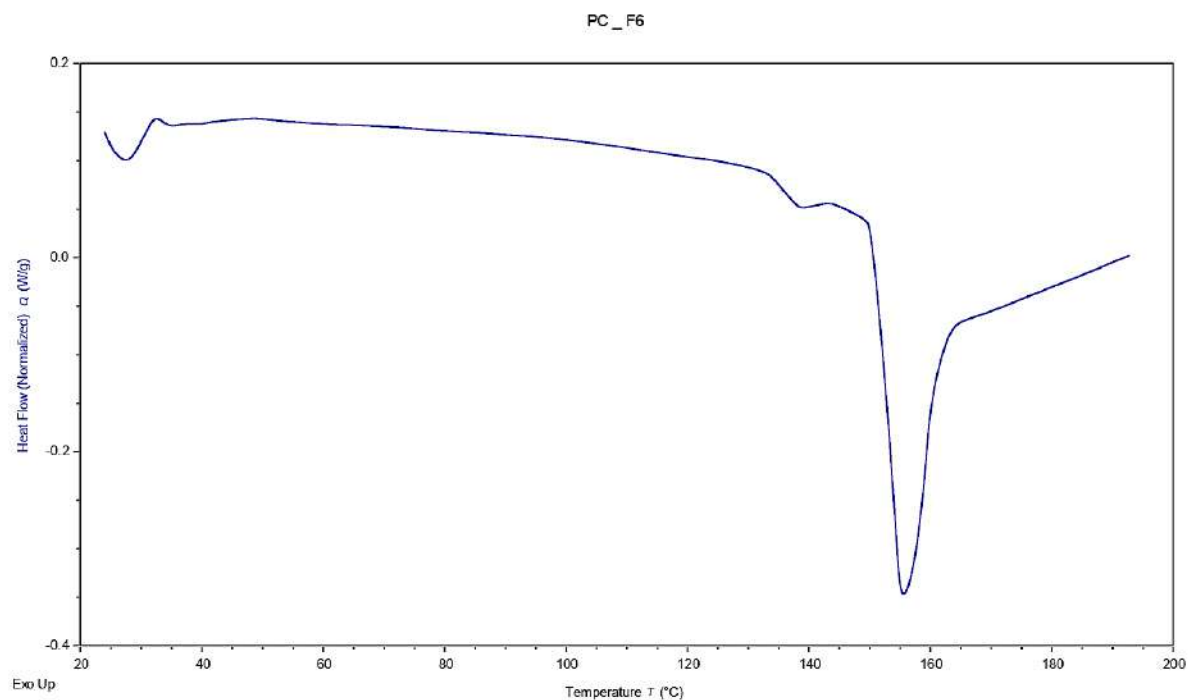
Anexo C2. Resultados del Análisis Térmico Diferencial DSC

- a) Análisis térmico diferencial de las formulaciones F1,60°C, F2,60°C, F3,60°C, F1,50°C, F2,50°C y F3,50°C, respectivamente

