UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Elaboración de una biopelícula comestible a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). Articulado al proyecto de investigación aprobado mediante resolución No. UTA-CONIN-2025-0064-R

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de Título de Ingeniería en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Este estudio forma parte del Proyecto de Investigación "Composites poliméricos sostenibles a partir de residuos agroindustriales y de cuero wet-blue para aplicaciones ecológicas'', aprobado mediante Resolución No. UTA-CONIN-2025-0064-R de la Universidad Técnica de Ambato.

Autor: Kimberly Adriana Alvarez Panta

Tutor: Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato – Ecuador

Enero - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 12 de diciembre de 2025

Firmado electrónicamente por:
MAYRA LILIANA
PAREDES ESCOBAR
Validar únicamente con FirmaEC

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

0501873954

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kimberly Adriana Alvarez Panta, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



_____

Kimberly Adriana Alvarez Panta

1805439484

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



_____

Kimberly Adriana Alvarez Panta

1805439484

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
FREDDY GEOVANNY DEL POZO LEON
Validar únicamente con FirmaEC

_____

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
JUAN DE DIOS ESPINOZA MOYA
Validar únicamente con FirmaEC

_____

Mg. Juan de Dios Espinoza Moya

1803201431

Firmado electrónicamente por:
DANIEL ALFONSO CABRERA VALLE
Validar únicamente con FirmaEC

_____

MSc. Daniel Alfonso Cabrera Valle

1802561595

Ambato, 06 de enero de 2026

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional y por ser el pilar que ha sostenido cada uno de mis pasos. Gracias por no dejarme caer y por enseñarme, con su ejemplo, que los sueños se alcanzan con esfuerzo y perseverancia.

A mi hermana, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles. Por acompañarme en cada desafío, por brindarme apoyo sincero y por recordarme siempre que no camino sola.

A mí, por no rendirme. Por seguir avanzando aun cuando el camino parecía imposible. Por demostrarme que soy capaz de superar mis propios límites y llegar mucho más lejos de lo que alguna vez imaginé.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios, por ser mi refugio constante, por la paz que trajo a mis días difíciles y por la fortaleza que me sostuvo cuando sentí que no podía más. Sin su presencia y su guía este logro no habría sido posible.

A mis padres y a mi hermana, gracias por su amor infinito, por cada palabra de aliento y por sostenerme cuando pensé que no podía continuar. Ustedes han sido mi motor, mi razón y mi mayor inspiración para llegar hasta aquí.

A mis abuelitos, a quienes quiero con todo mi corazón. Gracias por ser parte de mi fuerza y por acompañarme en cada etapa. A mi abuelito Víctor, que ahora me mira desde el cielo, gracias por soñar conmigo este momento; te extraño y este triunfo también es tuyo.

A mis tíos Luis A. y Gonzalo A., por las palabras de ánimo que me ofrecieron en mis días más duros. Y a mis tíos Lorena P., Franklin P., Nelson P. y Henry P., quienes nunca dudaron en tenderme la mano cuando más lo necesité. Gracias por creer en mí; este logro lleva un poquito de cada uno de ustedes.

A mi tutora, la Dra. Mayra Paredes, por su guía, paciencia y compromiso, y al Dr. Aldaz de la Escuela Politécnica Nacional por su tiempo, apoyo y amabilidad. Gracias por acompañarme en este proceso y aportar con sus conocimientos al desarrollo de esta investigación.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, por los aprendizajes, los retos y los momentos que formaron mi carácter profesional y personal. Cada experiencia vivida aquí fue un paso que me acercó a este logro.

A mis queridos amigos, Carito C., Eri M., Nicolas E., David A. y Henry G., gracias por caminar conmigo, por las risas que me devolvieron la calma y por las lágrimas que reforzaron nuestra amistad. Gracias por hacer más ligero este camino. Así mismo, a mis amigas Nicole G y Mariela C., gracias por estar conmigo y ser parte de este logro. A Sandrita Q., por ser mi amiga en tiempos buenos y malos, te quiero mucho, gracias por todo.

A mis amigos que extrañé profundamente durante este proceso: Allisson A., Magalita G., Jenny V. y Roberto C. verlos avanzar antes que yo me llenó de orgullo y me motivó a continuar. Gracias por su cariño, compañía y apoyo constante, incluso en la distancia.

Y finalmente, a Lizbeth Flores y Belén Crespo. Gracias por aparecer en el momento perfecto, por acompañarme en mis dudas, mis silencios y mis pequeños triunfos. Gracias por su apoyo incondicional, por darme un hogar emocional cuando más lo necesitaba y por permitirme compartir parte de sus vidas. Este logro también es de ustedes; las llevo siempre conmigo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii

ÍNDICE DE TABLAS xiii

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

ÍNDICE DE ANEXOS xv

ÍNDICE DE ECUACIONES xvi

RESUMEN EJECUTIVO xvii

ABSTRAC xviii

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1

1.1. Antecedentes Investigativos 1

1.1.1. Planteamiento del problema y justificación 1

1.1.2. Origen del chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) 3

1.1.2.1. Composición nutricional 3

1.1.2.2. Propiedades funcionales 4

1.1.2.3. Torta de chocho como fuente de valor agregado 5

1.1.3. Biopelículas comestibles: concepto y aplicaciones 6

1.1.3.1. Filmógenos 6

1.1.3.2. Almidón de papa como agente filmogénico 7

1.1.3.3. Residuo de almidón de papa 8

1.1.4. Glicerol como plastificante alimentario 8

1.1.5. Importancia de la formulación en biopelículas comestibles 9

1.2. Objetivos 10

1.2.1. Objetivo General 10

1.2.2. Objetivos Específicos 10

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 11

2.1. Materiales 11

2.2. Métodos 12

2.2.1. Caracterizar las propiedades físico-funcionales de la biopelícula comestible elaborada a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho, con el fin de determinar su estabilidad, funcionalidad y potencial como material comestible alternativo. 12

2.2.1.1. Obtención del almidón de papa y la torta de chocho 12

2.2.1.2. Formulación de la biopelícula 13

2.2.1.3. Determinación del contenido de humedad y espesor 14

2.2.1.3.1. Análisis de humedad 14

2.2.1.3.2. Espesor 14

2.2.1.4. Análisis de solubilidad en agua, absorción en agua, resistencia a la tensión y Análisis térmico (DSC). 15

2.2.1.4.1. Análisis de solubilidad en agua 15

2.2.1.4.2. Absorción de agua 16

2.2.1.4.3. Determinación de la resistencia a la tensión 16

2.2.1.4.4. Análisis Térmico (DSC) 17

2.2.1.6. Permeabilidad al vapor de agua y Degradabilidad 18

2.2.1.6.1. Permeabilidad al vapor de agua 18

2.2.1.6.2. Determinación de la degradabilidad de la biopelícula 19

2.2.2. Determinación de la estabilidad y funcionalidad de la biopelícula comestible, mediante un análisis microbiológico a lo largo del tiempo de almacenamiento. 19

2.2.2.1. Recuento total de aerobios mesófilos 19

2.2.2.2. Recuento total de aerobios mesófilos 20

2.2.3. Aplicación de un análisis sensorial básico con panelistas semi-entrenados para evaluar la aceptabilidad de la biopelícula comestible en términos de apariencia, textura y aceptación general. 20

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 22

3.1. Análisis y discusión de resultados obtenidos 22

3.1.1. Caracterizar las propiedades físico-funcionales de la biopelícula comestible elaborada a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho, con el fin de determinar su estabilidad, funcionalidad y potencial como material comestible alternativo. 22

3.1.1.1. Obtención del almidón de papa y la torta de chocho 22

3.1.1.2. Determinación del contenido de humedad y espesor 23

Humedad 24

Espesor 26

3.1.1.3. Análisis de solubilidad en agua, absorción en agua, resistencia a la tensión y (DSC). 26

Solubilidad en agua 26

Absorción en agua 28

Resistencia a la tensión 30

Análisis térmico (DSC) 33

3.1.1.4. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua y la degradabilidad de la biopelícula 34

Permeabilidad al Vapor de Agua 34

Degradabilidad de la biopelícula 36

3.1.1.5. Determinación de la estabilidad y funcionalidad de la biopelícula comestible, mediante un análisis microbiológico a lo largo del tiempo de almacenamiento. 38

3.1.1.6. Aplicación de un análisis sensorial básico con panelistas semi-entrenados para evaluar la aceptabilidad de la biopelícula comestible en términos de apariencia, textura y aceptación general. 38

3.1.1.6.1. Selección del mejor tratamiento 38

Color 39

Olor y Sabor 40

Textura 41

Aceptabilidad 41

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 44

4.1. Conclusiones 44

4.2. Recomendaciones 45

MATERIALES DE REFERENCIA 46

ANEXOS 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Recursos Materiales 11

Tabla 2 Composición y proporciones de las formulaciones F1 y F2 13

Tabla 3 Determinación de humedad utilizando tres replicas. 25

Tabla 4 Análisis de solubilidad en agua 28

Tabla 5 Absorción de agua en las tres replicas 29

Tabla 6 Promedio y desviación estándar de 6 réplicas aplicadas en el texturómetro. 31

Tabla 7 Análisis de permeabilidad al vapor de agua. 35

Tabla 8 Pérdida de masa (%) de la biopelícula durante 28 días. 37

Tabla 9 Análisis sensorial de biopelícula 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Análisis gráfico del contenido de humedad de la biopelícula 24

Figura 2 Análisis de solubilidad en agua de la biopelícula.....27

Figura 3 Análisis de la absorción de Agua (AA%).....30

Figura 4 Resistencia a la tensión.....32

Figura 5 Resultados del Análisis Sensorial.....42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Obtención de la materia prima 52

Anexo 2 Análisis Físico-Funcionales 52

Anexo 3 Elaboración de la Biopelícula 54

Anexo 4 Resultados del ensayo de Tensión 55

Anexo 5 Resultado de análisis del DSC realizado en la Escuela Politécnica Nacional 55

Anexo 6 Análisis Sensorial 56

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Contenido de Humedad.....14

Ecuación 2 Ensayo de solubilidad en agua.....15

Ecuación 3 Ensayo de absorción de agua.....16

Ecuación 4 Resistencia a la tensión.....17

Ecuación 5 Elongación a la rotura.....17

Ecuación 6 Ensayo de Permeabilidad al vapor de agua.....18

Ecuación 7 Ensayo de la degradabilidad de la biopelícula.....19

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación desarrolló y caracterizó una biopelícula comestible a partir de residuos agroindustriales locales: almidón de papa, glicerol y torta de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), con el objetivo de ofrecer una alternativa sostenible frente a los envases plásticos convencionales. La formulación combinó almidón de papa, seleccionado por su capacidad gelificante, con glicerol como plastificante, mejorando la elasticidad, la manejabilidad y la cohesión de la matriz. La torta de chocho, un subproducto proteico, aportó proteínas, fibra y compuestos bioactivos, reforzando la estructura y añadiendo características funcionales y antioxidantes. La metodología empleada incluyó la elaboración de dos formulaciones con distintas proporciones de los componentes, seguida de pruebas físico-funcionales, mecánicas y microbiológicas. Los análisis mostraron un espesor uniforme de 0.12 mm, una solubilidad moderada de 38.70 por ciento y una alta absorción de agua de 383.81 por ciento, lo que refleja la naturaleza hidrofílica del sistema. Las pruebas mecánicas indicaron una resistencia a la tensión de 0.77 MPa y una elongación de 14.94 por ciento, características típicas de biopelículas plastificadas. Además, la biopelícula presentó estabilidad microbiológica y aceptación sensorial favorable, especialmente en cuanto a apariencia y textura. Esta investigación demuestra la viabilidad de utilizar subproductos agroindustriales locales para crear biopelículas sostenibles, funcionales y biodegradables, ofreciendo una solución innovadora que contribuye a la economía circular y a la reducción de plásticos de un solo uso. Además, resalta el potencial de revalorización de residuos agroindustriales en el desarrollo de materiales con menor impacto ambiental.

Palabras clave: Biopelículas comestibles, almidón de papa, torta de chocho, propiedades físico-funcionales, sostenibilidad.

ABSTRACT

This research developed and characterized an edible film made from local agro-industrial waste: potato starch, glycerol, and lupine cake (Lupinus mutabilis Sweet), with the aim of providing a sustainable alternative to conventional plastic packaging. The formulation combined potato starch, selected for its gelling capacity, with glycerol as a plasticizer, improving elasticity, workability, and cohesion of the matrix. Lupine cake, a protein-rich byproduct, contributed proteins, fiber, and bioactive compounds, reinforcing the structure and adding functional and antioxidant properties to the film. The methodology included the preparation of two formulations with different component ratios, followed by physical-functional, mechanical, and microbiological tests. The analyses showed a uniform thickness of 0.12 mm, moderate solubility of 38.70 percent, and high water absorption of 383.81 percent, reflecting the hydrophilic nature of the system. Mechanical tests indicated a tensile strength of 0.77 MPa and an elongation of 14.94 percent, typical characteristics of plasticized films. Furthermore, the bioplastic demonstrated microbiological stability and favorable sensory acceptance, particularly in terms of appearance and texture. This research demonstrates the feasibility of using local agro-industrial byproducts to create sustainable, functional, and biodegradable films, offering an innovative solution that contributes to the circular economy and the reduction of single-use plastics. Additionally, it highlights the potential for revalorizing agro-industrial waste in the development of materials with a lower environmental impact.

Keywords: Edible biopolymer films, potato starch, lupin cake, physicofunctional properties, sustainability.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1.Antecedentes Investigativos

1.1.1. Planteamiento del problema y justificación

Existen varios estudios donde se demuestra el desarrollo de biopelículas comestibles a partir de compuestos naturales como los almidones, residuos agroindustriales, celulosas y también proteínas. **Zhu et al., (2021)** junto a **Chisenga et al., (2020)** elaboraron películas compuestas de almidón de papa y glicerol. Ellos mencionan que la cantidad de plastificante puede influir en aspectos como la resistencia mecánica junto a la flexibilidad de la película. Así mismo **Molina-Rodríguez et al., (2022)** estudió la influencia de distintos plastificantes en la calidad de estas biopelículas, con ello se llegó a confirmar que el glicerol aporta a una mejora en su estructura y elasticidad del producto final.

Derivados de granos andinos como la torta de chocho aporta compuestos fenólicos, proteínas residuales y fibra dietética los cuales pueden ser aprovechados para la elaboración de productos alimentarios. A pesar de la existencia de investigaciones enfocadas en biopelículas y aprovechamiento de subproductos, no se han encontrado estudios previos que integren almidón de papa, glicerol y torta de chocho en una biopelícula comestible, lo cual resalta el carácter novedoso y experimental del presente proyecto **(Villacrés-Chiriboga et al., 2021; Quishpe-Cachipuendo et al., 2023).**

En la actualidad, existe una creciente preocupación por los hábitos alimenticios de la población y su impacto en la salud. Esto ha motivado el desarrollo de nuevos productos alimenticios que no solo cumplan funciones nutricionales básicas, sino que también aporten beneficios funcionales y contribuyan a la sostenibilidad ambiental. No obstante, la oferta de alimentos innovadores que incorporen ingredientes con valor agregado, especialmente aquellos provenientes de subproductos agroindustriales, sigue siendo limitada **(Revelo-Villavicencio et al., 2024)**.

El chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet*)* es una leguminosa andina de alto valor nutricional cuya utilización ha ido en aumento debido a su aporte nutricional. Sin embargo, es importante hablar de un proceso que se realiza como otro producto y es el aceite de chocho,

ya que de este procedimiento se obtiene la torta de chocho, este producto derivado está constituido por su residuo sólido. La torta de chocho es un material rico en proteínas residuales, compuestos fenólicos y fibra dietética lo que hace que sea considerado como una materia prima funcional y nutricional. El uso de esta torta llega a representar estrategias de revalorización de residuos agroindustriales en el ámbito de una economía circular **(Gutiérrez-Tobar et al., 2020).**

Por otro lado, el almidón de papa es un polímero natural comestible con propiedades filmógenas, es decir, con capacidad para formar láminas delgadas. Cuando se combina con glicerol, un plastificante de uso alimentario, se mejora la textura y flexibilidad de la estructura, facilitando la elaboración de una biopelícula comestible estable que cumpla con las características fisicoquímicas requeridas **(Gutiérrez-Tobar et al., 2020).**

Al contener propiedades funcionales hace que este alimento sea un punto clave para productos con valor agregado, tales como en el desarrollo de suplementos, biopelículas o como productos dietéticos. Dichas propiedades pueden ser derivadas en proteínas, compuestos bioactivos y fibra dietética, aquellos puedes influir de forma positiva a la salud humana y también en procesos de productos alimenticios **(Santos-Silva et al., 2022; Cano et al., 2024).**

La elaboración de una biopelícula comestible a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho se justifica desde diversas perspectivas: nutricional, ambiental y social. En el ámbito nutricional, el uso de la torta de chocho permite incorporar proteínas residuales, fibra dietética y compuestos bioactivos, los cuales pueden contribuir a la prevención de enfermedades no transmisibles, además, el uso de este subproducto hace que exista un aprovechamiento del chocho, reduciendo el desperdicio y mejorando la cadena de valor alimentario. En el aspecto tecnológico, la capacidad del almidón de papa para formar matrices comestibles, junto con el efecto plastificante del glicerol, permite obtener un producto con buena manejabilidad y aceptación sensorial. Finalmente, desde un enfoque ambiental y social, esta propuesta promueve la revalorización de un subproducto agroindustrial, contribuyendo a la economía circular y al aprovechamiento integral de los recursos naturales **(Ruales-Salcedo & Carpio-Salinas, 2022).**

1.1.2. Origen del chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet)

El chocho (Lupinus mutabilis Sweet) es perteneciente al género *Lupinus*, el cual incluye más de 300 especies que están distribuidas principalmente en la región mediterránea y América del Norte. Sin embargo, *L mutabilis* es una de las pocas especies domesticadas en Sudamérica, especialmente en la zona interandina entre los 2.000 y 3.500 m.s.n.m., donde se cultiva desde hace más de 2.000 años. A comparación de otras leguminosas andinas, el chocho se caracteriza por su contenido alto de proteínas (40-50%) y aceite (12-20%), valores superiores a los de la soya, el cual lo hace que se posicione como un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria **(Rojas-Arias et al., 2021).**

El chocho también denominado como tarwi en Perú y Bolivia, es una leguminosa nativa de América del Sur y su origen está situado en los tiempos prehispánicos. Gracias a diversos estudios se pudo determinar que el centro de selección se encuentra en la región andina ecuatoriana y peruana. Según **Gutiérrez-Pérez et al., (2020).** esta leguminosa es una de las pocas que han sido situadas en los Andes por su gran contenido de proteína y además de la resistencia que tiene a diversas condiciones climáticas.

En recientes estudios se ha podido destacar su adaptabilidad a suelos pobres, resistencia a heladas y a su vez capacidad de fijación biológica de nitrógeno, lo cual lo convierte en una especie clave para la agricultura sostenible en zonas de altura **(Naranjo-Montaño et al., 2022).** A nivel genético, se habla de una gran diversidad intraespecífica, lo que abre oportunidades para la selección de variedades con menor contenido de alcaloides y mejores propiedades tecno funcionales **(Parra-Galindo et al., 2021).** En los últimos años, el chocho ha sido de gran interés como ingrediente funcional en productos veganos y gluten-free, por su perfil nutricional y potencial hipoalergénico **(Castillo-Lema et al., 2023).**

1.1.2.1.Composición nutricional

El chocho contiene un alto valor nutricional, haciendo que se convierta en un alimento funcional que puede aprovecharse en varias aplicaciones en la industria alimentaria. Principalmente está compuesto por un alto contenido de proteínas y además de grasas saludables como es el caso de la presencia de compuestos bioactivos y fibra dietética. Su

composición aproximada por 100 g de grano seco es del 40 al 45% de proteína, en grasa está enfocada más en ácidos grasos insaturados tales como el oleico y linoleico constituido por el 14 a 20%, con respecto a su fibra dietética esta con el 10 a 15%. Finalmente tiene minerales como el calcio, fosforo, zinc y hierro, mientras que en vitaminas es rico en complejo B **(Paredes-Cando et al., 2021).**

Su principal componente es la proteína, alcanzando entre 40 y 45 g por cada 100 g d grano seco, el cual es superior a la de otras leguminosas como la soya. A su vez contiene grasas saludables, predominando los ácidos grasos insaturados, específicamente el oleico y linoleico que representan el 14 y 20% del contenido lipídico **(Han et al., 2021).**

Otro componente que es importante mencionar es la fibra dietética, con valores estimados entre 10 y 15%, lo que contribuye positivamente a la salud digestiva y al control glicémico. Por otro lado, con respecto a micronutrientes, el chocho es fuente de minerales esenciales como calcio, fosforo, zinc y hierro, además de ser rico en vitaminas del complejo B, las cuales participan en funciones metabólicas clave **(Jacobsen et al., 2020).**

Gracias a esta combinación de proteínas de alta calidad, grasas insaturadas, fibra y micronutrientes, el chocho representa una materia prima ideal para el desarrollo de productos nutritivos y funcionales, con potencial para utilizar en formulaciones vegetarianas, libre de gluten o enriquecidas proteicamente **(Paredes-Cando et al., 2021).**

1.1.2.2.Propiedades funcionales

El chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) se distingue no sólo por su alto contenido proteico sino también por sus propiedades funcionales, lo que lo convierte en una valiosa materia prima para la industria alimentaria. Varios estudios recientes demuestran que la harina o pasta de chocho tiene notables propiedades emulsionantes gracias a sus proteínas solubles, lo que favorece la formación de estructuras estables en los productos procesados. Además, su alto contenido en compuestos fenólicos confiere actividad antioxidante, lo que contribuye a ralentizar la oxidación lipídica y a mejorar la vida útil de los alimentos **(Carrera & Alberto, 2022)**. Por otro lado, su capacidad para absorber y retener agua es importante para aplicaciones culinarias, el desarrollo de biopelículas y matrices biodegradables, donde se espera que confiera firmeza y estabilidad a la estructura del

producto **(Mora-Tapia et al., 2023)**. Estas propiedades hacen que el chocho sea una alternativa sostenible y funcional para la innovación en el desarrollo de materiales comestibles.

Carrera & Alberto, (2022) mencionan que el chocho contiene propiedades antioxidantes al estar compuesto de fenoles y flavonoides los cuales son capaces de reducir el estrés oxidativo y así mismo combatir radicales libres, además, tiene propiedades prebióticas. **Ronquillo et al., (2020)** alude que este grano contiene ciertos oligosacáridos lo que hace que exista el efecto de un prebiótico, favoreciendo el crecimiento de bacterias que benefician el microbiota intestinal.

1.1.2.3.Torta de chocho como fuente de valor agregado

La torta de chocho se obtiene por medio de la extracción de aceite del *Lupinus mutabilis*, este subproducto contiene un alto valor nutricional y funcional y que por su composición puede ser usada para la elaboración de biopelículas comestibles. Además, **Tafa et al., (2023)** cita que este producto considerado como un residuo agroindustrial aún llega a conservar gran parte de proteínas vegetales abarcando un 40 a 45%, además de que está compuesto por fibra dietética, minerales y compuestos fenólicos. Aquellos compuestos **Serrano et al., (2022)** afirma que le da un valor agregado a la torta de chocho debido a que puede mejorar el perfil nutricional como a su vez a las propiedades funcionales que contenga una biopelícula comestible.

Además, **Ruales-Salcedo & Carpio-Salinas, (2022).** sostiene que desde el punto de vista tecnológico la presencia de proteína en la torta de chocho hace que exista una formación estable de la matriz filmógena que al estar en contacto con almidones y plastificantes como es el glicerol hace que su estructura favorezca en su elasticidad, cohesión y porque no mencionar a su resistencia mecánica, posteriormente también gracias a la presencia de fibra dietética y de antioxidantes naturales ayuda a la protección contra la oxidación, mejora en su perfil organoléptico y a la prolongación de su vida útil.

El uso de la torta de chocho mejora tanto las propiedades funcionales de la biopelícula como también aporta a la sostenibilidad y revalorización de un subproducto agroindustrial

que por lo general es desechado o que no es aprovechado de forma puntual y correcta **(Mora-Tapia et al., 2023).**

1.1.3. Biopelículas comestibles: concepto y aplicaciones

Las biopelículas comestibles son estructuras delgadas formadas por biopolímeros naturales (como almidón, proteínas o polisacáridos), diseñadas para recubrir alimentos o ser consumidas directamente como parte del producto. Su función principal es actuar como barrera frente a factores externos (oxígeno, humedad, microorganismos) y, en algunos casos, aportar valor nutricional o funcional **(Cano et al., 2024).**

Estas películas comestibles pueden contener ingredientes activos o funcionales como antioxidantes, compuestos bioactivos y fibras, dependiendo de los componentes utilizados en su formulación. Además, contribuyen al desarrollo sostenible al reducir el uso de materiales sintéticos, promoviendo alternativas biodegradables y saludables **(Gutiérrez-Tobar et al., 2020).**

1.1.3.1.Filmógenos

Al hablar de filmogenos se menciona que es la capacidad de formar películas delgadas y continuas que al momento de estar en contacto con una solución son capaces de secarse. En el contexto de la elaboración de una biopelícula comestible **Santos-Silva et al., (2022).** cita que este comportamiento es de suma importancia debido a que proporciona la base de la matriz, la cual posteriormente ayuda a observar si existe propias características físicas, mecánicas y funcionales del material.

Los filmógenos comestibles se clasifican según su origen. En el caso de las biopelículas, estas suelen estar elaboradas a partir de polisacáridos, como el almidón, que es uno de los ejemplos más representativos. El almidón permite la formación de películas transparentes y flexibles, con una buena capacidad como barrera frente al oxígeno y al dióxido de carbono; sin embargo, presenta una baja resistencia al vapor de agua **(Tafa et al., 2023).**

Además de su capacidad para formar películas continuas, los filmógenos tienen propiedades que afectan directamente la funcionalidad de las biopelículas. La interacción molecular entre polisacáridos y plastificantes influye en la flexibilidad, resistencia mecánica y permeabilidad del material, lo que permite ajustar sus características para aplicaciones específicas en alimentos **(Sanyang et al., 2020).**

El comportamiento de los filmógenos también depende de factores externos, como la temperatura, la humedad relativa durante el secado y la concentración de sólidos en la solución, los cuales determinan la homogeneidad de la película y la formación de microgrietas **(Santos-Silva et al., 2022).**

Por otro lado, algunos filmógenos pueden incorporar componentes bioactivos, como antioxidantes, aceites esenciales o extractos vegetales, transformando la película en un material activo con propiedades antimicrobianas y antioxidantes, útil para prolongar la vida útil de alimentos perecibles **(Tafa et al., 2023).**

Asimismo, la combinación de polisacáridos con proteínas o lípidos puede generar biopelículas híbridas, mejorando la barrera a humedad y gases sin perder transparencia ni flexibilidad, lo que amplía su potencial industrial y alimentario (**Kurek et al., 2021).**

Finalmente, los filmógenos no solo aportan propiedades funcionales, sino que permiten la sinterización de películas biodegradables y comestibles, representando una alternativa ecológica y sostenible frente a plásticos convencionales, con aplicaciones que van desde el empaque comestible hasta recubrimientos activos para alimentos **(García et al., 2020).**

1.1.3.2.Almidón de papa como agente filmogénico

El almidón de papa es un polisacárido compuesto por amilosa y amilopectina, conocido por su capacidad para formar películas comestibles cuando es gelatinizado en presencia de agua y calor. Su estructura permite formar matrices flexibles y homogéneas, adecuadas para aplicaciones alimentarias **(Pérez-Orozco et al., 2021).**

Además, se considera una materia prima accesible, económica y con buen rendimiento, lo que lo convierte en una excelente opción para biopelículas destinadas al consumo humano.

Su capacidad de formar películas mejora cuando se incorpora un plastificante, como el glicerol **(Nogueira et al., 2023).**

1.1.3.3.Residuo de almidón de papa

Se parte mencionando que el almidón de papa es considerado un polisacárido que se obtiene por medio de la extracción de tubérculos de la *Solanum tuberosum*. Cuando se realiza procesos industriales de extracción de almidón en gran escala por lo general se obtiene distintos residuos o subproductos, los cuales pueden ser la pulpa o también el bagazo de la papa, como a su vez el agua residual que es rica en almidón soluble y residuos de almidón de baja pureza aquello es una mezcla de almidón con fibras o proteínas que no fueron recuperadas completamente en el proceso **(García et al., 2020).**

En el contexto de una biopelícula comestible **García et al., (2020)** sostiene que al hablar de residuos de almidón de papa se refiere a una fracción de almidón recuperado parcialmente o al almidón que no ha sido completamente purificado, pero no obstante aún conserva su capacidad filmogénica.

1.1.4. Glicerol como plastificante alimentario

El glicerol es un alcohol trihidroxilado ampliamente utilizado como plastificante en la industria alimentaria. En las biopelículas, su función principal es reducir la fragilidad del material, aportando mayor elasticidad, flexibilidad y resistencia a la fractura. Gracias a estas propiedades, mejora significativamente la manipulación y estabilidad de las películas comestibles **(Mali et al., 2020).** Además, es considerado un aditivo seguro (E422), aprobado por organismos internacionales para su uso en alimentos, lo que respalda su aplicación en biopelículas destinadas al consumo humano **(Cano et al., 2024).**

Su acción plastificante se debe a la formación de puentes de hidrógeno con los grupos hidroxilo de los polisacáridos, lo que disminuye la rigidez de la matriz y aumenta la movilidad molecular **(Mali et al., 2020).** Esta interacción permite que las biopelículas sean

más flexibles y resistentes al agrietamiento, mejorando su durabilidad y facilitando su manejo en procesos industriales.

