

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



"EFECTO DE ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*) Y PECTINA
DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*) SOBRE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS, MICROESTRUCTURALES
Y ÓPTICAS DE UNA BIOPELÍCULA"

Antoinette Solange Huaillapumã Zapana

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: M.Sc. Lenin Quille Quille
Co-asesor: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca



Juliaca - Perú, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**"EFECTO DE ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*) Y PECTINA
DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*) SOBRE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS, MICROESTRUCTURALES
Y ÓPTICAS DE UNA BIOPELÍCULA"**

Antonette Solango Huallapuma Zapana

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Aseor: M.Sc. Leonila Quillo Quillo
Co-aseor: D.Sc. Olivia Magaly Lozano Vilca



Juliaca - Perú, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN

INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EFECTO DE ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*) Y PECTINA DE
CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*) SOBRE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS, MICROESTRUCTURALES
Y ÓPTICAS DE UNA BIOPELÍCULA”**

Antoinette Solange Huailapuma Zapana

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: M.Sc. Lenin Quille Quille

Co-asesor: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

Juliaca, 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Huailapuma, A. (2023). Efecto de almidón de oca (*oxalis tuberosa*) y pectina de cáscara de naranja (*citrus sinensis*) sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de una biopelícula. [Tesis de pregrado en Ingeniería, Universidad Nacional de Juliaca]. Juliaca

AUTOR: Antoinette Solange Huailapuma Zapana

TÍTULO: Efecto de almidón de oca (*oxalis tuberosa*) y pectina de cáscara de naranja (*citrus sinensis*) sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de una biopelícula.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2023

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (133 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias-Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 03-00030-03/H82

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: M.Sc Lenin Quille Quille

CO-ASESOR: D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

PALABRAS CLAVES: Almidón, biopelícula activa, naranja, *Oxalis tuberosa*, pectina.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**“EFECTO DE ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*) Y PECTINA
DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*) SOBRE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS, MICROESTRUCTURALES
Y ÓPTICAS DE UNA BIOPELÍCULA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentada por:

Antoinette Solange Huailapuma Zapana

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. Adalht Jhony Arisaca Parillo

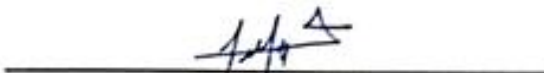
JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc Jose Manuel Prieto

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO

**M.Sc Lenin Quille Quille
ASESOR DE TESIS**



**D.Sc. Olivia Magaly Luque Vilca
CO-ASESOR DE TESIS**

NOMBRE DEL TRABAJO

Efecto de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y pectina de cáscara de naranja (Citrus sinensis) sobre I

AUTOR

Antoinette Solange Huailapuma Zapana

RECUENTO DE PALABRAS

26703 Words

RECUENTO DE CARACTERES

145972 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

133 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 12, 2024 9:38 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 12, 2024 9:40 AM GMT-5**● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales
Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A Dios que me dio salud, sabiduría, paciencia y lo más importante la fuerza e inteligencia para superar todos los obstáculos. A mis padres Luis y Carmen por apoyarme en mis mayores objetivos, por su amor y respaldo sin reservas.

A mis hermanos; Pedro Luis y Carmen Yohana, quienes me cuidaron, me molestaron, me ayudaron y me hicieron reír cuando estaba estresada, por confiar y creer en mí, por sus consejos dados durante toda mi vida, por enseñarme qué es la fuerza y la seguridad, pero sobre todo cómo desarrollar mis habilidades.

A mi abuela Sabina por su amor incondicional, cuidado y ayuda en los momentos más difíciles, quien siempre me animó a seguir trabajando para hacer realidad cada uno de mis sueños.

Al Ingeniero Fredy por sus consejos, tiempo, orientación y paciencia al realizar esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Universidad Nacional de Juliaca y a la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias por permitirnos utilizar sus laboratorios en este proyecto.

A mis mascotas: Bombon, Cobolt, Rocket y Ossiquin; por acompañarme cada mañana, aportándome calma y serenidad cuando estaba estresada, y lo más importante, por darme amor incondicional sin pedir nada a cambio.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi valioso asesor, M.Sc Lenin Quille Quille, por su apoyo, comprensión y enseñanzas durante el desarrollo de este trabajo.

A la D.sc Olivia Luque Vilca, mi coasesora, por su apoyo, disponibilidad y asesoramiento en la realización de esta investigación; Gracias.

Al Ingeniero Yimi, responsable de los laboratorios donde se realizaron las distintas pruebas de este trabajo, por su tiempo y su gran amabilidad.

A los miembros del jurado D.Sc Elizabeth Huanatico Suárez, M.Sc Adaliht Jhony Arisaca Parillo, M.Sc José Manuel Prieto por el tiempo disponible y las recomendaciones para mejorar esta investigación.

A mi tía Chani y mis primas Ale y Xiomi, gracias por cuidarme, darme apoyo y amor y darme la tranquilidad para perseguir mis metas.