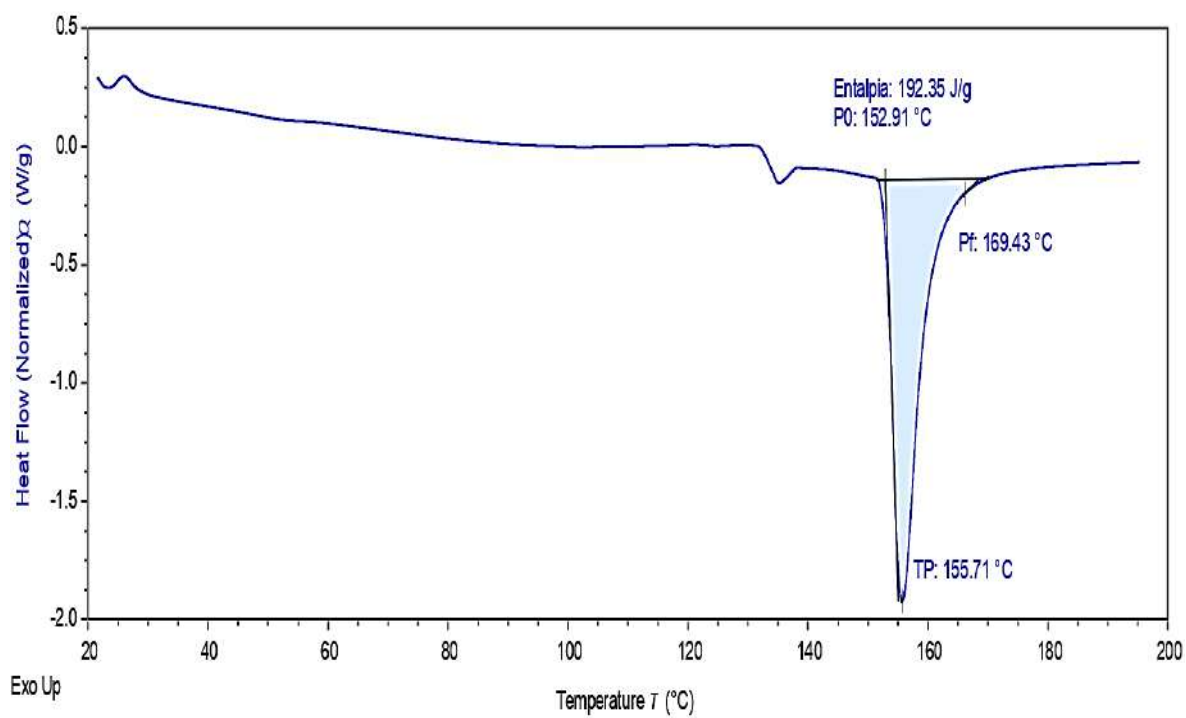


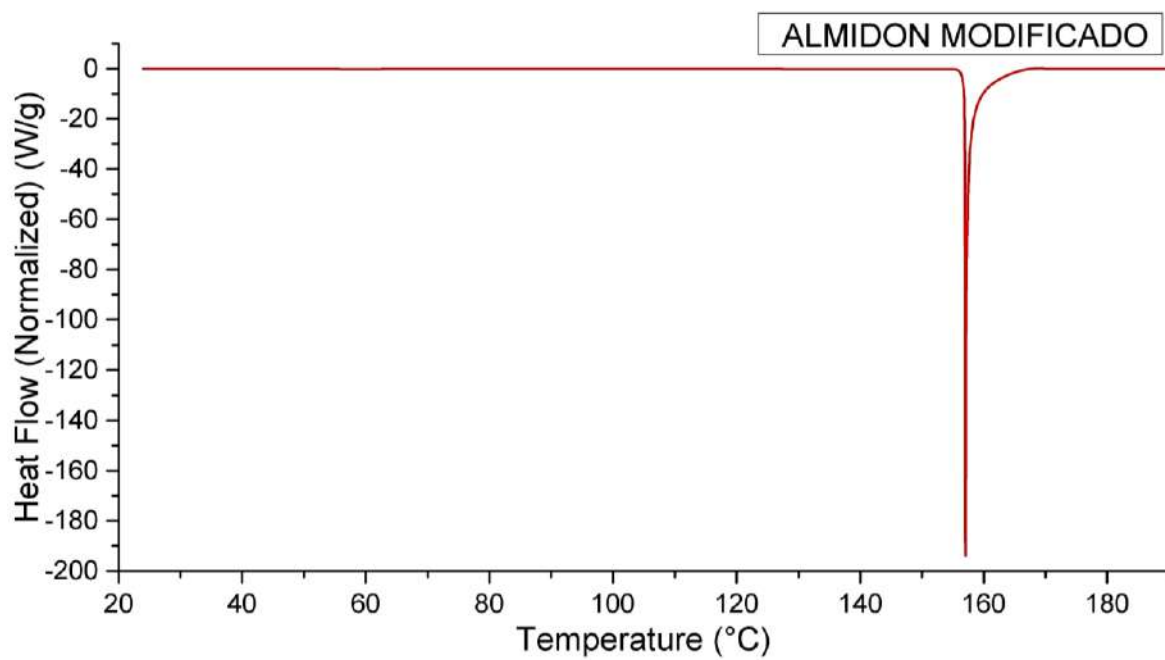