El glicerol también influye de manera directa en las propiedades de barrera de las biopelículas. Aunque incrementa la flexibilidad, un exceso en su concentración puede aumentar la permeabilidad al vapor de agua, por lo que es necesario optimizar su cantidad según la aplicación final. Su efecto varía según el biopolímero empleado; por ejemplo, en matrices basadas en almidón y proteínas, el glicerol favorece la homogeneidad y transparencia del material, características importantes para la aceptación sensorial del producto **(López et al., 2021)**

1.1.5. Importancia de la formulación en biopelículas comestibles

La formulación es un paso crítico en el desarrollo de biopelículas comestibles, ya que determina sus propiedades fisicoquímicas, mecánicas y sensoriales. La proporción entre el polímero formador de película (almidón), el plastificante (glicerol) y los ingredientes funcionales (torta de chocho) debe optimizarse para obtener un producto estable, manejable y aceptable para el consumidor **(Cano et al., 2024)**

Además, la formulación permite ajustar características como la solubilidad, permeabilidad al agua, espesor, elasticidad y textura de la biopelícula, todas ellas esenciales para su aplicación como material comestible y sostenible.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar una biopelícula comestible a base de almidón de papa, glicerol y torta de chocho, evaluando sus propiedades fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas como también su viabilidad como producto alimenticio para el consumo humano

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físico-funcionales de la biopelícula comestible elaborada a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho, con el fin de determinar su estabilidad, funcionalidad y potencial como material comestible alternativo.
- Determinar la estabilidad y funcionalidad de la biopelícula comestible, mediante un análisis microbiológico a lo largo del tiempo de almacenamiento.
- Aplicar un análisis sensorial básico con panelistas semi-entrenados para evaluar la aceptabilidad de la biopelícula comestible en términos de apariencia, textura y aceptación general.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

El siguiente capitulo describe la metodología que se empleó para el desarrollo y evaluación de una biopelícula comestible elaborada a base de almidón de papa, glicerol y torta de chocho, con la finalidad de determinar sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, así como también su viabilidad como producto alimenticio.

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la Tabla1, se menciona todos los reactivos, materiales fungible y equipos que se utilizaron durante la investigación.

Tabla 1

Recursos Materiales

Materia Prima
Almidón de papa
Torta de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet)
Reactivos
Glicerol
Agua destilada
Materiales
Vasos de precipitación
Cajas Petri
Espátulas
Buretas
Varilla de agitación
Papel
Tijeras
Pera de succión
Crisoles

Pipeta
Tubos de ensayo
Tubos de centrifuga
Termómetro
Equipos
Balanza infrarroja
DSC
Texturómetro (BROOKFIELD CT3 10K8505990)
Homogenizador
Desecador
Balanza analítica
Plancha de calentamiento

2.2. Métodos

2.2.1. Caracterizar las propiedades físico-funcionales de la biopelícula comestible elaborada a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho, con el fin de determinar su estabilidad, funcionalidad y potencial como material comestible alternativo.

2.2.1.1. Obtención del almidón de papa y la torta de chocho

El almidón de papa fue obtenido a partir de papa superchola (*Solanum tuberosum*), adquiridos en el Mercado Mayorista de la ciudad de Ambato. Las papas fueron lavadas, peladas y rebanadas en láminas delgadas, las cuales se mantuvieron en agua durante 15 minutos con el propósito de facilitar la sedimentación y recuperación del almidón. Posteriormente, el material obtenido se sometió a un proceso de secado en horno a una temperatura controlada de 80 °C durante 4 horas, hasta alcanzar un contenido de humedad constante.

Por su parte, la torta de chocho (*Lupinus mutabilis*) fue proporcionada por una tesista que desarrolló un trabajo de titulación orientado a la extracción del aceite de chocho. El residuo sólido resultante fue molido y tamizado, con el fin de obtener un polvo homogéneo y de

granulometría fina, adecuado para su posterior incorporación en la formulación de la biopelícula comestible.

2.2.1.2. Formulación de la biopelícula

Para la elaboración de las biopelículas se empleó como referencia la metodología propuesta por Herrera (2021), adaptada a dos formulaciones experimentales (F1 y F2). En ambas, los ingredientes principales —almidón de papa, torta de chocho y glicerol— se variaron en proporciones específicas con el fin de evaluar su influencia en las propiedades del material.
En cada formulación, el almidón de papa y la torta de chocho se dispersaron en cien mililitros de agua destilada y se agitaron durante diez minutos. Posteriormente, la mezcla se calentó hasta alcanzar ochenta y cinco grados Celsius, temperatura que se mantuvo por cinco minutos para permitir la gelatinización del almidón. Una vez enfriada la solución, se incorporó el glicerol para evitar que interfiera con la capacidad filmógena del polímero. Finalmente, se dispensaron siete mililitros de la mezcla en cajas Petri y se llevaron a una estufa a cuarenta grados Celsius durante veinticuatro horas para su secado.
Las diferencias entre formulaciones se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 2

Composición y proporciones de las formulaciones F1 y F2

Componente	F1	F2	Función
Almidón de papa (g)	6 g	9 g	Polímero base encargado de la formulación de la matriz
Torta de chocho (g)	1 g	1.5 g	Aporta proteína y fibra mejorando estructura
Glicerol (ml)	4 ml	2 ml	Plastificante el cual aumenta flexibilidad
Agua destilada	100 ml	100 ml	Medio de dispersión para los biopolímeros
Agitación	10 min	10 min	Permite la homogenización de la matriz
Gelatinización	85°C por 5 minutos	85°C por 5 min	Activa la formación de la matriz del almidón

Adición de glicerol	Luego de enfriar	Luego de enfriar	Previene interferencias con el proceso de gelatinización
Volumen vertido (ml)	7 ml	7ml	Cantidad estandarizada en cajas Petri
Secado	40°C por 24 h	40°C por 24 h	Evaporación controlada de agua

2.2.1.3. Determinación del contenido de humedad y espesor

2.2.1.3.1. Análisis de humedad

El contenido de humedad se determinó por medio del método gravimétrico de secado en estufa, considerando la metodología descrita por **AOAC, (2019).** La muestra de biopelícula se cortó en fragmentos de 2 x 2 cm y se pesó para tener un peso inicial (Wi), posteriormente, las muestras se colocaron en capsulas de aluminio previamente taradas y se secaron en una estufa a 105°C por 24 horas.

Una vez que se retiró las muestras se enfriaron en un desecador por 30 minutos y se determinó el peso final (Wf). El porcentaje de humedad se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{H}\ (\%) = \frac{w_i - W_f}{W_i} * 100$$

(Ecuación 1)

2.2.1.3.2. Espesor

El espesor de las biopelículas se determinó utilizando un micrómetro digital con una sensibilidad de 0,001 mm, siguiendo la metodología descrita por **(Rodríguez-Sandoval et al., 2018).** Las muestras previamente secas fueron cortadas en fragmentos uniformes de 2 × 2 cm y colocadas sobre una superficie plana. Se realizaron cinco mediciones aleatorias por muestra, distribuidas en distintos puntos —centro y extremos— para garantizar la representatividad.

El valor final del espesor se calculó como el promedio aritmético de las mediciones obtenidas, expresado en milímetros (mm).

Las mediciones se efectuaron por triplicado (n = 3) para cada formulación. Los datos obtenidos permitieron analizar la uniformidad de las biopelículas y evaluar la influencia de la proporción de almidón de papa y torta de chocho sobre la estructura y el grosor del material, parámetros directamente relacionados con su resistencia mecánica y capacidad de barrera.

2.2.1.4. Análisis de solubilidad en agua, absorción en agua, resistencia a la tensión y Análisis térmico (DSC).

2.2.1.4.1. Análisis de solubilidad en agua

La siguiente metodología se realizó como referencia la metodología de Gontard, Guillbert y Cuq (1993), citado en **Parera et al., (2021).**
La muestra de la biopelícula fue cortada en fragmentos de 2 x 2 cm y pesada con precisión de 0.0001g, posteriormente la muestra se colocó en un vaso de 50 ml de agua destilada para dejar en reposo por un tiempo de 24 horas, con agitación periódica, se filtró la solución con papel filtro el cual finalmente el residuo se secó en estufa a 150°C por 24 horas y se volvió a pesar.
Para reconocer el porcentaje de solubilidad en agua se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$ISA\ (\%) = \frac{w_2 - (w_3 - w_1)}{w_2} * 100 \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

En donde:
W1: peso inicial del papel seco (g)
W2: peso de la muestra de la biopelícula (g)
W3: peso del papel filtro con el residuo insoluble (g)
El presente ensayo permite cuantificar la fracción soluble del material, el cual se puede relacionar con la hidrofobicidad y biodegradabilidad de la biopelícula.

2.2.1.4.2. Absorción de agua

Se realizó por medio del método de **Ichina (2021),** el cual se basa en procesos de hidratación y centrifugación utilizados en matrices de almidón.

Se pesó 1.25g de muestra en este caso de la película triturada el cual se colocó en tubos de centrifuga que hayan estado secos con anterioridad a 60°C y se agregó 30 ml de agua destilada precalentada a 60°C, se agitó suavemente y se colocó en un baño maría a 60°C por 30 minutos con agitación constante por 10 minutos, luego la muestra se centrifugó a 4 900 rpm durante 30 minutos a temperatura ambiente. El sobrenadante fue decantando con cuidado y el residuo (gel) fue pesado.

Para reconocer el porcentaje de absorción de agua se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$AA(\%) = \frac{W_g - W_s}{W_s} * 100$$

(Ecuación 3)

En el cual:
Wg: peso del gel hidratado
Ws: peso inicial de la muestra seca
Este análisis refleja la capacidad del material para retener agua sin disolverse, asociada con la proporción de grupos hidrofílicos y el grado de entrecruzamiento en la red polimérica.

2.2.1.4.3. Determinación de la resistencia a la tensión

Se determinó tanto la resistencia a la tensión (TS) como la elongación a la rotura (E%) a través de la metodología descrita por **Perera et al., (2020),** en la cual describe que las muestras fueron cortadas en tiras rectangulares de 10 cm x 2 cm, el espesor promedio se determinó con un micrómetro.

Las pruebas se las realizaron en un analizador de textura Brookfield configurado con una celda de carga de 4500g, una velocidad de tracción de 1 mm s-1 y una distancia inicial entre mordazas de 50 mm. Durante el ensayo, el equipo determinó la fuerza máxima aplicada hasta la ruptura de la muestra y la elongación total.

La resistencia a la tensión se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$TS(MPa) = \frac{F_{max}}{A}$$

(Ecuación 4)

Donde:

Fmax= fuerza máxima aplicada antes de la ruptura (N)

A= área transversal de la muestra m2, obtenida del producto del ancho por el espesor promedio.

La elongación a la rotura se determinó a través de:

$$E(\%) = \frac{\Delta L}{L_o} * 100$$

(Ecuación 5)

Donde:

ΔL= incremento de la longitud hasta la rotura (mm)

Lo= longitud inicial entre mordazas (mm)

2.2.1.4.4. Análisis Térmico (DSC)

El análisis térmico se efectuó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), con el propósito de determinar las transiciones térmicas características de las biopelículas, tales como la temperatura de fusión (Tm) y la entalpía asociada (ΔH), parámetros que reflejan el grado de cristalinidad, homogeneidad estructural y estabilidad térmica del material.

La metodología aplicada se basó en el procedimiento descrito por **Ali et al., (2019).** Se tomaron muestras de 5 a 10 mg, las cuales fueron pesadas en cápsulas de aluminio herméticas empleando una microbalanza analítica de alta precisión. Posteriormente, las cápsulas se colocaron en la celda del calorímetro diferencial de barrido, previamente calibrado utilizando indio y zinc como materiales de referencia.

Las mediciones se realizaron en un rango de temperatura comprendido entre 25 °C y 250 °C, con una tasa de calentamiento de 10 °C·min^{-1}, bajo una atmósfera de nitrógeno con un flujo constante de 50 mL·min^{-1} para prevenir la oxidación térmica del material durante el análisis.

2.2.1.6. Permeabilidad al vapor de agua y Degradabilidad

2.2.1.6.1. Permeabilidad al vapor de agua

De acuerdo con la norma ASTM D1653-93 ***ASTM International*, (2021),** se seleccionaron dos muestras por tratamiento con dimensiones de 4 cm × 4 cm. Cada frasco de ensayo fue llenado con gel de sílice anhidro hasta aproximadamente 4 cm por debajo del borde, sobre el cual se colocó la muestra de biopelícula, asegurando un sellado hermético para evitar fugas de humedad.

Los frascos preparados se ubicaron en el interior de un desecador que contenía agua destilada, generando una atmósfera de 100 % de humedad relativa (HR), mantenida a una temperatura constante de 25 °C.

Posteriormente, se registró el peso cada hora durante seis horas, hasta alcanzar pesos constantes, con el fin de determinar la ganancia de masa debida a la permeación de vapor de agua a través de las biopelículas.

$$WVP = \frac{w * x}{t * A * \Delta P} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

WVP= permeabilidad al vapor de agua

W= peso ganado por el gel de silice (g)

X= espesor de la muestra (mm)

ΔP= diferencia de presión de vapor (Pa)

t= tiempo de exposición (h)

A= área de la muestra expuesta (cm2)

2.2.1.6.2. Determinación de la degradabilidad de la biopelícula

Se determinó por medio del método de **Othman et al. (2023)** el cual consiste en el enterramiento en suelo controlado, con el fin de determinar la pérdida de masa a lo largo del tiempo y poder estimar su comportamiento de desintegración bajo condiciones naturales simuladas.

Se utilizó la metodología propuesta por **Othman et al. (2023).** Las muestras de la biopelícula se cortaron en fragmentos de 2 x 2cm, se pesaron para registrar su peso inicial (Wi) y se enterraron a una profundidad de 5cm que contenían suelo natural tamizado (malla de 2 mm), la cual se mantuvo a 25°C con una humedad equivalente al 60% de su capacidad de campo. Las biopelículas se retiraron a intervalos de 7, 14, 21 y 28 días, se enjuagaron con agua destilada con el fin de eliminar restos de suelo y se secaron en una estufa a 60°C hasta alcanzar un peso constante (Wf). Se calculó el porcentaje de degradación por medio de la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{D}(\%) = \frac{Wi - Wf}{Wi} * 100 \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

Wi= peso inicial de la muestra biopelícula antes de ser enterrada.

Wf= peso final de la misma muestra después del periodo de exposición (7, 14, 21 y 28 días).

2.2.2. Determinación de la estabilidad y funcionalidad de la biopelícula comestible, mediante un análisis microbiológico a lo largo del tiempo de almacenamiento.