Muchas gracias a mis amigos Astrid, Alonzo, Edwin y Peniel por apoyarme, tranquilizarme para que confíe en mí y animarme a continuar con esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE NOMENCLATURA.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. Pregunta general.....	2
1.1.2. Preguntas específicas.....	2
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. OCA (<i>Oxalis Tuberosa</i>).....	7
2.2.1. Clasificación taxonómica de la oca (<i>Oxalis Tuberosa</i>).....	7
2.2.2. Características de la oca.....	8
2.2.3. Composición química de la oca.....	9
2.2.4. Variedades de oca.....	9

2.3. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE OCA	11
2.4. POLÍMEROS	11
2.5. POLÍMEROS BIODEGRADABLES	12
2.6. ALMIDÓN	12
2.6.1. Estructura del almidón	12
2.7. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	13
2.7.1. Método seco	13
2.7.2. Método húmedo	14
2.8. ALMIDÓN DE OCA	14
2.9. BIOPELÍCULA	15
2.9.1. Tecnología de procesamiento de biopelículas.....	16
2.10. GELATINIZACIÓN	17
2.11. PLASTIFICANTES	17
2.11.1. Glicerina	17
2.12. NARANJA	18
2.13. PECTINA	18
2.13.1. Pectinas de bajo metoxilo.....	19
2.13.2. Pectinas de alto metoxilo.....	19
2.14. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	19
2.14.1. Hidrólisis ácida.....	19
2.14.2. Precipitación con acetona.....	20
2.14.3. Precipitación con sales metálicas	20
2.14.4. Precipitación con alcohol etílico	20
2.15. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	20
2.15.1. Humedad	20
2.15.2. Densidad.....	20
2.15.3. pH	20
2.15.4. Ceniza.....	20

2.15.5. Amilosa	21
2.15.6. Amilopectina	21
2.16. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DEL ALMIDÓN	21
2.16.1. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento	21
2.16.2. Temperatura de gelatinización	22
2.17. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA PECTINA	22
2.17.1. Viscosidad	22
2.17.2. Poder de gelificación	22
2.18. PROPIEDADES MECÁNICAS	22
2.18.1. Resistencia a la tracción	23
2.18.2. Elongación.....	23
2.19. PROPIEDADES MICROESTRUCTURALES	23
2.20. PROPIEDADES ÓPTICAS	24
2.21. BIODEGRADABILIDAD.....	24
2.22. TEXTUROMETROS.....	24
2.23. COLORIMETROS.....	25
2.24. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE COLOR.....	25
2.24.1. CIELAB.....	25

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1.1. Hipótesis general.....	26
3.1.2. Hipótesis específicas	26
3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO	26
3.2.1. Lugar de ejecución	26
3.3. MATERIALES	27
3.3.1. Materia prima.....	27

3.4. METODOLOGÍA PRELIMINAR.....	27
3.4.1. Análisis fisicoquímico del almidón de oca	31
3.4.2. Análisis de las propiedades tecnofuncionales del almidón de oca.....	32
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	34
3.5.1. Diseño experimental general.....	34
3.6. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS	36
3.6.1. Para el objetivo n°1	36
3.6.2. Para el objetivo n°2	40
3.6.3. Para el objetivo n°3	43
3.7. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS	44

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS PREVIOS	45
4.1.1. Propiedades fisicoquímicas de almidón de oca.....	45
4.1.2. Propiedades tecnofuncionales de la extracción de almidón de oca.....	47
4.1.3. Propiedades fisicoquímicas de pectina de cáscara de naranja	48
4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE ALMIDÓN DE OCA Y PECTINA..... DE CÁSCARA DE NARANJA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	49
4.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS	54
4.3.1. Propiedades ópticas de translucidez.....	54
4.3.2. Propiedades ópticas de color	54
4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES MICROESTRUCTURALES	56
4.4.1. Propiedades microestructurales.....	56
4.5. BIODEGRADABILIDAD.....	59