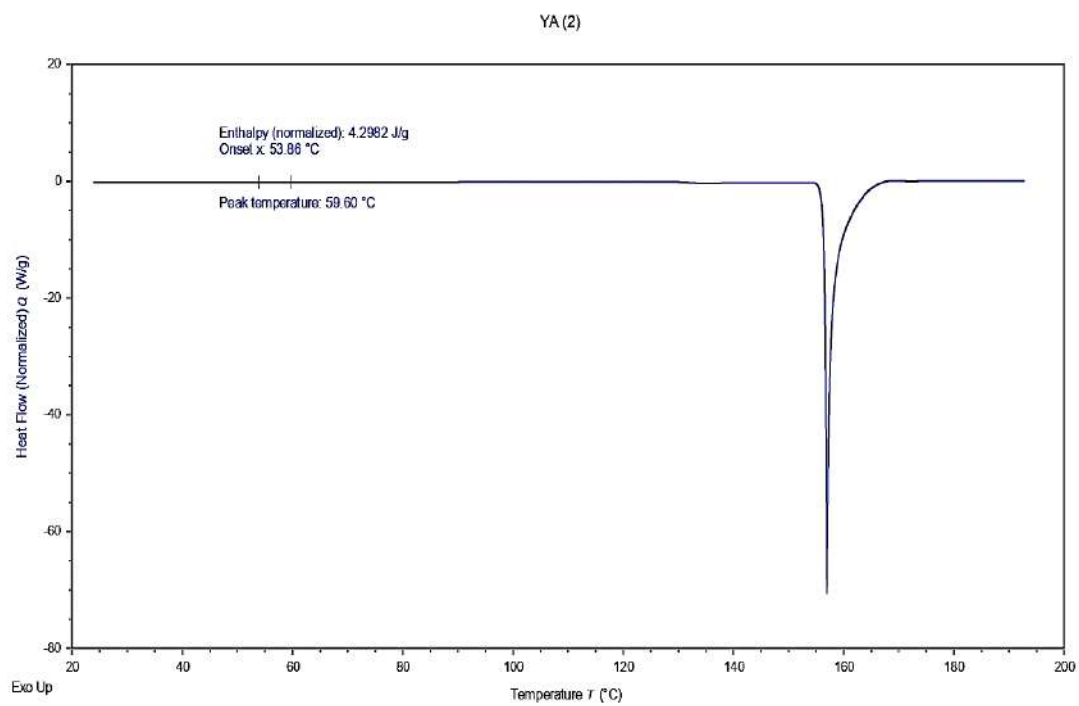