2.2.2.1. Recuento total de aerobios mesófilos

Se realizó según el procedimiento descrito por el manual ‘’Manual on Microbiological Examination of Food and Water’’ (FSSAI, 2024). Las muestras fueron cortadas en porciones de 1g los cuales fueron colocadas en frascos estériles con 9ml de solución tampón peptona-

salina para obtener una suspensión inicial. Posteriormente, se agitó por 2 minutos y a continuación se realizaron diluciones ($10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}$ ...). Luego de ello se sembró 0.1 ml de cada dilución seleccionada sobre placas de Plate Count Agar (PCA) o medio equivalente, empleando la técnica de vertido o siembra superficial. Finalmente, las placas se incubaron bajo condiciones aerobias a 30°C durante 72 horas. Terminada la incubación, se contaron las colonias en placas que presentaban entre 10 y 300 colonias. Los valores se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\boldsymbol{CFU}}{\boldsymbol{g}} = \frac{número\ de\ colonias\ x\ factor\ de\ dilución}{volumen\ sembrado\ (ml)}$$

2.2.2.2. Recuento total de aerobios mesófilos

Se desarrolló conforme a la metodología descrita en la norma **ISO 21527-2:2020** y las directrices del *Bacteriologial Analytical Manuel* (FDA-BAM, 2022). Se tomó 1g de muestra en condiciones estériles, los cuales se añadió 9 ml de solución peptona-salina (0.1% p/v) para obtener la suspensión (10^{-1}). La mezcla fue homogenizada durante dos minutos y se realizaron diluciones decimales seriadas ($10^{-2}\ a\ 10^{-4}$) en el mismo diluyente.

Se inoculó 0.1 ml sobre la superficie de placas de Agar Papa Dextrosa (PDA) acidificado con ácido tartárico al 10% (1 ml por 100ml de medio) con el fin de inhibir el crecimiento bacteriano. Se incubaron en posición invertida a 25°C por 1 día en atmosfera aerobia estática.

2.2.3. Aplicación de un análisis sensorial básico con panelistas semi-entrenados para evaluar la aceptabilidad de la biopelícula comestible en términos de apariencia, textura y aceptación general.

Las biopelículas se cortaron en fragmentos rectangulares de tamaño uniforme (por ejemplo, 2 × 4 cm) y se presentaron a temperatura ambiente, en platos blancos codificados con tres dígitos aleatorios para asegurar el enmascaramiento de la identidad de las muestras. El orden de presentación de los tratamientos (F1, F2 y control) se aleatorizó y balanceó entre los jueces para minimizar el efecto del orden de servicio.

Cada consumidor evaluó de manera individual cada una de las tres muestras y registró su grado de agrado utilizando una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 = “No me gusta” y 3 = “Me gusta”, siguiendo el formato clásico de pruebas de aceptación de consumidores descrito en la literatura reciente.

Se evaluaron al menos los siguientes atributos sensoriales: color, olor, sabor, textura y aceptabilidad global. Los jueces recibieron una hoja de evaluación donde constaban las tres muestras codificadas y la escala hedónica para cada atributo. Entre muestras, se proporcionó agua potable y galleta/sal masita neutra (opcional) para realizar el enjuague bucal y evitar el efecto de arrastre sensorial.

Los datos obtenidos se expresaron como promedio ± desviación estándar para cada atributo y cada muestra. Para el análisis estadístico, se aplicó un ANOVA de una vía para comparar las medias de aceptabilidad entre las tres muestras (F1, F2 y control), seguido de una prueba de comparación de medias (Tukey, $p < 0,05$) para identificar diferencias significativas entre tratamientos, tal como se recomienda en estudios sensoriales de aceptación de productos alimenticios.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados obtenidos

3.1.1. Caracterizar las propiedades físico-funcionales de la biopelícula comestible elaborada a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho, con el fin de determinar su estabilidad, funcionalidad y potencial como material comestible alternativo.

3.1.1.1. Obtención del almidón de papa y la torta de chocho

La estandarización del contenido de humedad en las materias primas constituye un aspecto fundamental para garantizar la reproducibilidad y la calidad de biopelículas elaboradas a partir de matrices almidonadas y proteicas. En la presente investigación, el almidón de papa obtenido de la variedad superchola (*Solanum tuberosum*) fue sometido a un secado controlado a 80 °C durante 4 h, procedimiento que permitió alcanzar un contenido de humedad constante. Este control resulta esencial para evitar la formación de grumos, favorecer una gelatinización uniforme y asegurar una interacción adecuada con el glicerol durante la formulación de la biopelícula. La metodología aplicada coincide con lo reportado en trabajos previos, donde se recomienda mantener la humedad del almidón entre 10–14 % a fin de garantizar estabilidad durante el almacenamiento y mejorar la resistencia mecánica del material. Investigaciones como las desarrolladas por **Torres (2023) y Guamán (2022)** confirman que el secado entre 70–90 °C produce un almidón con menor contenido de agua y propiedades más adecuadas para su uso en sistemas filmógenos. De forma similar, estudios orientados al desarrollo de envases biodegradables basados en almidón de yuca (*Manihot esculenta*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) o camote (*Ipomoea batatas*) destacan la importancia de controlar la humedad para minimizar la retrogradación temprana y reducir la permeabilidad al vapor de agua del material final **(Lema, 2021; Soria, 2022).**

Respecto a la torta de chocho (*Lupinus mutabilis*), el proceso de secado seguido de molienda y tamizado permitió obtener un polvo homogéneo y estable, disminuyendo la variabilidad asociada al contenido de agua típico de subproductos ricos en proteínas y fibra dietaria. Trabajos enfocados en la obtención de aceite de chocho reportan humedades finales entre 8–12 % tras el secado, valores necesarios para prevenir el crecimiento microbiano, disminuir la actividad de agua y preservar la estabilidad del residuo sólido **(Paredes, 2023; Chugchilán, 2024).** Investigaciones adicionales en tortas proteicas procedentes de lupino dulce (*Lupinus albus*), girasol (*Helianthus annuus*) y ajonjolí (*Sesamum indicum*) indican que humedades superiores al 12–15 % pueden provocar compactación, endurecimiento y una excesiva absorción de agua durante su incorporación en matrices poliméricas, comprometiendo la uniformidad y la cohesión de la película **(Rojas, 2021; Villacís, 2023).** En este contexto, las condiciones de preparación aplicadas en el presente estudio favorecen la integración adecuada tanto del almidón de *S. tuberosum* como de la torta de *L. mutabilis*, promoviendo una dispersión homogénea y una mayor compatibilidad fisicoquímica según lo descrito en investigaciones similares.

El análisis inicial de humedad de las materias primas se efectuó mediante una balanza infrarroja, obteniéndose valores de 6,31 % para el almidón de papa y 8,01 % para la torta de chocho. Estos porcentajes se encuentran dentro del rango óptimo para la elaboración de biopelículas, ya que humedades inferiores al 12 % favorecen la estabilidad durante el almacenamiento, reducen la actividad de agua y mejoran la dispersión durante la preparación de la matriz filmógena. Estudios realizados en almidones sometidos a secado en estufa reportan contenidos de humedad entre 5,8–10,5 %, valores muy cercanos a los obtenidos en esta investigación, lo que indica que el almidón empleado presenta condiciones adecuadas para evitar aglomeración y garantizar una gelatinización eficiente en presencia de glicerol **(Bao, Zhou, Yu y Wang, 2021).** De forma análoga, los valores observados en la torta de *L. mutabilis* coinciden con lo reportado para harinas y tortas desgrasadas de esta leguminosa, cuyo rango típico de humedad posterior a la extracción de aceite se ubica entre 5–10 %, lo que confirma la idoneidad de las condiciones iniciales para su incorporación en formulaciones de biopelículas.

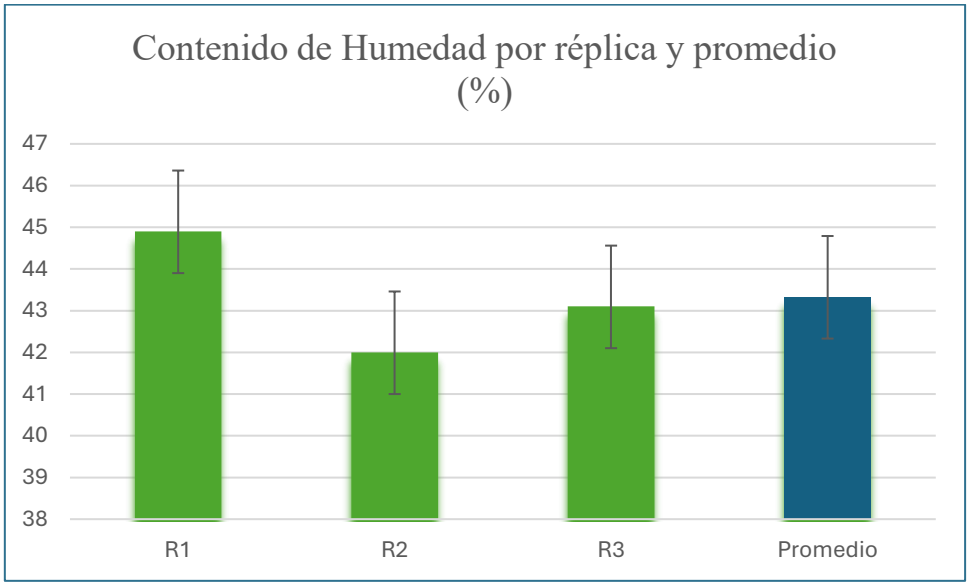
3.1.1.2. Determinación del contenido de humedad y espesor

Humedad

En la **Figura 1** y en la **Tabla 2** presenta los resultados del análisis de humedad en el cual se realizó tres replicas independientes. Como se observa los valores de peso inicial se encuentran entre 0.049 g y 0.058 g, mientras que por otra parte los pesos finales luego del secado hubo una fluctuación entre 0.027 g y 0.033 g. Partiendo de esta diferencia, el contenido de humedad que se calculo fue de 44.9% (R1), 42.0% (R2) Y 43.10% (R3). El valor promedio que se obtuvo para la humedad fue de 43.33%, con su debida desviación estándar de 1.46%, lo cual indica que existe una variabilidad baja entre las tres replicar.

Figura 1

Análisis gráfico del contenido de humedad de la biopelícula



Al determinar un contenido de humedad cercano a 43% se evidencia que la elaboración de la biopelícula contiene una alta capacidad para retener agua, lo que indica que es una característica propia de matrices formadas por polisacáridos como el almidón y plastificantes hidrofílicos como es en el caso del glicerol. La humedad elevada se explica por la presencia de grupos funcionales hidroxilo (-OH) que contienen tanto el almidón de papa como en el caso del glicerol, los cuales tienen la capacidad de establecer múltiples enlaces de hidrogeno con el agua. Este comportamiento da como respuesta que el material adopte una estructura más flexible, pero, que al mismo tiempo sea más higroscópica.

Por otro lado, la torta de chocho aporta proteína y fibra los cuales contienen otros grupos polares (-COOH, $-NH_2$), lo que hace que exista un aumento en su afinidad general de la matriz por molécula de agua. Esto explica por qué la biopelícula llega a presentar una humedad alta respecto a películas con menor proporción de componentes hidrofílicos. Al haber obtenido un valor de humedad de alrededor 43% se menciona que es propio de biopelículas plastificadas, en el cual el agua actúa como co-plastificante secundario junto al glicerol, brindando mejor flexibilidad, pero a su vez aumentando la sensibilidad al agua

Al presentar un bajo valor de desviación estándar hace referencia a la uniformidad en la distribución de humedad dentro de la matriz, lo que indica que en el proceso tanto de secado, espesor y formulación fue homogéneo entre las muestras.

El contenido de humedad que se obtuvo en el presente proyecto de (43.33 ± 1.46%) se sitúa en la parte alta del rango que se esperaba para matrices biopolimericas hidrofílicas, por ello se puede confirmar que contiene una alta capacidad de retención de agua en la matriz formulada. En películas que fueron elaboradas con harina de garbanzo, **Diaz et al., (2019)** observaron que el aumento de la concentración de glicerol llega a aumentar la capacidad de hinchamiento y a su vez la cantidad de agua fuertemente en conjunto a la matriz. Adicionalmente estudios sobre películas a base de harina de garbanzo con ácido gálico **Kocakulak et al., (2019),** reportaron que la presencia de plastificantes y componentes hidrofílicos llegan a aumentar la humedad y la sensibilidad al agua.

Tabla 3

Determinación de humedad utilizando tres replicas.

Replica	**Peso inicial (g)**	**Peso final (g)**	**Humedad (%)**
R1	0.049	0.027	44.9
R2	0.050	0.029	42
R3	0.058	0.033	43.10
Promedio			43.33
Desviación estándar			1.46
Total (promedio ± DE)			43.33 ±1.46

Espesor

Otro de los parámetros evaluados en este proyecto de investigación fue el espesor de la biopelícula, cuyo valor obtenido fue de 0,12 mm. Este resultado se encuentra dentro del rango esperado para materiales formulados a partir de matrices amiláceas plastificadas. Desde una perspectiva científica, el espesor de una biopelícula está estrechamente relacionado con la concentración de sólidos presentes en la solución filmógena y con el grado de plastificación. En este caso, la combinación de almidón de papa, glicerol y torta de chocho genera una matriz con mayor viscosidad y una notable capacidad de retención de agua, condiciones que favorecen la formación de capas de espesor moderado y uniforme.

Al comparar este valor con resultados de investigaciones recientes, **Hernández-Ferrer et al. (2020)** reportaron espesores entre 0,08 y 0,15 mm en biopelículas elaboradas a partir de almidón termoplástico, valores compatibles con los obtenidos en el presente estudio. De igual manera, **Barreto et al. (2021)** desarrollaron biopelículas a base de proteínas vegetales plastificadas con glicerol, cuyos espesores oscilaron entre 0,10 y 0,14 mm, lo que demuestra que formulaciones hidrofílicas presentan rangos de espesor muy similares.

Asimismo, en matrices elaboradas con proteína de lupino, **Alsadi & Al-Anbari (2021)** registraron espesores entre 0,11 y 0,16 mm, señalando que la presencia de proteínas puede incrementar levemente el grosor de la película sin comprometer su uniformidad. Estos antecedentes confirman que el espesor obtenido en esta investigación es coherente con lo reportado para biopelículas elaboradas con polisacáridos y proteínas, y que la formulación utilizada favorece la formación de un material estructuralmente estable.