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	60
5.2. RECOMENDACIONES	61

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis químico proximal de la oca.	9
Tabla 2: Datos de la caracterización de tubérculos andinos y almidones.....	15
Tabla 3: Matriz de Diseño Central Compuesto	39
Tabla 4: Matriz de Diseño Completamente al Azar	41
Tabla 5: Ensayos fisicoquímicos de almidón de oca variedad Kellu Kayara.....	45
Tabla 6: Contenido de amilosa y amilopectina de almidón de oca variedad Kellu Kayara	46
Tabla 7: % CIA, % ISA, PH y TG de almidón de oca variedad Kellu Kayara.	47
Tabla 8: pH y TG de pectina de cáscara de naranja variedad Valenciana.....	49
Tabla 9: Propiedades mecánicas de las biopelículas de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja	50
Tabla 10: Valores de transparencia de las biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja	54
Tabla 11: Coordenadas CIELab de las biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja	55
Tabla 12: Biodegradabilidad de las biopelículas de oca y pectina de cáscara de naranja con adecuadas propiedades mecánicas.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planta de oca	9
Figura 2: Variedades de oca	10
Figura 3: Corte transversal de la naranja	18
Figura 4: Flujograma para la extracción de almidón de oca (Oxalis Tuberosa) variedad (Kellu kayara)	28
Figura 5: Flujograma para la extracción de pectina.....	30
Figura 6: Diagrama de flujo del diseño experimental para la obtención de una biopelícula a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja	34
Figura 7: Flujograma para la obtención de la biopelícula de almidón de oca (Oxalis tuberosa) variedad (kellu kayara) y pectina de cáscara de naranja.....	35
Figura 8: Diseño experimental para el objetivo N°1	38
Figura 9: Diseño experimental para el objetivo N°2	41
Figura 10: Diseño experimental para el objetivo N°3	43
Figura 11: Pectina Obtenida	49
Figura 12: Diagrama de Pareto para la Resistencia a la tracción	52
Figura 13: Gráfica de efectos principales para Resistencia a la tracción	52
Figura 14: Diagrama de Pareto para % de Elongación.....	53
Figura 15: Grafica de efectos para % de Elongación	53
Figura 16: Análisis microestructural de las biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cascara de naranja con adecuadas propiedades	57
mecánicas primera muestra	57
Figura 17: Análisis microestructural de la biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cascara de naranja con adecuadas propiedades	58
mecánicas segunda muestra.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Determinación del contenido de amilosa/amilopectina.	75
ANEXO 2. Determinación del índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento	76
ANEXO 3. Análisis de varianza para resistencia a la tracción	76
ANEXO 4. Gráfica del supuesto de independencia de residuos para resistencia a la..... tracción	77
ANEXO 5. Gráfica del supuesto de homocedasticidad para resistencia a la tracción ...	77
ANEXO 6. Gráfica del supuesto de normalidad para resistencia a la tracción.....	77
ANEXO 7. Prueba de comparaciones para Resistencia a la tracción	78
ANEXO 8. Gráfica de comparaciones para Resistencia a la tracción	78
ANEXO 9. Análisis de varianza para % de Elongación	78
ANEXO 10. Gráfica del supuesto de independencia de residuos	
para % de elongación.....	79
ANEXO 11. Gráfica del supuesto de homocedasticidad para % de elongación.....	79
ANEXO 12. Gráfica del supuesto de normalidad para % de elongación	79
ANEXO 13. Prueba de comparaciones para % de Elongación.....	80
ANEXO 14. Gráfica de comparaciones para % de Elongación	80
ANEXO 15. Análisis de varianza para transparencia	80
ANEXO 16. Gráfica del supuesto de normalidad para transparencia.....	81
ANEXO 17. Gráfica del supuesto de varianza constante para transparencia	81
ANEXO 18. Gráfica del supuesto de independencia para transparencia	81
ANEXO 19. Análisis de varianza para color L^*	82
ANEXO 20. Gráfica del supuesto de normalidad para L^*	82
ANEXO 21. Gráfica del supuesto de varianza constantes para L^*	82
ANEXO 22. Gráfica del supuesto de independencia para L^*	83
ANEXO 23. Análisis de varianza para a^*	83
ANEXO 24. Gráfica del supuesto de normalidad para a^*	83
ANEXO 25. Gráfica del supuesto de varianza constantes para a^*	84
ANEXO 26. Gráfica del supuesto de independencia para a^*	84
ANEXO 27. Análisis de varianza para b^*	84
ANEXO 28. Prueba de comparación de Tukey para b^*	84
ANEXO 29. Gráfica del supuesto de normalidad para b^*	85

ANEXO 30. Gráfica del supuesto de varianza constantes para b^*	85
ANEXO 31. Gráfica del supuesto de independencia para b^*	85
ANEXO 32. Balance de masa para biodegradabilidad	86
ANEXO 33. Corridas y datos obtenidos para propiedades mecánicas	87
ANEXO 34. Datos de color en los tres puntos que se midieron	90
ANEXO 35. Replicas de tratamientos para las propiedades fisicoquímicas..... del almidón de oca.....	91
ANEXO 36. Replicas de tratamientos para las propiedades tecnofuncionales del..... almidón de oca.....	91
ANEXO 37. Replicas de tratamientos para las propiedades..... fisicoquímicas de la pectina de cáscara de naranja.....	91
ANEXO 38. Panel fotográfico de equipos utilizados	92
ANEXO 39. Panel fotográfico del proceso de ejecución.....	95
ANEXO 40. Norma Estándar para biopelículas.....	108
ANEXO 41. USP29-NF24: Norma Estándar para pectina	109
ANEXO 42. Informe del laboratorio PANKARANA	110

ÍNDICE DE NOMENCLATURA

ASTM	: Procedimiento estándar de prueba para las características de resistencia de hojas delgadas de plástico.
CIA	: Capacidad de adsorción de agua
ISA	: Índice de solubilidad en agua
INEN	: Norma Técnica Ecuatoriana
TG	: Temperatura de gelatinización
PH	: Poder de hinchamiento
UE	: Normativa Europea
L*	: Luminosidad
a*	: Coordenadas cromáticas
b*	: Coordenadas cromáticas
c*	: Tonalidad
h*	: Ángulo de tonalidad
ΔE^*	: Variación de color