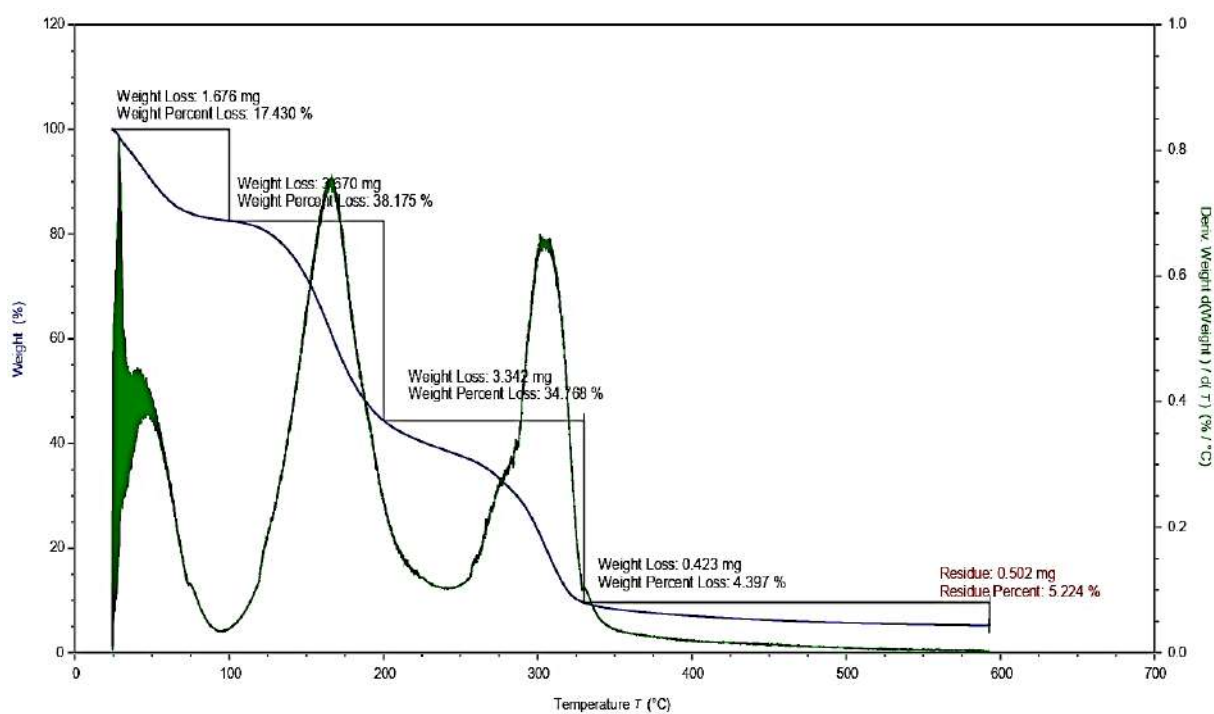
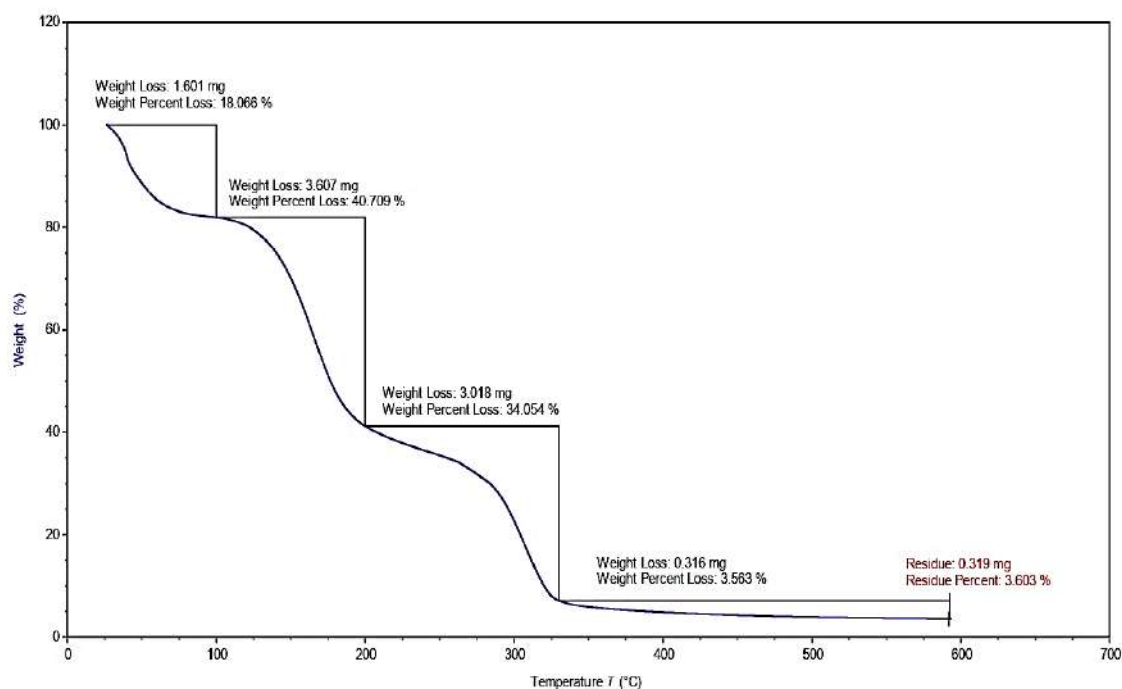
b) Análisis térmico diferencial para los componentes de la película comestible: Nostoc, almidón nativo y almidón modificado respectivamente
CE atm