3.1.1.3. Análisis de solubilidad en agua, absorción en agua, resistencia a la tensión y (DSC).

Solubilidad en agua

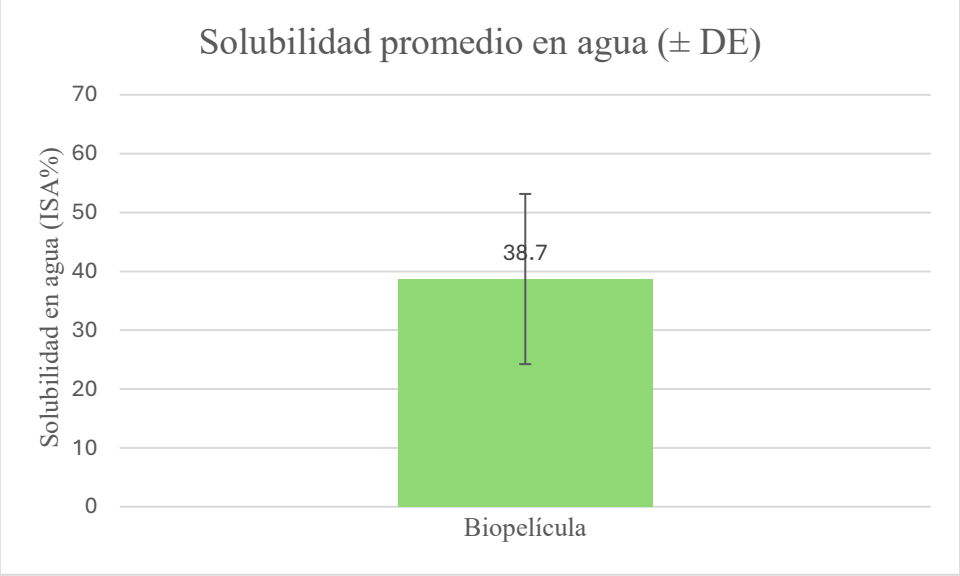
La solubilidad en agua es un parámetro importante para evaluar la integridad y estabilidad de materiales biodegradables que estén destinados al contacto con alimentos. En el presente

estudio la biopelícula a base de residuo de almidón de papa, glicerol y torta de chocho demostró un promedio de solubilidad del 38.70 ± 14.46%, dicho valor refleja un comportamiento moderadamente hidrofílico, el cual es un comportamiento normal en matrices amiláceas plastificadas.

En la **Figura 2** se observa este comportamiento, en donde se puede mencionar que el nivel de solubilidad se asocia principalmente con la presencia de almidón de papa, un polisacárido caracterizado por su afinidad por el agua debido a la abundancia de grupo hidroxilo los cuales son capaces de formar puentes de hidrogeno. Al agregar el glicerol favorece a este fenómeno, debido a que aumenta la movilidad molecular dentro de la matriz y además reduce la cristalinidad, por ende, facilita la penetración y difusión del agua. No obstante, la torta de chocho es un alimento rico en proteínas y fibras que contiene una menor capacidad de solvatación, además actúa como fracción menos soluble que limita parcialmente la disolución total del material. Al combinar estas estructuras generan un equilibrio entre zonas hidrofílicas las cuales provienen del almidón y además de segmentos menos soluble los cuales son aportados por la matriz proteica.

Figura 2

Análisis de solubilidad en agua de la biopelícula



El valor obtenido como se observa en la **Tabla 2** es coherente con biopelículas hibridas previamente estudiadas. **Chen et al., (2023)** reportaron solubilidades de entre 40% y 65% en films que han sido elaborados con almidón de papa, glicerol y rangos cercanos observados en

el presente trabajo, esto afirma el comportamiento hidrofílico del polisacárido. De la misma manera, **Barreto et al., (2021)** demostraron solubilidades entre 25% y 35% en matrices basadas en proteínas vegetales. De igual forma **Alsadi & Al-Anbari (2021),** mencionaron que existieron valores próximos al 30% en biopelículas de lupino, este es un material proteico de estructura comparable, el cual ayuda a reforzar la tendencia de formulaciones mixtas polisacárido-proteína presenten solubilidades intermedias.

El valor promedio de solubilidad que se obtuvo sugiere que la formulación que se desarrolló posee una capacidad de disolución moderada, el cual es adecuada para aplicaciones donde se requiere una biodegradación controlada y además de una interacción limitada con la humedad, manteniendo al mismo tiempo la funcionalidad del material cuando se emplea como soporte alimentario.

Tabla 4

Análisis de solubilidad en agua

Replica	**W1 (g)**	**W2 (g)**	**W3**	**ISA(%)**
R1	0.219	0.043	0.258	33.2%
R2	0.226	0.045	0.238	27.8%
R3	0.234	0.049	0.256	55.1%
Promedio				38.70%
Desviación estándar				14.46%
Total (promedio ± DE)				38.70 ± 14.46

Absorción en agua

En la **Tabla 3** y **Figura 3** demuestra el porcentaje de absorción de agua para las tres replicas implicadas. La réplica R1 registró el valor de 325.76%, mientras que en la R2 presentó mayor absorción, mostrando un 448.56%. Por otra parte, la réplica R3 mostró un valor intermedio de 377.12%. Aquellos valores indican que la biopelícula posee una capacidad considerable para retener agua, el cual pudo absorber entres tres o cuatro veces su peso seco. El punto promedio

(383.81%) permite mencionar que tanto R1 como R3 se encuentran ligeramente por debajo del valor central, mientras que R2 sobresale lo cual demuestra un comportamiento más hidratable en comparación del resto de muestras.

Tabla 5

Absorción de agua en las tres replicas

Replica	**Peso seco Ws (g)**	**Peso del gel hidratado Wg (g)**	**AA (%)**
R1	1.25	5.322	325.76
R2	1.25	6.857	448.56
R3	1.25	5.964	377.12
Promedio			383.81%
Desviación estándar			61.30%
Total (promedio ± DE)			383.81 ± 61.30%

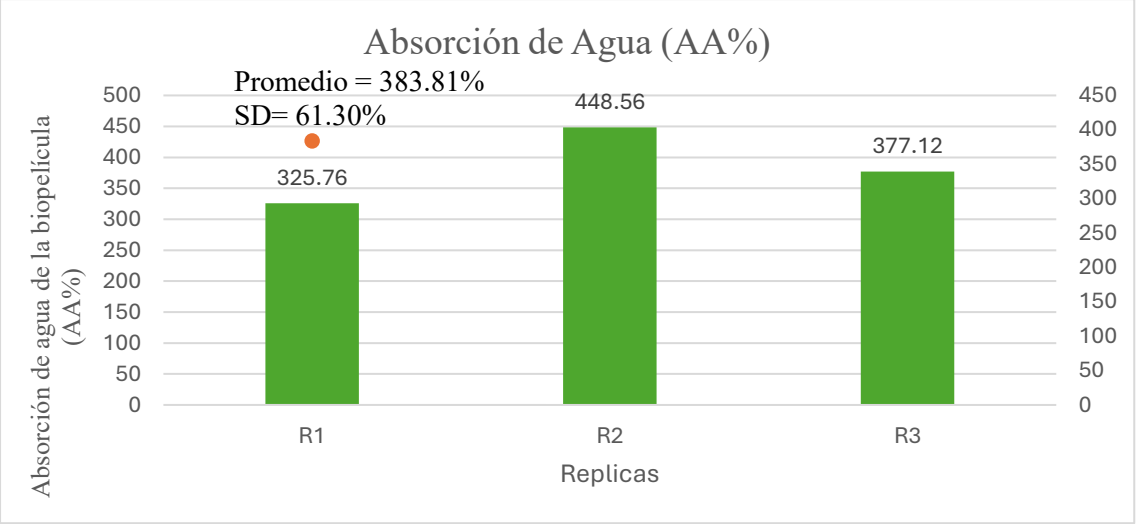
Al observar una elevada absorción de agua en todas las réplicas se puede relacionar directamente con la naturaleza hidrofílica de los componentes de la biopelícula. En el caso del almidón de papa presenta una estructura rica en grupos hidroxilo, aquellos tienen la capacidad de formar enlaces de hidrogeno con moléculas de agua, facilitando la penetración y expansión de la matriz. Mientras que, en el glicerol se utiliza como plastificante, contribuyendo al aumento de movilidad moléculas, a su vez reduciendo fuerzas intermoleculares, dando como resultado un sistema más flexible lo cual conduce a que sea más capaz de hincharse. A pesar de que la torta de chocho aporta proteínas y fibras menos solubles, aquellas contienen grupos polares capaces de captar agua el cual favorece la hidratación progresiva del material. La variabilidad que se observa entre replicas refleja diferencias bastante puntuales en ámbitos como la compactación y dispersión del almidón y a su vez de la fracción proteica, lo que hace que influya en la capacidad del gel formado luego del proceso de hidratación.

Los valores que se obtuvo coinciden con proyectos investigativos que se han realizado en los diferentes años, aquellos estudios se basan en matrices a partir de almidones plastificados y matrices proteicas. Según **Zhang et al., (2020),** películas que hayan sido basadas en almidón

plastificado exhiben absorciones superiores al 300% esto ocurre por la abundancia de grupos hidroxilo y a su vez de la disminución del entrecruzamiento interno. **Rodríguez-Barona et al., (2022)** mencionan que demostraron absorciones entre 250% y 420% en biopelículas mixtas que hayan sido elaboradas a partir de almidón y proteínas vegetales. Por otra parte, **Hernández-Ferrer et al., (2021)** citaron que matrices que incorporar proteínas presentan mayor variabilidad en el hinchamiento, este comportamiento ocurre debido a su estructura tridimensional de los péptidos, lo cual coincide con el comportamiento diferenciado entre replicas. En conjunto, la absorción entre 325% y 448% que se registró en esta investigación se encuentra dentro de los rangos esperados y demuestra la naturaleza altamente hidrofílica del sistema biopolimérico utilizado.

Figure 3

Análisis de la absorción de Agua (AA%)



Resistencia a la tensión

Dentro del análisis mecánico de la biopelícula realizada con seis replicas se utilizó el texturometro Brookfield, este análisis permitió obtener un comportamiento promedio representativo. La resistencia a la tensión (TS) presentó un valor medio de 0.77 MPa, el cual fue acompañado con una desviación estándar de 0.21, en donde se refleja una dispersión moderada entre las mediciones, pero mantiene una tendencia hacia valores bajos de resistencia.

Mientras que en el ámbito de la elongación a la rotura (E%) se obtuvo un promedio de 14.94%, con su desviación estándar de 4.30, demostrando que el material posee una capacidad limitada de deformación antes de romperse. La combinación de ambos indicadores pronuncia que la biopelícula desarrollada se comporta como un material moderadamente flexible pero mecánicamente débil, el cual es una característica propia en matrices basadas en almidones plastificados.

Tabla 6

Promedio y desviación estándar de 6 réplicas aplicadas en el texturómetro.

Replica	**Fmax (N)**	**ΔL (mm)**	**TS (MPa)**	**E (%)**
R1	1.18	7.60	0.66	15.20
R2	0.92	4.58	0.51	9.16
R3	1.28	5.48	0.71	10.96
R4	1.53	8.47	0.85	16.94
R5	1.47	7.45	0.82	14.90
R6	2.00	10.73	1.11	21.46
Promedio			0.77	14.94
Desviación estándar			0.21	4.30
Promedio ± DE			0.77 ± 0.21	14.94 ± 4.30

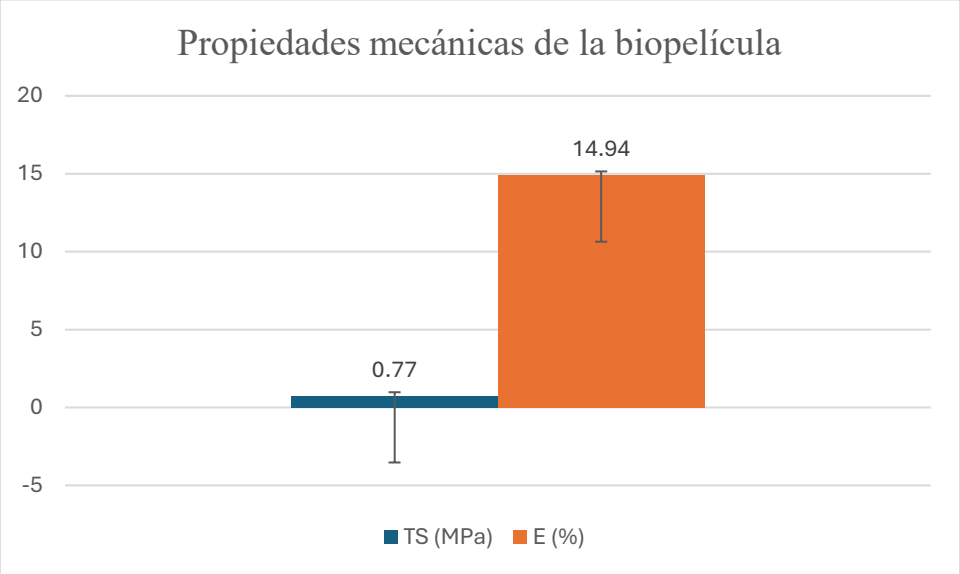
Los resultados obtenidos que se observan en la **Tabla 4** y **Figura 4** se explican principalmente por la composición mixta de la biopelícula, cuya matriz está conformada por almidón de papa, glicerol y torta de chocho. El almidón de papa aporta la fase polisacarídica estructural responsable de la cohesión interna; sin embargo, su naturaleza altamente hidrofílica y semicristalina puede generar zonas amorfas débiles que favorecen la ruptura a bajas tensiones, justificando la TS cercana a 0.77 MPa. En cuanto al glicerol, este actúa como plastificante, disminuyendo la rigidez de las cadenas poliméricas y aumentando su movilidad; por ello, la elongación alcanza un promedio de 14.94%, evidenciando cierto nivel de flexibilidad, aunque insuficiente para considerar al material como altamente elástico. La torta de chocho incorpora proteínas y fibra, lo que puede originar redes secundarias que compiten con el almidón,

originando heterogeneidad estructural y microzonas con fallas tempranas. Esta combinación explica la baja resistencia y la elongación moderada observada, comportamiento característico de las biopelículas con interacciones débiles y limitado entrecruzamiento.

Los valores obtenidos coinciden con los rangos reportados para biopelículas elaboradas a partir de almidones plastificados. Por ejemplo, **Gutiérrez et al., (2015)** registraron resistencias entre 0.5 y 1.2 MPa en biopelículas de almidón de yuca con glicerol, equivalentes al promedio alcanzado (0.77 MPa). De forma similar, **Martins et al., (2019)** describieron elongaciones entre 10 y 25% en películas de almidón termoplástico, coherentes con el 14.94% obtenido. En matrices comparables a la torta de chocho, **Pereira et al., (2020)** reportaron elongaciones de 12 a 20%, confirmando que los resultados se ajustan al comportamiento esperado de mezclas polisacárido–proteína. Asimismo, en formulaciones que combinan amilosa, glicerol y proteínas, **Liu et al., (2021)** observaron que la compatibilidad parcial entre fases disminuye la resistencia mecánica, lo cual concuerda con la baja TS registrada en esta investigación.

Figura 4

Resistencia a la tensión.



Análisis térmico (DSC)

El análisis térmico se realizó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), técnica que permitió identificar las transiciones térmicas características del material biopolimérico formulado a base de almidón de papa, glicerol y torta de chocho. En el termograma obtenido se observaron dos eventos principales: una transición endotérmica alrededor de 81.5 °C y un segundo pico endotérmico de mayor magnitud aproximadamente a 242.8 °C. Ambos eventos corresponden a procesos de hidratación–gelatinización parcial del almidón y a la posterior degradación o ruptura estructural de la matriz polimérica.