RESUMEN

Las biopelículas son una alternativa para reducir desechos contaminantes y el uso excesivo de plásticos. Los biopolímeros, como el almidón de oca, son gran fuente de amilosa/amilopectina. El trabajo de investigación se orientó a la evaluación del efecto de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de una biopelícula, utilizando un Diseño Central Compuesto (DCC), obteniendo un total de 13 tratamientos con diferentes porcentajes de almidón de oca y pectina de naranja, manteniendo constante los porcentajes de ácido acético, glicerol y agua. Seguidamente se procedió a la determinación de las propiedades mecánicas de las biopelículas, las mismas que fueron contrastadas mediante la norma ASTM (2012) D882-10. Según ANOVA presentó diferencias significativas respecto a la resistencia a la tracción y % de elongación ($P \leq 5\%$), los mejores tratamientos fueron T9 (4.93 N/mm² – 21.95%) y T5 (4.08 N/mm² – 20.14%), el análisis de las propiedades ópticas se llevaron a cabo mediante un espectrofotómetro y se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), se obtuvo valores entre 1.852 - 2.091 (A600/mm); para la evaluación del color se usó un colorímetro y mediante el sistema CIELAB se obtuvo valores cercanos al 100 para L*, valores positivos para a* y valores negativos y positivos para b*, los valores de c* fueron positivos mientras que los valores de h* variaron de amarillo a verde de tonalidad, finalmente las propiedades microestructurales fueron descritas mediante un análisis SEM, se obtuvo textura lisa, rugosa e irregular, en donde varió el tamaño de las partículas entre 0.8 - 1 μm . Se concluye que los componentes de la biopelícula lograron tener mejores efectos respecto a las propiedades mecánicas, ópticas y microestructurales que se evaluaron durante el proceso de construcción de la biopelícula.

PALABRAS CLAVE: Almidón, biopelícula activa, naranja, *oxalis tuberosa*, pectina.

ABSTRACT

Biofilms offer a different option for decreasing pollution from waste and the overuse of plastics. Biopolymers, such as goose starch, are a great source of amylose/amylopectin. The study's goal is to assess how goose starch and orange peel pectin impact the mechanical, microstructural, and optical characteristics of a biofilm, through the use of a Central Composite Design (CDC), obtaining a total of 13 treatments with different percentages of goose starch and orange pectin, keeping the percentages of acetic acid, glycerol and water constant. Next, the mechanical properties of the biofilms were determined, which were contrasted using the ASTM (2012) D882-10 standard. According to ANOVA, there were significant differences regarding tensile strength and % elongation ($P \leq 5\%$), the best treatments were T9 (4.93 N/mm² – 21.95%) and T5 (4.08 N/mm² – 20.14%), the Analysis of the optical properties was carried out using a spectrophotometer and the Completely Random Design (DCA) was used, values between 1,852 - 2,091 (A600/mm) were obtained; to evaluate the color, a colorimeter was used and using the CIELAB system, values close to 100 were obtained for L*, positive values for a* and negative and positive values for b*, the values of c* were positive while the values of h* varied from yellow to green in hue, finally the microstructural properties were described through an SEM analysis, a smooth, rough and irregular texture was obtained, where the size of the particles varied between 0.8 - 1 μm . It is concluded that the biofilm components managed to have better effects regarding the mechanical, optical and microstructural properties that were evaluated during the biofilm construction process.

KEY WORDS: Starch, active biofilm, orange, oxalis tuberosa, pectin.

INTRODUCCIÓN

Los bioplásticos degradables son aquellos que se descomponen químicamente bajo la acción de microorganismos en el ambiente sin o con oxígeno, dentro de estos polímeros naturales, el almidón se destaca por ser fácil de conseguir y económico de producir, puesto que tiene gran impacto sobre la producción de envases biodegradables; debido a que con él se pueden obtener biopelículas homogéneas, con baja influencia de oxígeno, dióxido de carbono y lípidos. En algunos estudios se han elaborado biopelículas a partir de materiales con un valor económico de obtención bajo, por ejemplo, como plastificantes se utilizó almidón de papa nativa, yuca, plátano, baba de nopal y glicerina o glicerina, lo que llevó a concluir que las biopelículas tenían excelentes propiedades fisicoquímicas, térmicas y mecánicas; Aplicaciones muy valoradas en el sector alimentario (Ortiz et al., 2015).

Una posible estrategia para incrementar las características de las biopelículas elaboradas con almidón es necesario crearlas combinándolas con otros materiales como la glicerina. La glicerina es un plastificante que puede reducir la atracción intermolecular y aumentar su elasticidad y resistencia a la rotura. Además, el uso de un material diferente mejora la gelatinización de las biopelículas de almidón, mejorando así propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción y el alargamiento, logrando así una mayor resistencia y propiedades de barrera (Bae et al., 2009).

La oca es un tubérculo que se encuentra en lo alto de los Andes, una de las fuentes de energía más importantes, y por crecer en latitudes altas sus rendimientos son altos, lo que la hace beneficiosa para nuestra región. Debido a la alta proporción de almidón, es el segundo polisacárido distribuido en las plantas, contiene alrededor de un 17-27% de amilosa como fuente de carbohidratos, siendo el resto amilopectina (FAO, 2006).

Las cáscaras de naranja son residuos que representan el 50-60% de los residuos. Se produce en grandes cantidades en la industria del jugo (SAGARPA, 2016) y contiene pectina. Está compuesto por ácido galacturónico con estructura α (1-4) y ramificaciones de azúcares neutros como ramnosa, arabinosa, xilosa y galactosa. Dentro de la industria alimentaria, sirve como agente gelificante, espesante, texturizador, emulsionante y estabilizante. Para el procesamiento de alimentos, la pectina se utiliza para formar biopelículas debido a su capacidad de unión molecular. Esto se debe a que presentan un

alto rendimiento y excelentes propiedades físicas, térmicas y mecánicas (Lopes *et al.*, 2017).