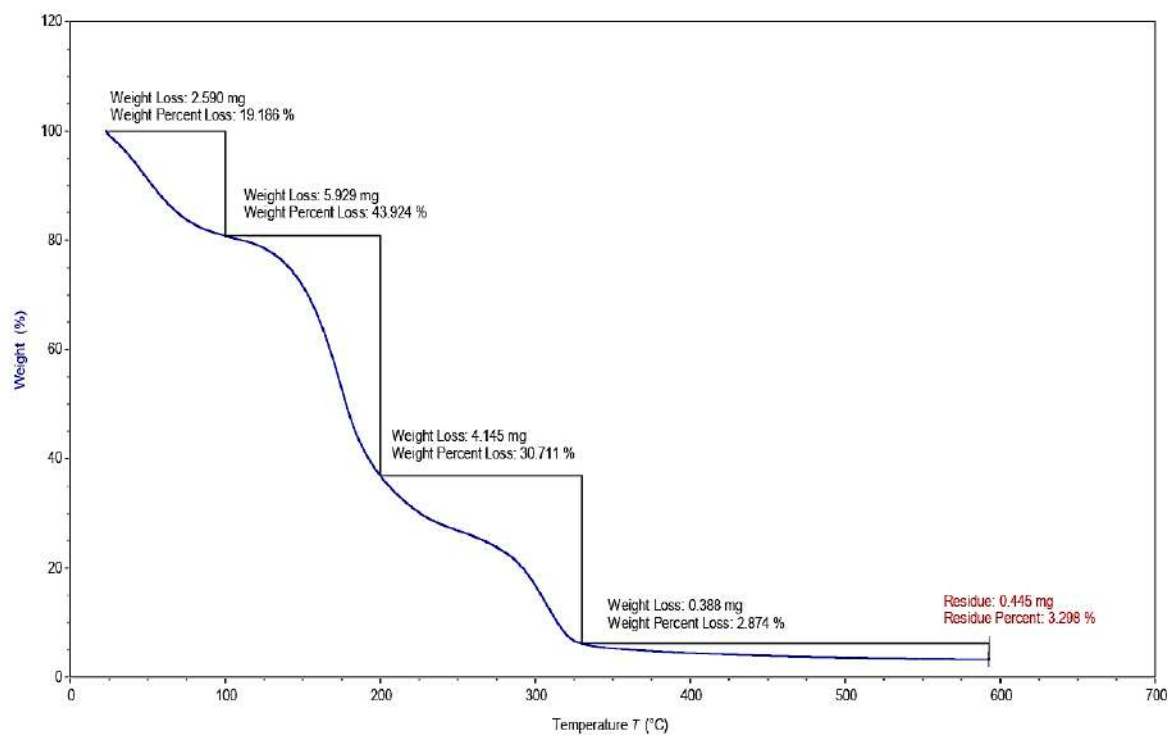
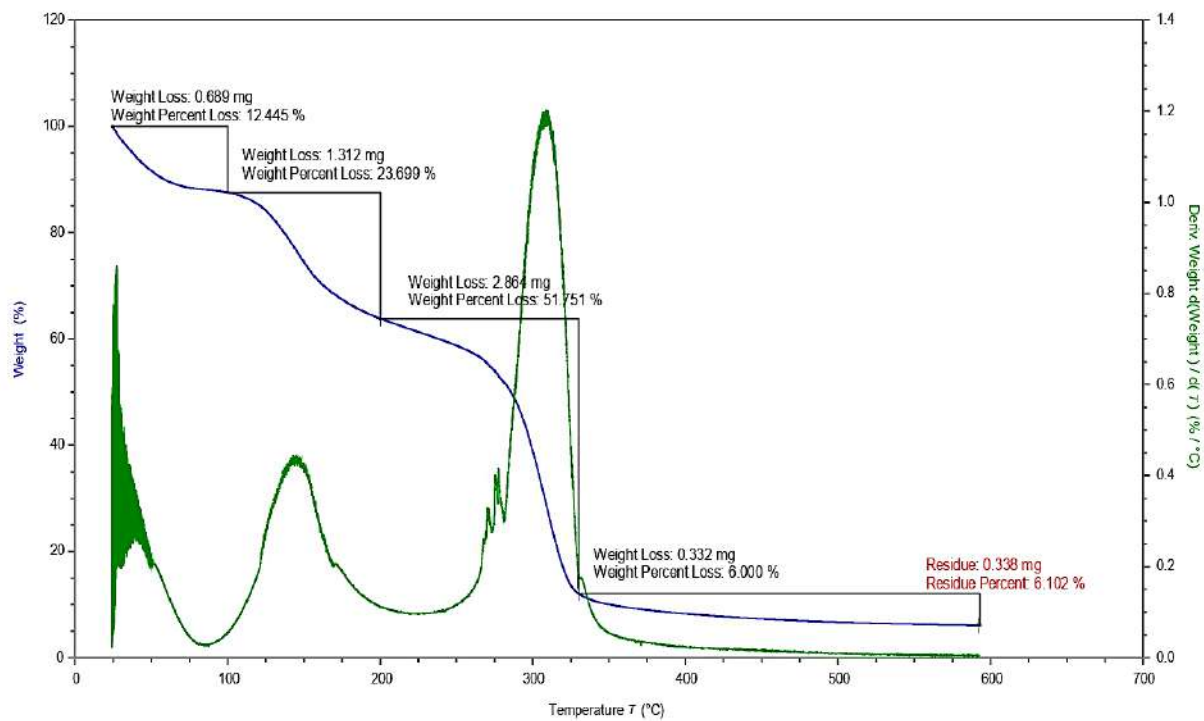