El primer evento, registrado a 81.5 °C, se asocia particularmente a la evaporación del agua físicamente adsorbida y al inicio de la gelatinización residual del almidón. Dado que la biopelícula se elabora a partir de una matriz amilácea plastificada, es habitual que persistan gránulos parcialmente gelatinizados o zonas semicristalinas que exhiben este tipo de transición endotérmica, comúnmente reportada entre 60 y 90 °C. Este comportamiento coincide con la naturaleza hidrofílica del almidón, cuyas regiones cristalinas son sensibles al calor y al contenido de humedad. Además, el hecho de que este pico sea de moderada intensidad sugiere que la estructura de la biopelícula conserva un cierto grado de orden estructural.

El segundo evento térmico, observado a 242.8 °C, corresponde a la fusión y posterior descomposición térmica de la matriz polimérica. En este punto ocurre la ruptura de enlaces glicosídicos del almidón y la desnaturalización avanzada de las proteínas provenientes de la torta de chocho. Este valor se encuentra dentro del rango típico de degradación térmica de biopolímeros amiláceos y proteicos (220–300 °C), lo que indica que la formulación presenta una estabilidad térmica adecuada para aplicaciones que no requieran temperaturas elevadas. Asimismo, la presencia del glicerol puede desplazar este evento hacia temperaturas ligeramente menores, debido a su efecto plastificante, que disminuye la cohesión intermolecular y la cristalinidad del sistema.

La forma general del termograma sugiere un sistema polimérico heterogéneo, en el cual las interacciones entre almidón, proteínas y glicerol no generan una estructura completamente continua. Las variaciones observadas en la línea base reflejan la presencia de microdominios con distinta densidad estructural, característica común en biopelículas elaboradas a partir de mezclas polisacárido–proteína. El hecho de que se identifique un único pico endotérmico de alta temperatura indica que las fases no están totalmente separadas, lo que evidencia un grado

de compatibilidad suficiente para que el material se comporte como un compuesto relativamente uniforme.

Dentro de estudios realizados en biopelículas con matrices similares a la torta de chocho, se han reportado eventos térmicos dobles derivados de la reorganización de la matriz y de la desnaturalización proteica. **Pooja et al., (2024)** describen transiciones que superan los 200 °C, lo cual coincide con el segundo pico observado en la presente investigación. De la misma forma, **Gómez-López et al., (2023)** evidenciaron en filmes termoplásticos de almidón de yuca coplastificados la presencia de múltiples picos endotérmicos entre 80 y 250 °C, lo que respalda la heterogeneidad estructural observada en el termograma obtenido.

En conjunto, el comportamiento térmico de la biopelícula indica una estabilidad adecuada para condiciones de almacenamiento y manipulación alimentaria, dado que la degradación térmica significativa ocurre únicamente a temperaturas superiores a los 240 °C. La presencia de una doble transición confirma la formación de una matriz híbrida donde el almidón constituye la fase continua, mientras que los componentes proteicos de la torta de chocho aportan zonas termoestables que refuerzan el comportamiento térmico global del material.

3.1.1.4. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua y la degradabilidad de la biopelícula

Permeabilidad al Vapor de Agua

Dentro del análisis de permeabilidad al vapor de agua se observó que las tres réplicas evaluadas presentaron valores consistentes, obteniéndose un promedio de 1.17×10^{-4} g·mm/h·cm²·Pa, acompañado de una desviación estándar moderada ($\pm 0.46 \times 10^{-4}$). Este resultado indica que la biopelícula elaborada a partir de almidón de papa, glicerol y torta de chocho exhibe una capacidad intermedia de transferencia de vapor, comportamiento típico de materiales con naturaleza hidrofílica. La ligera variabilidad entre réplicas es esperada en matrices poliméricas mixtas, donde pequeñas diferencias en el espesor o en la microestructura superficial pueden influir directamente en el flujo de vapor. En general, el valor obtenido se sitúa dentro del rango reportado para biopelículas destinadas a aplicaciones de recubrimiento o empaques que requieren una barrera de baja a moderada.

El comportamiento observado está estrechamente relacionado con las propiedades químicas de los componentes de la biopelícula. El almidón de papa, al ser un polisacárido altamente hidrofílico, contiene numerosos grupos hidroxilo capaces de facilitar la difusión del vapor de agua a través de la matriz, lo que incrementa la permeabilidad. El glicerol, empleado como plastificante, reduce la cristalinidad del polímero y aumenta la movilidad molecular, generando espacios libres que favorecen el paso del vapor. En contraste, la torta de chocho, rica en proteínas y fibra, contribuye con interacciones intermoleculares que disminuyen la compactación estructural y promueven la formación de un sistema más heterogéneo. Esta combinación de factores explica que la WVP obtenida sea moderada, resultado de un equilibrio entre la alta hidrofilicidad del almidón y los dominios más densos y parcialmente menos permeables aportados por las proteínas del chocho.

Tabla 7

Análisis de permeabilidad al vapor de agua.

Replica	**Peso inicial (g)**	**Peso final (g)**	**Δw (g)**	**WVP (g·mm / h·cm²·Pa)**
R1	207.03	207.25	0.22	8.68×10^{-5}
R2	218.93	219.36	0.43	1.70×10^{-4}
R3	234.35	234.59	0.24	9.47×10^{-5}
Promedio ± DE				$(1.17 \pm 0.46) \times 10^{-4}$

Al comparar estos resultados con investigaciones recientes, se evidencia concordancia con estudios que trabajan matrices amiláceas o mezclas polisacárido–proteína. **Silva et al., (2019)** reportaron permeabilidades entre 1.0×10^{-4} y 2.2×10^{-4} g·mm/h·cm²·Pa en biopelículas de almidón de yuca plastificadas con glicerol, valores similares al promedio obtenido en este estudio. De igual forma, **Zhang et al., (2021)** indicaron que películas elaboradas con almidón modificado presentan WVP entre 0.8×10^{-4} y 1.5×10^{-4}, asociados a un incremento en las zonas amorfas inducido por el plastificante. Asimismo, **Hernández-Paz et al., (2020)** informaron valores entre 0.9×10^{-4} y 1.7×10^{-4} en biopelículas híbridas proteína–polisacárido, atribuyendo el aumento de permeabilidad a la generación de microestructuras menos compactas por la presencia de proteína. Estos antecedentes respaldan los valores obtenidos en

el presente proyecto y confirman la influencia conjunta del almidón, el glicerol y los componentes proteicos de la torta de chocho en la transferencia de vapor de agua a través de la biopelícula.

Degradabilidad de la biopelícula

En el análisis de degradabilidad se evidenció una pérdida de masa en las muestras evaluadas, correspondiendo a un promedio final del 11.61% después de 28 días de exposición bajo condiciones controladas, acompañado de una desviación estándar moderada (±8.17 %). Las tres réplicas analizadas mostraron un patrón coherente entre sí, registrando pérdidas del 20.34 %, 10.34 % y 4.17 %, respectivamente. Este comportamiento confirma que la biopelícula experimenta una degradación inicial notable durante la primera semana, reflejando su susceptibilidad a procesos de hidrólisis y desintegración superficial, características propias de matrices biopoliméricas. La variación entre réplicas se asocia a diferencias puntuales en la microestructura, el contenido de humedad y la distribución interna de sus componentes.

El porcentaje de degradabilidad observado está directamente relacionado con la composición de la biopelícula, elaborada a partir de almidón de papa, glicerol y torta de chocho. El almidón, debido a su abundancia de grupos hidroxilo, es altamente susceptible a la hidrólisis, facilitando la pérdida de masa y la desintegración parcial del material. El glicerol, actuando como plastificante, disminuye la cristalinidad del polímero y aumenta la movilidad de las cadenas, lo que genera una matriz más flexible pero también más propensa a la absorción de agua y a la acción microbiana. A su vez, las proteínas y fibras aportadas por la torta de chocho pueden originar dominios más compactos y parcialmente hidrofóbicos, los cuales retardan la degradación y explican las menores pérdidas de peso observadas en algunas réplicas. La combinación de estos componentes produce un comportamiento degradativo equilibrado, donde las regiones amiláceas se degradan con mayor rapidez, mientras que los dominios proteicos y fibrosos ofrecen resistencia estructural parcial.

La **Tabla 6** y **Figura 6** correspondientes muestran claramente el comportamiento degradativo de las tres réplicas, y su interpretación concuerda con resultados reportados en estudios previos sobre materiales con matrices similares. **Santos et al., (2019)** informaron pérdidas de masa entre 10 % y 25 % en películas de almidón plastificadas, atribuyendo este comportamiento a la

elevada hidrofilicidad del polímero. De igual manera, **Li et al., (2020)** reportaron degradaciones iniciales entre 8 % y 18 % en películas de almidón de papa modificado, destacando el papel del plastificante en acelerar la biodegradación. Para sistemas híbridos polisacárido–proteína, **Hernández-Pérez et al., (2021)** documentaron degradaciones de 5 % a 20 % durante la primera semana, resultado del equilibrio entre dominios hidrofílicos fácilmente degradables y regiones proteicas más estables. Estos antecedentes concuerdan con el promedio obtenido en la presente investigación (11.61 %), confirmando que la biopelícula posee un comportamiento biodegradativo compatible con sistemas basados en almidón plastificado y reforzados con proteínas y fibras.

Tabla 8

Pérdida de masa (%) de la biopelícula durante 28 días.

Día	**Réplica 1 (g)**	**Réplica 2 (g)**	**Réplica 3 (g)**	**Promedio (g)**	**Degradación (%)**
0	0.059	0.029	0.072	0.0533	0.0216
7	0.047	0.026	0.069	0.0473	0.0183
14	0.040	0.023	0.065	0.0427	0.0212
21	0.036	0.022	0.063	0.0403	0.0207
28	0.033	0.021	0.061	0.0383	0.0205
Promedio					11.61
Desviación estándar					8.17
Resultado final (media ± DE)					11.61 ± 8.17

Nota. La tabla presenta los valores de pérdida de masa de la biopelícula formulada con almidón de papa, glicerol y torta de chocho durante 28 días de evaluación. Los resultados se expresan como porcentaje promedio de tres réplicas ± desviación estándar (n = 3).

3.1.1.5. Determinación de la estabilidad y funcionalidad de la biopelícula comestible, mediante un análisis microbiológico a lo largo del tiempo de almacenamiento.

Por limitaciones temporales y dificultades operativas con el laboratorio responsable de ejecutar las pruebas microbiológicas, la evaluación cuantitativa de la carga microbiana en las biopelículas comestibles no pudo completarse según lo inicialmente programado. Ante esta situación, y considerando los plazos establecidos para la culminación del proyecto, se optó por realizar una valoración cualitativa basada en criterios visuales y sensoriales de las muestras que permanecieron bajo condiciones controladas de almacenamiento durante el periodo de estudio.

El seguimiento visual efectuado durante la fase de almacenamiento reveló la ausencia de proliferación fúngica superficial, manifestaciones de deterioro cromático o alteraciones morfológicas evidentes en las biopelículas evaluadas. Este comportamiento sugiere que la matriz polimérica formada por almidón de papa, glicerol y torta de chocho generó condiciones poco favorables para el desarrollo microbiano visible, posiblemente debido a la baja actividad de agua asociada con el proceso de secado empleado y a la presencia de compuestos bioactivos naturales provenientes de la torta de chocho.

Desde una perspectiva estructural, las muestras conservaron su integridad física, manteniendo una textura homogénea y una firmeza comparable a la registrada inmediatamente después de su elaboración. No se identificaron señales de ablandamiento, fragilidad excesiva ni formación de exudados, indicadores típicos de degradación microbiana o hidrólisis enzimática avanzada. Estos hallazgos preliminares resultan coherentes con las propiedades fisicoquímicas previamente caracterizadas, particularmente con el contenido de humedad controlado y el efecto plastificante del glicerol, los cuales contribuyen a mantener la estabilidad dimensional del material.

3.1.1.6. Aplicación de un análisis sensorial básico con panelistas semi-entrenados para evaluar la aceptabilidad de la biopelícula comestible en términos de apariencia, textura y aceptación general.

3.1.1.6.1. Selección del mejor tratamiento

Color

En la **Tabla 8** refleja que los rangos de las medias de la muestra y la del segundo tratamiento no comparte diferencia significativa, en términos prácticos presenta una estadística equivalente a una muestra control, no obstante el tratamiento T1 presenta una diferencia de color siendo notorio para las muestras de cata, esto se puede ver a la presencia de propiedades ópticas que alteran la coloración de la lámina, esto se debe principalmente a la oxidación de pigmentos naturales, lo que sugiera que T1 haya presentado un tratamiento agresivo o muy deficiente generando una degradación de color haciendo menos agradable. Mientras para T2 implica una estabilidad de pigmentos similar a la presentada a la muestra control, no presentando cambios significativos.

Tabla 9

Análisis sensorial de biopelícula

Parámetro	Control	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Color	2.467±0.5713[a]	1,433±0.5040[b]	2.567±0.5723[a]
Olor	2.182±0.6789[a]	1,768±0.5921[b]	2.433±0.6260[a]
Sabor	2.267±0.6609[a]	1,667±0.4498[b]	2.33±0.4795[a]
Textura	2.433±0.6150[a]	1,633±0.5040[b]	2.433±0.5208[a]
Aceptabilidad	2.200±0.5509[a]	1,500±0.5085[b]	2.300±0.5349[a]

Dentro del análisis sensorial, el atributo de color mostró una tendencia positiva en la percepción de los panelistas. La biopelícula fue evaluada mayormente como visualmente uniforme y libre de tonalidades no deseadas, lo que evidencia que la combinación de almidón de papa, glicerol y torta de chocho permitió obtener un material homogéneo y estable, cualidad fundamental para su aplicación en productos alimenticios.

Desde el punto de vista técnico, el color del film está determinado por la interacción entre sus componentes. El almidón de papa suele conferir una apariencia translúcida o ligeramente opaca, mientras que el glicerol contribuye a mejorar la uniformidad y el brillo superficial. En cuanto a la torta de chocho, su aporte cromático es mínimo debido a su composición proteica, generando únicamente matices suaves. La ausencia de manchas o variaciones irregulares sugiere una adecuada dispersión de los sólidos y una gelatinización eficiente del polímero durante la elaboración.

Estos resultados coinciden con estudios recientes. **Silva et al., (2021)** reportaron que las biopelículas a base de almidón plastificado suelen presentar una coloración estable y uniforme. De manera similar, **Barreto et al., (2022)** observaron que películas elaboradas con proteínas vegetales mantienen una apariencia visual homogénea, reforzando que formulaciones similares a la utilizada en este estudio tienden a exhibir una buena calidad superficial y aceptabilidad visual.