Se buscó evaluar el efecto que tiene el almidón de oca y la pectina de cáscara de naranja sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de la biopelícula.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la región de Puno la oca generalmente se produce para autoconsumo y su uso es limitado, además que el costo de valorización es muy bajo. La oca es uno de los tubérculos utilizados en estos últimos tiempos por su gran valor nutritivo, sin embargo poco estudiado en cuanto al uso de la amilosa y amilopectina que posee. Es el segundo tubérculo más producido dentro de la región teniendo gran disponibilidad de este mismo para su estudio (INEI, 2022), al igual que la naranja con una producción total de 553.000 toneladas (La cámara, 2021). Puno produce el 9% de las cuales son destinadas al consumo y otras utilizadas en los negocios de venta y elaboración de jugo, generando gran cantidad de desperdicio sin darle algún tipo de valor o utilizándolo en algún tipo de actividad de uso o consumo. En el estudio de Ríos (2017) por cada juguera, se genera de 10 a 15 kg de desperdicio generando la cantidad de 105 kg por semana, generando al mes 4.2 Tm lo que hace un total de 4200 kg.

Las necesidades dentro de nuestra región hacen necesario contribuir en la educación ambiental proporcionando una alternativa de aprovechamiento para los productores de oca y reducir los residuos generados por los expendedores de jugo, otorgándoles una alternativa óptima, mediante este trabajo se pretende darle gran impacto en la producción de oca y aprovechamiento de los residuos generados por la industria alimentaria desarrollando un material proveniente de una fuente natural y biodegradable capaz de reducir el impacto ambiental en cuanto a la utilización de energía y la generación de desechos como es la cáscara de naranja, generando un producto que será de mucha utilidad tanto en el presente como en el futuro.

Debido a lo planteado anteriormente surgen las siguientes preguntas de investigación:

1.1.1. Pregunta general

- ¿Cuál es el efecto de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de una biopelícula?

1.1.2. Preguntas específicas

- ¿Cuál es el efecto del porcentaje de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja sobre las propiedades mecánicas de una biopelícula?
- ¿Cuáles son las propiedades ópticas de translucidez de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas?
- ¿Cómo son las propiedades microestructurales de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de una biopelícula.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del porcentaje de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja sobre las propiedades mecánicas de una biopelícula.
- Analizar las propiedades ópticas de translucidez de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas.
- Describir las propiedades microestructurales de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El PET, el PS y PVC son polímeros sintéticos que se utilizan en la industria alimentaria, ya que son reciclables pero se biodegradan lentamente. Por ello se realizando investigaciones sobre la producción de bolsas biodegradables para congelar alimentos Royer *et al.* (2018). En consecuencia, la investigación para el desarrollo de polímeros biodegradables utilizando recursos naturales ha avanzado y se ha demostrado su capacidad para proteger los alimentos, lo que ha llevado al desarrollo de plásticos y películas plásticas de uso generalizado. Además almidones como el de plátano, maíz y patata son utilizados como sustitutos del envasado de

alimentos, por lo tanto existen métodos para la producción y procesamiento de películas a base de almidón, como ASTM-D-5488-944 (Ruiz, 2005).

Los polímeros son macromoléculas que son utilizados en los envases de los alimentos, la mayoría derivan del petróleo y las nuevas alternativas son de componentes naturales como es el caso de la celulosa y el almidón (Mark et al., 2001). Se han estudiado varios biopolímeros para el desarrollo de materiales biodegradables, los cuales tienen aplicaciones limitadas debido a sus bajas propiedades mecánicas, sin embargo existe la posibilidad de desarrollar biopelículas con propiedades estructurales adecuadas, dependiendo del tipo de hidrocoloide y plastificante a aplicar, para sustituir los envases comúnmente utilizados, entre ellos, el almidón de oca se utiliza como alternativa para el desarrollo de biopelículas debido a su alta proporción de amilosa a amilopectina y su alto contenido de almidón del 28,32%. Este último es un parámetro de biodegradabilidad (Apaza, 2018).

Por otro lado, se sabe que las frutas cítricas desechadas, como las cáscaras de naranja, tienen el potencial de utilizar pectina para el desarrollo de biopelículas porque sus propiedades causan diversos problemas ambientales, como la contaminación del suelo con un tiempo de descomposición de 6 meses. Por lo expuesto con la presente investigación se pretende desarrollar una biopelícula con adecuadas propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas, las cuales permitirán la continuidad de otros trabajos de investigación para el desarrollo de envases biodegradables.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Pires *et al.* (2011), caracterizaron películas biodegradables preparadas con proteínas de merluza y aceite de tomillo, las películas biodegradables de proteína de merluza que dentro de su elaboración contenían diferentes niveles de aceite de tomillo (0,025, 0,05, 0,1 y 0,25 ml aceite/g). Se investigaron sus propiedades físicas, mecánicas y antioxidantes. Las proteínas se disolvieron en NaOH a pH 11 y se añadió glicerol (59% del contenido de proteínas) como plastificante. La incorporación de aceite de tomillo disminuyó el grosor de la corteza y la capacidad de pasar vapor de agua. La película era homogénea, transparente y de color amarillo claro. Se observó que las propiedades ópticas de la película no fueron afectadas por la adición de aceite de tomillo. Se encontró una clara correlación entre la incorporación de aceite de tomillo y las propiedades mecánicas de las películas biodegradables. Las membranas de proteína de merluza mostraron cierta actividad antioxidante, que se mejoró con la adición de 0,25 ml de aceite de tomillo por gramo de proteína.