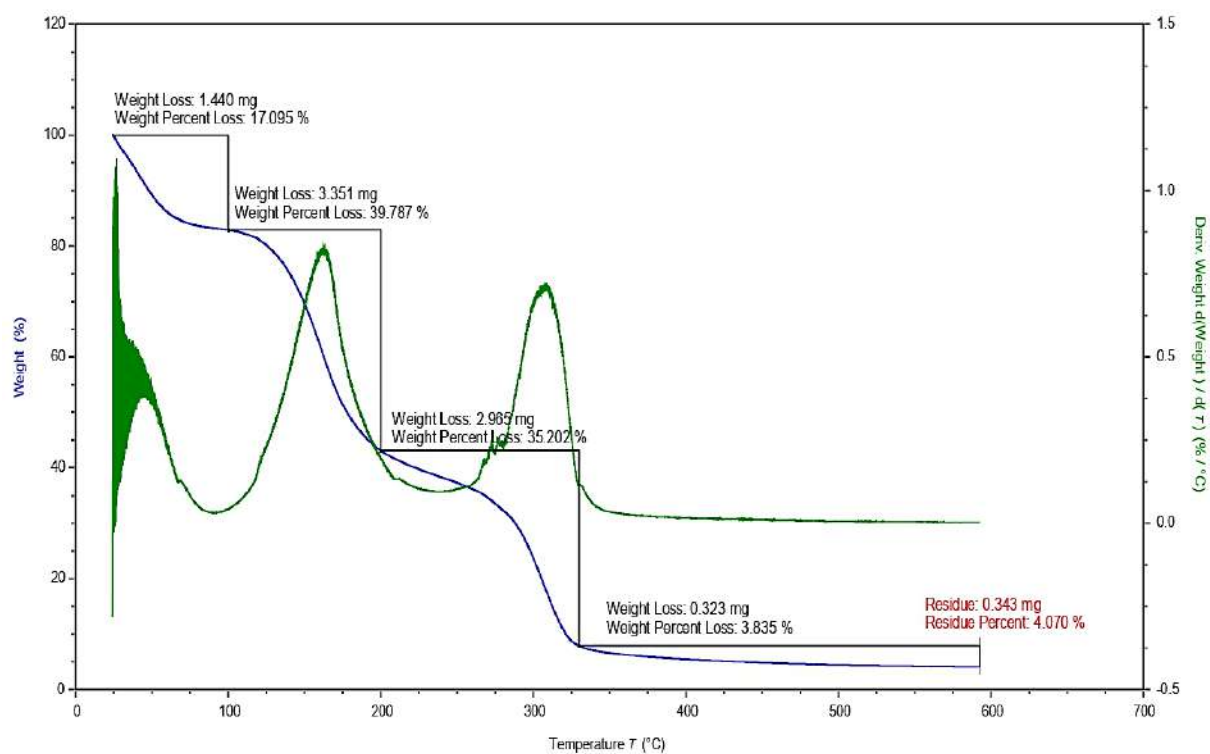
Anexo C3. Resultados del Análisis Termogravimétrico TGA