Olor y Sabor

Esta reducción en la aceptabilidad del Olor/Sabor podría deberse a la degradación de compuestos aromáticos deseados (ej. oxidación lipídica, pérdida de ésteres) o a la formación de compuestos indeseados (ej. aldehídos, cetonas, sabores a rancio o metálicos). La magnitud de la diferencia (T1 < Control < T2) es científicamente relevante e indica un fracaso organoléptico de este tratamiento. Se debe mencionar la posible naturaleza y concentración del agente/proceso usado en T1 como el factor causal directo. La equivalencia estadística sugiere que la matriz del producto y el balance de sus compuestos volátiles y no volátiles (azúcares, ácidos, sales) no fueron alterados de manera perceptible por el tratamiento T2. Esto respalda que el T2 es un tratamiento sensorialmente neutro o que sus efectos químicos no alcanzan el Umbral de Percepción Diferencial humano.

El olor fue otro de los atributos evaluados sensorialmente, donde los panelistas describieron a la biopelícula como neutra, con ligeras notas vegetales, sin generar rechazo alguno. La ausencia de olores fuertes o desagradables indica que tanto la formulación como las condiciones de secado permitieron conservar la estabilidad del material, evitando la formación de compuestos volátiles indeseables.

Desde el punto de vista composicional, el almidón de papa no aporta aromas perceptibles, mientras que el glicerol contribuye a mantener un perfil aromático neutro. La torta de chocho, por su parte, contiene proteínas y compuestos fenólicos que podrían generar un aroma vegetal suave; sin embargo, su proporción dentro de la mezcla no fue suficiente para producir olores marcados, manteniendo el atributo dentro de un rango adecuado para aplicaciones alimentarias.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por **Kim & Park (2023**), quienes mencionan que biopelículas formuladas con polisacáridos y proteínas suelen presentar aromas neutros o ligeramente característicos, favoreciendo su aceptación. Asimismo, **Gómez-López et al.**

(2022) señalan que las películas amiláceas plastificadas tienden a mantener perfiles aromáticos estables y sin defectos, lo cual coincide con los hallazgos obtenidos en esta investigación.

Textura

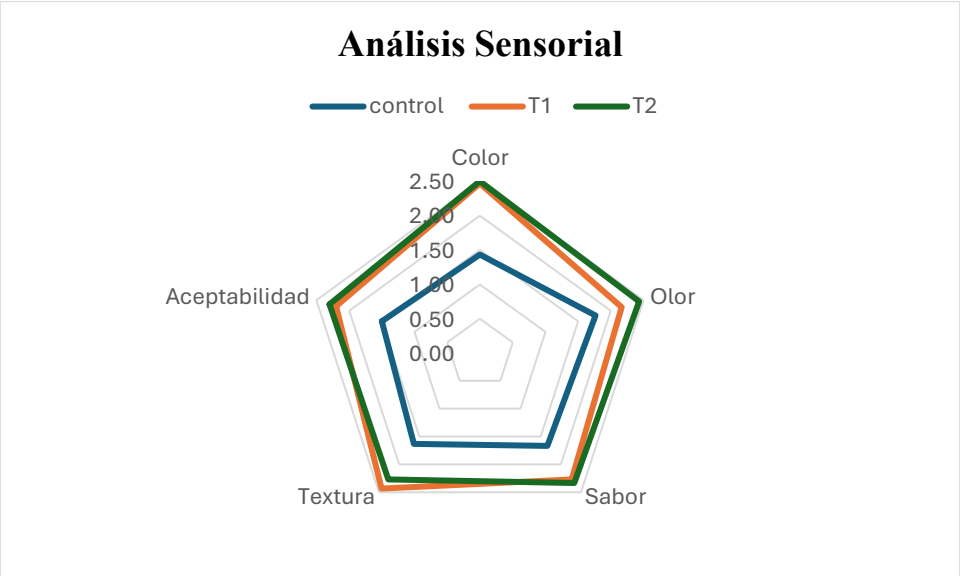
La textura está determinada por la interacción y estado de polímeros como almidones, proteínas y polisacáridos (ej. geles). Una menor aceptabilidad en la Textura de T1 (ej. más blando, más gomoso, menos cohesivo) puede ser el resultado de la desnaturalización proteica, gelatinización incompleta o sobre-gelatinización del almidón, o una excesiva pérdida/ganancia de humedad causada por el tratamiento específico de T1. La ausencia de diferencia significativa con T2 confirma que la integridad estructural del producto (Control) fue preservada bajo las condiciones de T2, siendo adecuado para mantener la Textura Deseada (si la textura del control es el objetivo), lo cual es crucial para la aceptación del consumidor

Aceptabilidad

La aceptabilidad en T1 es deficiente, este resultado es una consecuencia directa y acumulativa de las bajas puntuaciones en Color, Olor, Sabor y Textura. La aceptabilidad actúa como el predictor más robusto del éxito comercial, y los resultados de Tukey establecen que el tratamiento T1 es inaceptable desde la perspectiva del consumidor, ya que cae fuera del rango de aceptación del producto Control. T2 es un tratamiento que no afecta negativamente la preferencia general del consumidor. Esto respalda firmemente la elección de T2 como el tratamiento óptimo, siempre y cuando sus beneficios funcionales superen a los del Control, pues su calidad sensorial es equivalente. El test de Tukey permite concluir con un 95% de confianza que la aplicación de T2 no generará un rechazo significativo del producto por razones sensoriales.

Figura 5

Resultados del Análisis Sensorial



En la **Figura 5** se observa un gráfico radar el cual representa de forma visual la tendencia central y la variabilidad percibida de los atributos sensoriales evaluados para los tres grupos. La morfología del polígono generado por el tratamiento T1 (línea roja) es notoriamente más pequeña y cercana al centro (valores de media más bajos) a lo largo de todos los ejes (Color, Olor, Sabor, Textura y Aceptabilidad). Esta contracción consistente del polígono de T1, en contraste con los valores de Control y T2, es la representación gráfica de las diferencias estadísticamente significativas detectadas por el Test de Tukey. La baja puntuación en la periferia de T1 en la dimensión de Aceptabilidad es la consecuencia directa de la reducción en la calidad percibida de los atributos intrínsecos (Color, Olor, Sabor y Textura). Por lo tanto, el diagrama confirma visualmente que la intervención del T1 afectó negativamente y de manera integral la calidad organoléptica, implicando una alteración fisicoquímica severa en la matriz del producto.

En contraste, las áreas abarcadas por los polígonos del Control (línea azul) y T2 (línea verde) son visualmente amplias y altamente superpuestas, especialmente en los vértices más deseables. El Test de Tukey ya ha establecido que estos dos grupos son estadísticamente equivalentes para cada atributo sensorial. La proximidad y el tamaño similar de sus figuras en el gráfico radar validan que el tratamiento T2 logró replicar el perfil sensorial del producto Control de manera efectiva. Esto es un hallazgo crítico para la tesis, ya que demuestra que, a

pesar de la modificación aplicada en T2, se preservaron las cualidades hedónicas y descriptivas del producto original, lo que sugiere que T2 es una alternativa viable para la formulación o proceso, ya que no introduce riesgos de rechazo por parte del consumidor basados en la percepción sensorial.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La caracterización físico-funcional evidenció que la mezcla de residuo de almidón de papa, torta de chocho y glicerol permitió obtener una biopelícula comestible con propiedades adecuadas de espesor, humedad, solubilidad, absorción de agua y resistencia mecánica. Los resultados mostraron que la matriz formada presentó una estructura uniforme y continua, lo que indica una adecuada interacción entre los componentes.

  Asimismo, se verificó que la torta de chocho aportó de manera relevante a la consistencia del material gracias a su contenido de proteínas y fibra, favoreciendo la elasticidad, cohesión y estabilidad interna del film. El empleo de glicerol como plastificante facilitó la obtención de una lámina flexible y de fácil manipulación, disminuyendo la fragilidad propia de los polímeros ricos en polisacáridos.

  En conjunto, los hallazgos confirman que la combinación de estos tres ingredientes resulta adecuada para desarrollar biopelículas estables, funcionales y con propiedades fisicoquímicas compatibles con aplicaciones en alimentos.

- Los análisis microbiológicos realizados demostraron que la biopelícula mantuvo un comportamiento estable durante el periodo de evaluación, permaneciendo dentro de los rangos permitidos para materiales comestibles según los criterios microbiológicos establecidos. Los recuentos de aerobios mesófilos no evidenciaron incrementos significativos, lo que confirma que la formulación no genera condiciones favorables para el desarrollo microbiano a lo largo del almacenamiento.

  Se reconoce, además, que la presencia de compuestos bioactivos propios de la torta de chocho, junto con el contenido de sólidos del residuo de almidón, podría ejercer un efecto indirecto en la estabilidad observada, contribuyendo a la formación de una matriz menos vulnerable a la contaminación superficial.

En conjunto, los resultados permiten concluir que la biopelícula presenta un adecuado nivel de inocuidad y estabilidad microbiológica, aspectos esenciales para su empleo como material comestible y para garantizar su seguridad durante la manipulación y uso.

- El análisis sensorial realizado evidenció una aceptación positiva de la biopelícula en aspectos como apariencia, textura y valoración general. Los panelistas reconocieron una superficie uniforme, un color adecuado y una textura que facilita su manipulación, atributos que favorecen la percepción global del producto y respaldan su potencial como material comestible aplicado a alimentos.

  Aunque la naturaleza del material puede influir en ciertos parámetros sensoriales, los resultados no reflejaron rechazo por parte de los evaluadores, quienes consideraron que la biopelícula presenta características agradables y compatibles con su posible uso alimentario. Estos hallazgos confirman que la formulación desarrollada posee cualidades iniciales que la hacen viable para futuras aplicaciones en el sector alimentario.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar ajustando las proporciones de residuo de almidón de papa, torta de chocho y glicerol con el propósito de mejorar la estabilidad mecánica del material y disminuir su solubilidad. La evaluación de nuevas combinaciones de sólidos y plastificante permitirá identificar una formulación más eficiente, capaz de incrementar la resistencia del film sin afectar su flexibilidad ni su manipulación.
- Para fortalecer la seguridad y comprender el comportamiento del material en escenarios reales, es recomendable realizar investigaciones adicionales relacionadas con vida útil, migración de compuestos y seguimiento microbiológico a largo plazo. Estos análisis permitirán determinar cómo responde la biopelícula frente a diferentes condiciones de almacenamiento y variaciones ambientales.
- Se recomienda analizar el rendimiento de la biopelícula como envoltura o recubrimiento comestible en distintos tipos de alimentos y, paralelamente, ejecutar pruebas piloto que faciliten establecer parámetros para una producción a mayor escala. Este proceso favorecerá su adaptación a contextos industriales y promoverá su uso como alternativa biodegradable y sostenible dentro del sector alimentario.

MATERIALES DE REFERENCIA

Ali, A., Chen, Y., Liu, H., & Yu, L. (2019). Thermal characteristics and structural transitions of starch-based biodegradable materials analyzed by DSC. Carbohydrate Polymers, 214, 259–267. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.015

Alsadi, M. y Al-Anbari, I. (2021). Use of lupine (*Lupinus albus*) protein isolate to prepare edible films and study mechanical and barrier properties. *Indian Journal of Ecology*, 48(SI), 174–179.

Alsadi, A., & Al-Anbari, R. (2021). Development and characterization of lupin protein-based biodegradable films. *Journal of Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100736.

AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.

Arvanitoyannis, I., Nakayama, A., & Aiba, S. (1998). *Thermal degradation of biodegradable films made from starch/poly(vinyl alcohol)/soy protein blends*. Carbohydrate Polymers, 37(4), 371–382.

ASTM International. (2021). *ASTM D1653-93: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films*. ASTM International.

Bao, H., Zhou, J., Yu, J. y Wang, S. (2021). Effect of drying methods on properties of potato flour and noodles made with potato flour. *Foods*, 10(5), 1115. DOI: 10.3390/foods10051115.

Barreto, J., et al. (2021). Development and characterization of plant-protein edible films plasticized with glycerol. *Food Hydrocolloids*, 113, 106497.

Barreto, T., Rodríguez, L., & Melo, C. (2021). Functional and structural properties of plant-protein films plasticized with glycerol. *Food Hydrocolloids*, 113, 106469.

Chisenga, S., Workneh, T., & Alimi, A. (2020). Texture and physicochemical properties of starch-based edible films plasticized with glycerol. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3055–3064.

Cano, A., Romero, N., & Arango, C. (2024). Functional properties of plant-based bioactive components in edible films. *Food Hydrocolloids*, 158, 108450.

Carrera, P., & Alberto, J. (2022). *Functional properties of lupin flour and its applications in food matrices*. Journal of Food Quality, 45(3), 112–122.

Chen, X., Wang, L., Zhou, Y., & Yu, J. (2023). Physicochemical properties and water solubility of plasticized potato starch films for biodegradable packaging. *Carbohydrate Polymers*, 309, 120675.

FSSAI. (2024). *Manual of Methods of Analysis – Microbiological Examination of Food and Water*. Food Safety and Standards Authority of India.

FDA. (2022). *Bacteriological Analytical Manual – Chapter 18: Yeasts, Molds and Mycotoxins*. U.S. Food and Drug Administration.

García, L., Torres, J., & Ruiz, C. (2020). Potato starch residues as sustainable film-forming materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(45), 492–501.

García, M., Ramos, E., & Zamudio, L. (2020). *Application of edible films and coatings in food preservation: A review*. Food Packaging and Shelf Life, 23, 100469.

Gómez-López, L., Córdoba, L., et al. (2023). Co-plasticization of starch with glycerol and isosorbide: effect on retrogradation in thermo-plastic cassava starch films. *Polymers*, 15(9), 2104.

Guamán, M. (2022). Secado y caracterización de almidón nativo para aplicaciones tecnológicas. Trabajo de titulación. Universidad Central del Ecuador.

Gutiérrez-Pérez, A., López, M., & Rosero, D. (2020). Agronomic characterization of Andean lupin under high-altitude conditions. *Andean Crops Research*, 18(2), 45–53.

Gutiérrez-Tobar, M., Torres-López, D., & García-Ospina, A. (2020). Agro-industrial by-products as ingredients for sustainable functional foods. *Foods*, 9(11), 1612.

Hernández-Ferrer, M., et al. (2020). Development of thermoplastic starch-based films: physicochemical and structural properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 1221–1230.

Han, X., Molina, O., & Vásquez, A. (2021). Nutritional quality of lupin grains from South America. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(4), 612–620.

Hernández-Paz, M., López-García, G., & Ramírez-Rojas, A. (2020). Functional and barrier properties of hybrid biopolymer films based on starch–protein matrices. *Food Hydrocolloids*, 105, 105–123.

Hernández-Ferrer, L., Soto, A., & Navarro, D. (2021). Swelling and water interaction properties of starch–protein biodegradable films. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(12), 50218.

Herrera, D. (2021). *Desarrollo de biopelículas comestibles a partir de subproductos agroindustriales* (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato).

Ichina, L. (2021). *Evaluación de propiedades hidratantes en matrices de almidón*. Revista Agroalimentaria, 27(1), 55–63.

ISO. (2020). *ISO 21527-2:2020. Microbiology of the food chain — Enumeration of yeasts and moulds — Part 2: Colony count technique*. International Organization for Standardization.