Maniglia (2017), investigó el aprovechamiento de residuos agroindustriales para producir películas biodegradables, utilizando residuos agroindustriales procedentes de la extracción de pigmento de cúrcuma y aceite de babasú. Se utilizaron tres métodos diferentes para separar los almidones de babasú y cúrcuma (molido ácido AS, molido alcalino KS y molido con agua WS). Se caracterizó la composición química y el color del residuo y del almidón. También se investigó el efecto de diferentes plastificantes (glicerina, sorbitol, urea y glucosa) sobre las propiedades de las películas de almidón de babuino. Se observó que las características finales de la película están influenciadas por las interacciones entre los componentes de la matriz: plastificante, almidón y agua. Se obtuvieron diversas respuestas para evaluar los resultados. El rango recomendado para las mejores películas es: 26 a 30 g de sorbitol/100 g de almidón con una temperatura de calentamiento de 78 a 80 °C. Las

películas hechas de almidón de cúrcuma deben calentarse durante 4 horas antes de procesarse. Las películas elaboradas con almidón de cúrcuma WS mostraron mayor flexibilidad, menor resistencia y rigidez, mayor solubilidad y humectabilidad, y las películas elaboradas con almidón de cúrcuma AS mostraron una mayor actividad antioxidante. La adición de almidón de yuca a la mezcla redujo la resistencia mecánica y la rigidez pero aumentó el alargamiento, la capacidad de disolución y la capacidad de dejar pasar el vapor de agua disminuyeron, mientras que la adición de almidón de cúrcuma incrementó la capacidad antioxidante de estos materiales. Se concluyó que estos tratamientos pueden permitir que el material lignocelulósico se integre mejor en la matriz de la película y libere el almidón, dando como resultado películas con mejores propiedades que las existentes.

Pastuizaca (2020), elaboró una película biodegradable a partir de oca (*Oxalis tuberosa*) y yuca (*Manihot esculenta*) para ser utilizada como envase de alimentos. Luego de cuatro tratamientos se obtuvieron bioplásticos, cada uno con una concentración diferente de almidón (8, 2% y 11,2%) y plastificantes (5,2% y 9,5%) con niveles estables de vinagre, agua, temperatura y tiempo. Se llevaron a cabo pruebas sensoriales que descubrieron la formación de biopelículas en los tratamientos realizados, con observaciones en las hojas de TP2Y y TP2O. Se notó que el plástico biodegradable era pegajoso al tacto y el TP3O se doblaba al secarse. Dos muestras fueron sometidas a pruebas mecánicas, arrojando un resultado TP4Y de 6,247, en un modo elástico TP1Y 2452. E+00 (MPa). En un entorno con oxígeno, las biopelículas se degradan en alrededor de 50 días a una presión de 0 MPa. Se determina que las biopelículas derivadas de la oca y la yuca tienen propiedades físicoquímicas y cualitativas dentro de los valores especificados.. Los cuatro tratamientos crean películas biológicas que son flexibles, transparentes y resistentes; TP2Y se siente pegajoso al ser tocado; mientras que TP2O tienen solubilidades que son mayores al 70%. TP1Y y TP4O no serían solubles en más del 70% y, por ende, deben ser eliminados antes de renovar el recubrimiento de alimentos. Una duplicación de TP3O puede ser detectada a través de pruebas sensoriales. En términos de propiedades de tracción, TP1O-TP1Y y TP4O-TP1Y mostraron una mejor elongación y transparencia de la biopelícula.

Anchundia *et al.* (2016), prepararon películas de cáscara de plátano en las que la harina de cáscara de plátano se caracterizó por su contenido total de almidón, amilosa aparente, índice de solubilidad y capacidad de hinchamiento, además evaluaron la resistencia a la tracción y la permeabilidad al vapor de agua, la opacidad, la solubilidad y el espesor. La harina de plátano presentó una alta concentración de almidón ($38,11\% \pm 3,9$) y amilosa aparente ($42,22\% \pm 2,18$), lo que la hace apropiada para la fabricación de recubrimientos comestibles. No obstante, tiene una baja solubilidad ($11,41\% \pm 0,27$) y capacidad de hincharse ($4,83\% \pm 0,15$). Las propiedades físicas de las películas comestibles preparadas fueron similares a las observadas en las capas de almidón puras, excepto en la permeabilidad al vapor de agua.

Acosta *et al.* (2018), examinaron el almidón de patata para la producción de bioplásticos. Se caracterizaron 5 variedades de papa del departamento de Nariño. Los resultados mostraron que el almidón de patata Richie tiene mayor potencial para la producción de bioplásticos que la variedad Betina. Teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas y funcionales, cinco variedades de patatas recibieron almidón apto para el desarrollo de bioplásticos. También descubrieron la temperatura ideal para la combinación de bioplástico se encontraba entre 60°C y 70°C ; sin embargo sin la adición de glicerina, el envase resultante tendrá menor consistencia o densidad.

Rodriguez *et al.* (2020), realizaron el estudio sobre el uso de almidón de patata en la producción de envases de espuma utilizando subproductos de la cocción de patatas al vapor. Los hallazgos indicaron que la combinación óptima era la que tenía 20% de mezcla de avena y goma xantana. En resumen, la espuma posiblemente logre emplearse para varios propósitos, como pequeños desechables, envases de alimentos secos y usos agrícolas, ya que ofrece una alternativa ecológica al disminuir los desechos de envases producidos por productos petrolíferos.