a) Análisis termogravimétrico de las formulaciones F1,60°C, F2,60°C, F3,60°C, F1,50°C, F2,50°C y F3,50°C, respectivamente

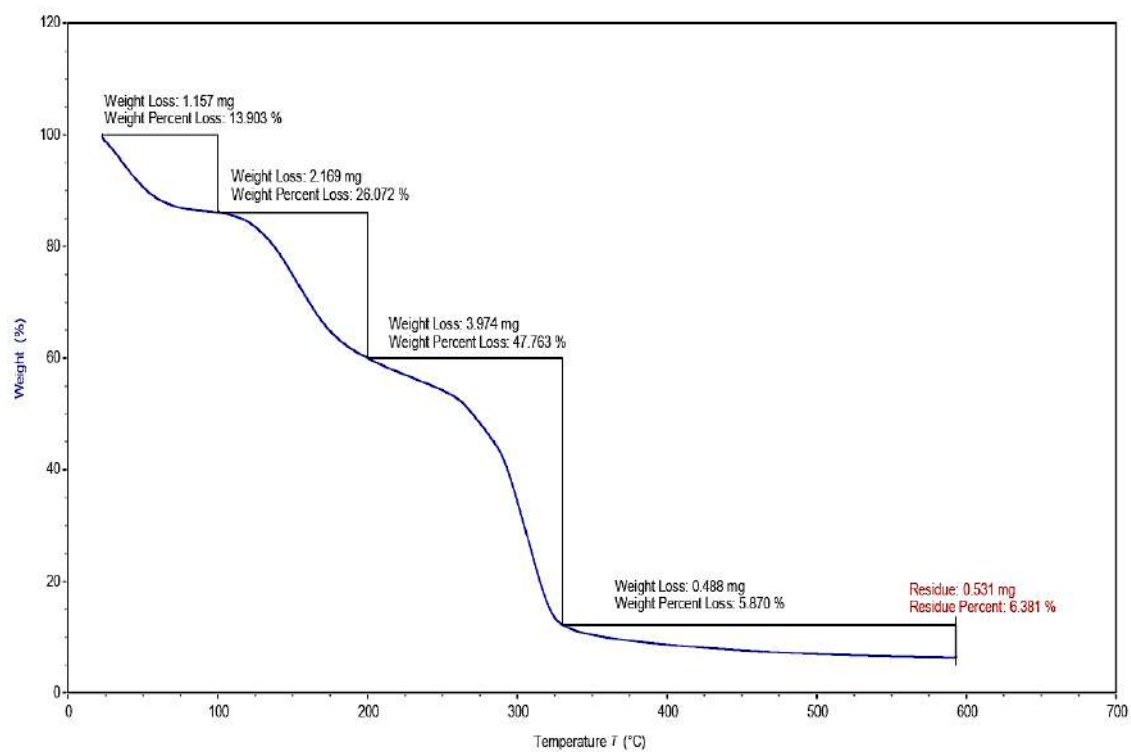




8022022PC - F5



9022022PC - F6_1



Anexo D. Panel Fotográfico

Anexo D1. Obtención del Nostoc Atomizado



Fig.1 pesado del Nostoc fresco



Fig 2. Molienda del Nostoc fresco



Fig 3. Tamizado del Nostoc



Fig 4. Medición de la viscosidad



Fig 5. Etapa de atomización del Nostoc



Fig 6. Muestra de Nostoc Atomizado

Anexo D2. Obtención de la película comestible



Fig 7. Mezcla del NA/AN, relación 1:30



Fig 8. Gelatinizado del NA/AN (2%)



Fig 9. Gelatinizado del AM



Fig 10. Mezcla de NA/AN(2%) y AM (2%)