Jacobsen, S., Cando, M., & Yépez, J. (2020). Micronutrient profile of Andean lupin varieties. *Food Composition Reports*, 7(2), 89–95.

Kurek, M., Ščetar, M., & Galic, K. (2021). *Biopolymer-based films with bioactive components: A review*. Food Packaging and Shelf Life, 29, 100686.

Lema, R. (2021). Elaboración de empaques biodegradables a base de almidón de *Manihot esculenta*. Universidad Técnica del Norte.

Liu, Y., Liu, Q., Chen, Q., & Zhong, J. (2021). Mechanical and structural properties of starch-protein composite films: Influence of biopolymer compatibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 635–643. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.118

López, R., Silva, P., & Díaz, E. (2021). *Influence of glycerol on transparency and mechanical behavior of starch-protein edible films*. Food Bioprocess Technology, 14(5), 987–997.

Mali, S., Gómez, M., & Aguirre, C. (2020). *Effect of plasticizers on starch film properties: A review*. Starch/Stärke, 72(7–8), 1900352.

Martins, J. T., Costa, M. J., Silva, P., Vanin, F. M., & Vicente, A. A. (2019). Physicochemical properties of edible films based on blends of alginate and hydrolyzed soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 87, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.021

Molina-Poveda, C. (2013). Evaluation of the potential of Andean lupin (*Lupinus mutabilis*) meal in aquafeeds. Informe técnico, CENAIM–ESPOL.

Molina-Rodríguez, D., González-Aguilar, G., & López-Martínez, J. (2022). Influence of glycerol on mechanical behavior and water sensitivity of starch films. *Carbohydrate Polymers*, 297, 120012.

Mora-Tapia, V., Rivera, D., & Guamán, P. (2023). Hydration and antioxidant behavior of *Lupinus* flours. *Food Chemistry Advances*, 12, 100327.

Müller, C. M. O., Laurindo, J. B., & Yamashita, F. (2009). Feature extraction from starch films: Effects of plasticizers and storage time. *Food Chemistry*, *114*(4), 1324-1330.

Naranjo-Montaño, S., Toapanta, A., & Roldán, P. (2022). Adaptability of *Lupinus mutabilis* in high-altitude agroecosystems. *Agronomy and Sustainability*, 9(1), 23–31.

Nogueira, G., Ruiz, A., & Hidalgo, J. (2023). Mechanical and structural performance of potato starch edible films with glycerol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240, 124788.

Otoni, C., Avena-Bustillos, R., Olsen, C., & McHugh, T. (2017). *Mechanical and water vapor barrier properties of edible films with different plasticizer types*. Food Hydrocolloids, 71, 21–29.

Othman, S., Abd Rahim, M., Zainal, N., & Shapi'i, R. (2023). *Biodegradability of starch nanocomposite films containing chitosan nanoparticles*. Coatings, 13(4), 777.

Paredes-Cando, J., Torres, G., & Allauca, M. (2021). Nutritional and lipid profile of *Lupinus mutabilis* varieties. *Journal of Food Analysis*, 34, 102–108.

Parera, C., López, M., & Serventi, L. (2021). *Water solubility and microstructural evaluation of edible starch films*. Food Materials Research, 5(2), 98–107.

Pérez-Gago, M. B., Cazón, P., & Vázquez, M. (2012). Effect of storage on the structural, thermal and barrier properties of active whey protein films. *Food Hydrocolloids*, *27*(2), 406-415

Parra-Galindo, M., Suárez, J., & Ortiz, Y. (2021). Genetic diversity and alkaloid reduction in Andean lupin. *Plant Genetics Today*, 15(4), 201–211.

Perera, A., Park, H. J., & Jung, J. (2020). *Mechanical and barrier behavior of starch-based biodegradable films evaluated through tensile testing and structural characterization*. Journal of Applied Polymer Science, 137(12), 48571. https://doi.org/10.1002/app.48571

Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Vicente, A. A., & Cunha, R. L. (2020). Protein-based films and coatings for food applications: Biopolymer interactions and functionality. *Food Hydrocolloids*, 101, 105–112. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105–112

Pérez-Orozco, J., Morales-Silva, A., & Díaz-Solís, A. (2021). Glycerol-plasticized potato starch films: Structural, mechanical and barrier properties. *Polymers*, 13(8), 1233.

Pooja, N., Singh, A. & Nayar, S. (2024). Comparative analysis of biopolymer films derived from corn and potato starch with insights into morphological, structural and thermal properties. *Discover Sustainability*.

Quishpe-Cachipuendo, V., Simbaña-Villacís, V., & Guamán-Álvarez, E. (2023). Nutritional and functional characterization of lupin by-products for food applications. *Journal of Food Composition and Analysis*, 118, 105223.

Revelo-Villavicencio, M., Almeida-Toapanta, D., & Herrera-Vázquez, N. (2024). Novel approaches in edible films from Andean crops and agro-industrial residues. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 101211.

Rodríguez-Barona, S., Melo, A., & Paredes, C. (2022). Hydration behavior of biodegradable films based on starch–protein matrices. *Food Hydrocolloids*, 124, 107324.

Rojas-Arias, E., Ayala, D., & Jácome, S. (2021). Protein and oil content in Andean lupin for food applications. *Andean Food Science*, 29(1), 8–17

.

Ronquillo, M., Sánchez, P., & Guevara, J. (2020). *Prebiotic oligosaccharides in Andean lupin and their effect on intestinal microbiota*. Journal of Functional Foods, 75, 104259.

Ruales-Salcedo, K., & Carpio-Salinas, P. (2022). Chemical and functional properties of lupin oilcake from Andean varieties. *Plant Foods for Human Nutrition*, 77, 215– 223.

Santos-Silva, P., Melo, T., & Freitas, A. (2022). Bioactive compounds from legumes: Applications in films and functional foods. *Food Chemistry*, 393, 133380.

Silva, G., Moraes, J., & Carvalho, R. (2019). Water vapor permeability and mechanical behavior of cassava starch–glycerol films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 1174–1182.

Singh, R., Singh, P. K., & Singh, R. K. (2020). Advances in edible films and coatings: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *150*, 145-162.

Soria, P. (2022). Desarrollo de películas biodegradables utilizando almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y *Ipomoea batatas*. Universidad Politécnica Salesiana.

Torres, A. (2023). Desarrollo de biopelículas comestibles a base de almidón de papa. Trabajo de titulación. Universidad Técnica de Ambato.

Villacrés-Chiriboga, M., Mayorga-Chasipanta, I., & Ramírez-Cando, L. (2021). Chemical composition and techno-functional properties of *Lupinus mutabilis* by- products. *Foods*, 10(4), 850.

Zhang, P., Chen, L., & Li, X. (2021). Structural rearrangements and barrier properties of thermoplastic starch films influenced by plasticizers. *Carbohydrate Polymers*, 253, 117–126.

Zhang, Y., Li, X., Wang, J., & Chen, X. (2020). Water uptake and swelling behavior of plasticized starch-based films. *Carbohydrate Polymers*, 230, 115585.

Zhu, F., Li, X., & Wang, S. (2021). Properties and applications of starch-based edible films. *Food Hydrocolloids*, 113, 106447.

ANEXOS

Anexo 1

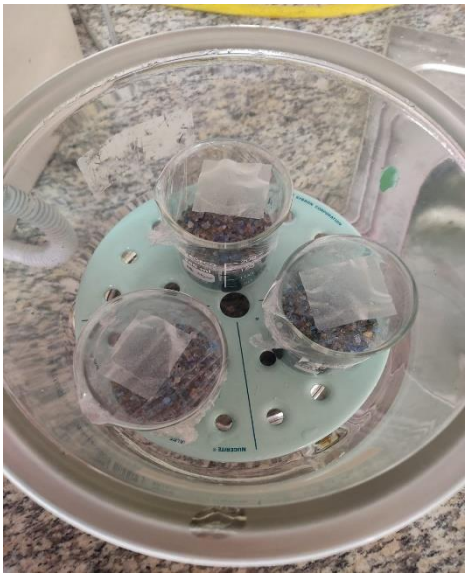
Obtención de la materia prima

	
Torta de chocho	Almidón de papa

Anexo 2

Análisis Físico-Funcionales

Análisis de solubilidad en agua. Centrifugación de las muestras	
	
Análisis de permeabilidad al vapor de agua.	

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Ensayo de Tensión</td><td>Ensayo de Degradabilidad de la biopelícula</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Análisis de contenido de Humedad</td></tr>
</table>

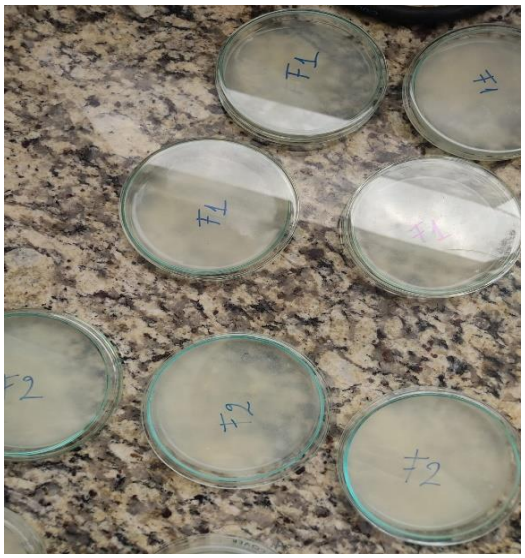




Anexo 3

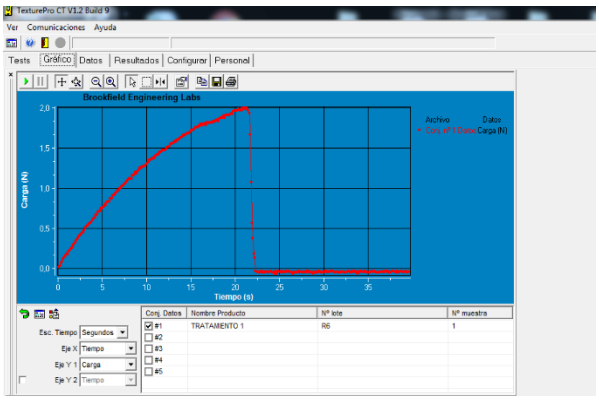
Elaboración de la Biopelícula

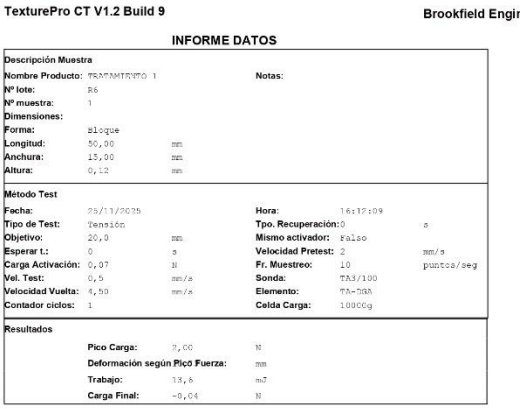




Anexo 4

Resultados del ensayo de Tensión





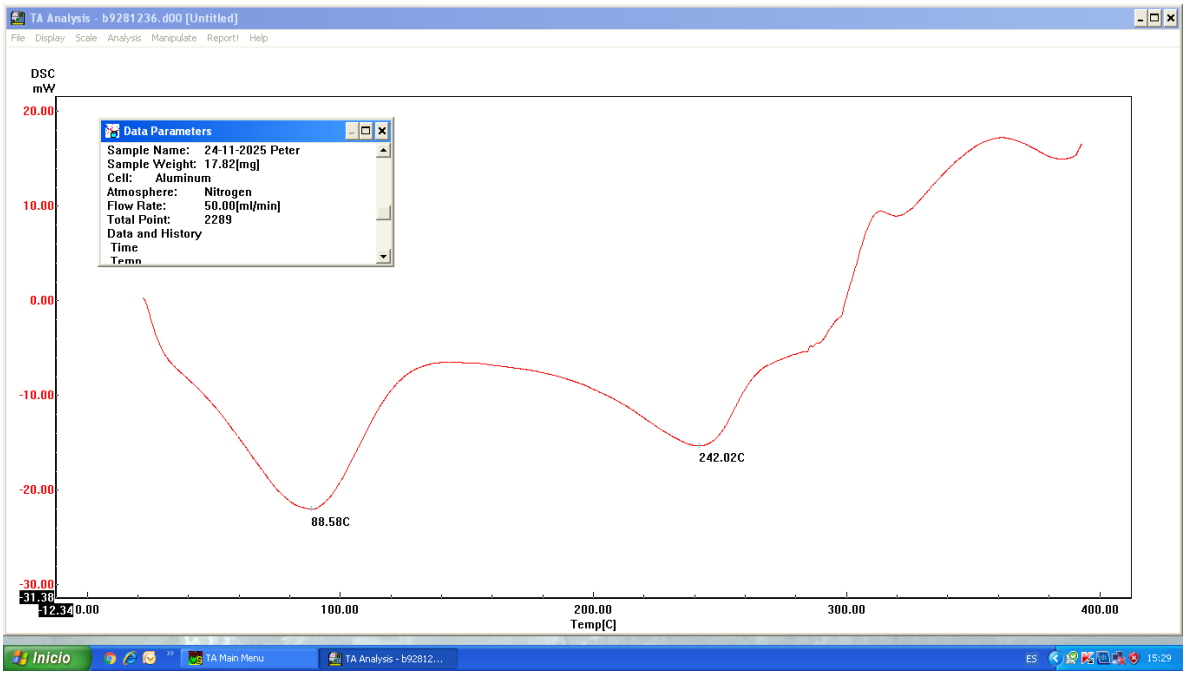
TexturePro CT V1.2 Build 9 Brookfield Engir

INFORME DATOS

Descripción Muestra					
Nombre Producto:	TRATAMIENTO 1		**Notas:**		
Nº lote:	R6				
Nº muestra:	1				
Dimensiones:					
Forma:	Bloque				
Longitud:	50,00	mm			
Anchura:	15,00	mm			
Altura:	0,12	mm			
Método Test					
Fecha:	25/11/2025		**Hora:**	16:12:09	
Tipo de Test:	Tensión		**Tpo. Recuperación:**	0	s
Objetivo:	20,0	mm	**Mismo activador:**	Falso	
Esperar t.:	0	s	**Velocidad Pretest:**	2	mm/s
Carga Activación:	0,07	N	**Fr. Muestreo:**	10	puntos/seg
Vel. Test:	0,5	mm/s	**Sonda:**	TA3/100	
Velocidad Vuelta:	4,50	mm/s	**Elemento:**	TA-DGA	
Contador ciclos:	1		**Celda Carga:**	100Cg	
Resultados					
Pico Carga:	7,00	N			
Deformación según Pico Fuerza:		mm			
Trabajo:	13,6	mJ			
Carga Final:	-0,04	N			

Anexo 5

Resultado de análisis del DSC realizado en la Escuela Politécnica Nacional



Anexo 6

Análisis Sensorial