Charro (2015), desarrolló una película biodegradable utilizando almidón de patata. Para el estudio se eligieron patatas de la variedad Superchola debido a su alto contenido en almidón; como resultado, se encontró que la película con las mejores propiedades mecánicas en términos de resistencia al desgarro y resistencia al desgarro contenía 2.4% de glicerina, 8.5% de melamina y 2.4% de melamina. Contiene glicerol y 10.2% de melamina respectivamente. Se encontró que la glicerina

era el factor más importante en la alteración de las características físicas. Se concluyó que la degradabilidad mecánica, física y biológica de la pared cambió dependiendo de la concentración de almidón y plastificante.

Yoplac (2019), desarrollo una biopelícula activa utilizando aceite de citral micro encapsulado y su efecto sobre la contaminación microbiana del queso crema. Se caracterizaron el color, las propiedades mecánicas y la microestructura de biopelículas óptimamente activas. El queso se envaso en biofilm con MC, biofilm con vidrio citral y bolsas de polietileno. Sus perfiles físicos, sensoriales y microbiológicos fueron evaluados durante 14 días a 6°C. La condición óptima de microencapsulación fue la relación Ct: Dx.1:5 y TEA mostraron propiedades fisicoquímicas favorables y una amplia actividad antibacteriana a 187°C. Los modelos quimiométricos empleados para prever CSct demostraron coeficientes de determinación (R²) de entre 0.80 y 0.95, y las redes neuronales artificiales arrojaron los resultados más efectivos. Se alcanzaron las condiciones ideales para la biopelícula activa con una proporción CS: Sb de 1:0.91 y una proporción CS: MC de 1:0.95, manteniendo su color, propiedades mecánicas y estructurales, siendo así apta para envasar alimentos. El biofilm de queso con CM se distingue por tener menos microorganismos y propiedades físicas y organolépticas superiores, lo que aumenta la duración del producto hasta 14 días en condiciones óptimas.

2.2. OCA (*Oxalis Tuberosa*)

La oca es una planta herbácea que alcanza una altura de aproximadamente 20 a 30 centímetros y tiene tubérculos de 5 a 15 centímetros de largo de diversas formas y colores. En condiciones normales se obtienen 5 t/ha, en condiciones mejoradas 7 t/ha y experimentalmente 40 t/ha. (Giannoni, 2008). Crece en un clima templado frío a una altitud de 3000 a 4000 metros y es originaria de las montañas del Perú. La mayor distribución de especies de oca se puede observar entre los valles de Cusco y Ayacucho. (Cajamarca, 2010). La fase de crecimiento de las primeras plantas dura aproximadamente 220 días y los últimos 269 días.

2.2.1. Clasificación taxonómica de la oca (*Oxalis Tuberosa*)

Según Brako & Zarucchi (1993), la oca es una planta que se encuentra en zonas agroecológicas a temperaturas frías y alturas alrededor de hasta los 1000 msnm, a continuación se observa su taxonomía

Dominio: *Eukaryota*

Reino: *Plantae*

Filo: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Geraniales*

Familia: *Oxalidaceae*

Género: *Oxalis*

Especie: *Oxalis Tuberosa*

Nombre científico: *Oxalis Tuberosa*

2.2.2. Características de la oca

Oxalis es una planta continua que al inicio de su desarrollo presenta tallos erguidos para luego caer al suelo. La gente la cultiva por sus raíces crujientes y comestibles, ya que la planta almacena almidón en el invierno cuando no está creciendo. Los tubérculos son ovalados o cilíndricos y vienen en varios colores como blanco, amarillo, rojo, morado, etc. Su longitud varía de 5 a 7.5 cm y su diámetro varía de 2.5 cm, 5 a 3.75 cm. Crece en altitudes elevadas de 2.500 a 4.000 m.s.n.m y en ocasiones tiende a crecer en suelos de peor calidad. Una de sus ventajas es que es más resistente a las plagas que las papas con menor contenido en grasa, poseen una gran fuente de energía y contiene los llamados antioxidantes naturales. (FAO, 2020).



Figura 1: Planta de oca
FUENTE: FAO (2020)

2.2.3. Composición química de la oca

Presenta un rendimiento, sabor atractivo y calidad nutritiva; es uno de los cultivos más apreciados dentro de la alimentación andina, en sus diferentes formas de consumo (soleado, coccionado o liofilizado) (Gerencia Regional de Agricultura, 2019)

La oca posee un contenido de agua superior al 80% y su valor nutricional es similar al de la patata y varía según el genotipo y la fuente de obtención; es rico en azúcar y grasas digeribles, fibra y 1,0% de cenizas, el contenido de proteínas puede variar según la variedad de oca (Campos et al., 2018).

La composición químico proximal de la oca (*Oxalis tuberosa*) aporte por cada 100 gramos, se observa en la Tabla 1.

Tabla 1: Análisis químico proximal de la oca

	Oca fresca
Humedad (%)	80.26
Materia seca (%)	19.74
Proteína (N x 6.25) (%)	1.40
Fibra (%)	0.65
Cenizas (%)	0.60
Carbohidratos (%)	96.85
Grasa (%)	0.50
Energía (Kcal /100 g)	390.30
Acidez (%)	0.00
Impurezas macroscópicas (%)	0.00

FUENTE:INIA (2004)

2.2.4. Variedades de oca

Según el investigador Cajamarca (2010), señala que hay aproximadamente 50 tipos de oca, aunque se reconocen tres formas fundamentales.