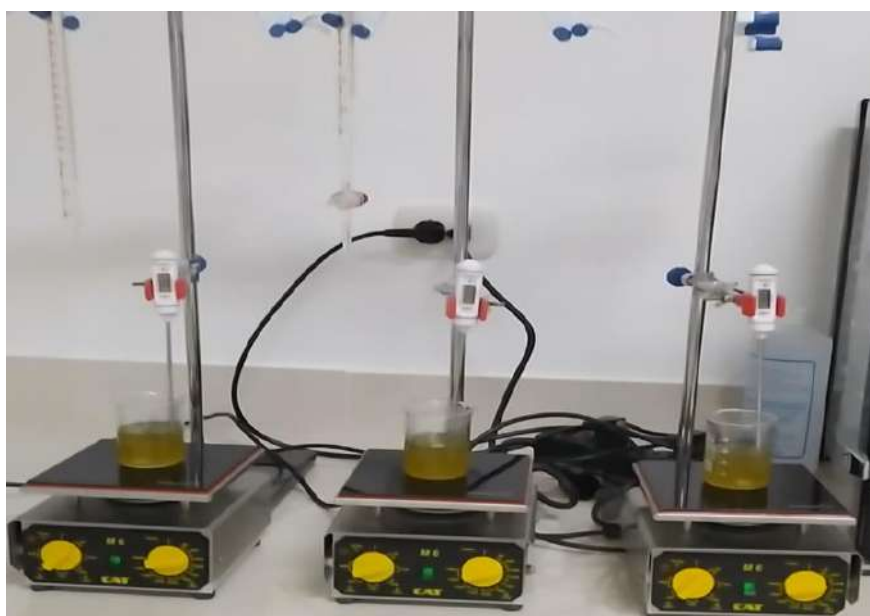


Fig 11. Homogenizado de las mezclas para las 3 formulaciones



Fig 12. Aplicado de la solución filmogénica
Las placas Petri



Fig. 13. Secado de la solución filmogénica
a dos diferentes temperaturas por 24h



Fig 14. Desechado de las películas
por 24h

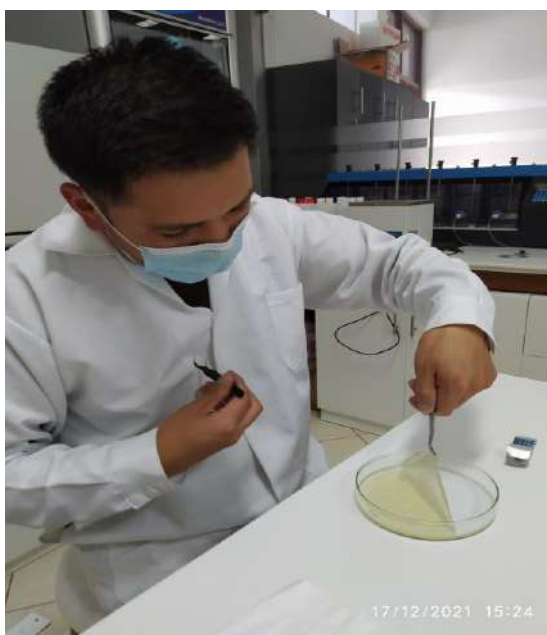


Fig 15 Obtención de las películas comestibles

Anexo D3. Caracterización de las películas comestibles



Fig 16. Prueba de la resistencia a la tracción y porcentaje de elongación con la máquina de ensayos ME8236



Fig 17. Medición de la Actividad de Agua de las películas comestibles con el equipo determinador de actividad de agua HygroPalm23-AW

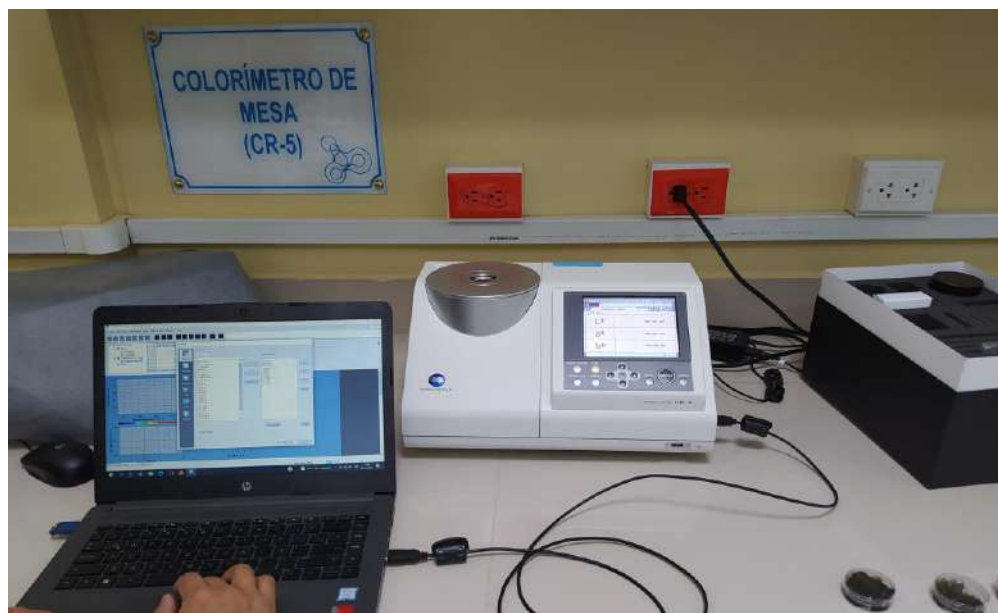


Fig 18. Determinación de las coordenadas CieLab de las películas comestibles en el equipo Colorímetro CR-5