- Albas: Se denominan así debido al color blanco.
- Flavas: Son denominadas las ocas que son de color amarillo claro, pigmentadas de flavonas de color amarillo intenso y naranja que contienen pigmentos carotenos.
- Rose violáceas o negras: Son ocas que tienen el color predominante de las antocianinas y va de rosa brillante a púrpura muy oscuro a negro.

Se han descrito alrededor de 12 variaciones de color en las ocas, los colores incluyen blanco, amarillo, amarillo naranja, rojo naranja oscuro, rosa, rojo claro, rojo, rojo violeta y gris violeta. Sin embargo, los tubérculos también pueden mostrar una decoloración secundaria en los ojos o alrededor de ellos. Estas coloraciones pueden afectar la diversidad de ocas. Por este motivo, sólo cuatro clases son relevantes: blanco, amarillo, rojo y morado Cajamarca (2010). Sin embargo, los agricultores encuentran variedades en los siguientes colores: blanco, amarillo, rosa, sorgo, canela y rojo. Por ejemplo, tienen una forma característica que ofrecen, una de las categorías especiales de color blanco y amarillo se llama “cañareja”, la cual se caracteriza por ser bastante gruesa y más eficiente en cuanto a rendimiento. Las ocas rojas se caracterizan por tener un tono diferente en comparación con las ocas que tienen diferentes tonos, que tienen ojos o manchas de colores mezclados. (Suquilanda, 2018).

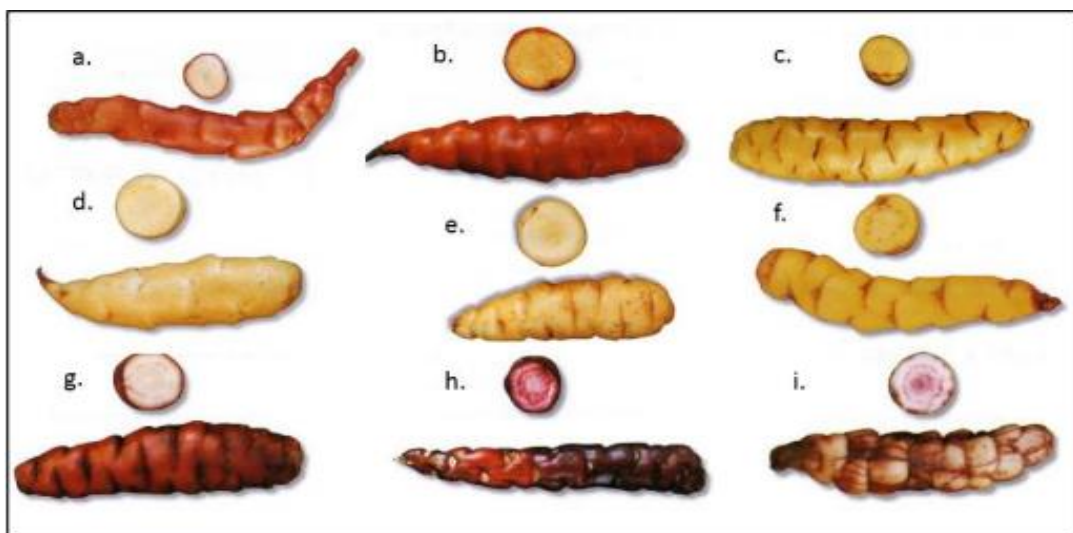


Figura 2: Variedades de oca

FUENTE: Tapia & Fries (2007)

2.3. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE OCA

Una de las maneras primordiales en que las familias pobres de la sierra del Perú obtienen dinero, es la producción de oca y para algunas comunidades es importante preservar las variedades tradicionales de estos tubérculos para garantizar la seguridad alimentaria antes del consumo. La producción agrícola andina se divide en cultivos prioritarios y producción marginal, ya que el intercambio se produce a nivel de los hogares, donde los agricultores asignan su producción para su propio consumo y la venden en el mercado. Sin embargo, debido a las limitaciones de los conocimientos tradicionales y su aplicación, los hogares agrícolas producen sólo para sus propias necesidades y tienen oportunidades de ingresos muy limitadas. Por lo tanto, existe la necesidad de conocer más sobre este tubérculo con alto potencial de producción, utilizarlo más y conservarlo de una manera más sostenible (Hermosa, 2013).

Como es habitual, la cosecha comienza en agosto debido a la temporada agrícola, con la plantación de 7 670 hectáreas de cultivos transitorios principales en todo el Perú. La provincia de Puno, la principal productora de oca del país, representa casi el 30% de la producción total del país. Sin embargo, debido a la disminución de las áreas cosechadas y al lento crecimiento del rendimiento por hectárea, la producción ha disminuido en un promedio del 0,4 % anual en los últimos diez años. La superficie cosechada para el año 2022 fue de 3485 (Sup/ha), con un rendimiento de 8798 (kg/ha) (MIDAGRI, 2023).

2.4. POLÍMEROS

Las macromoléculas llamadas polímeros se componen de una combinación repetida de moléculas conectadas por enlaces covalentes. La reacción de polimerización es la reacción que resulta en su formación. Los polímeros pueden provenir de proteínas estructurales como colágeno, queratina y elastina, o de proteínas de almacenamiento como enzimas y hormonas. También pueden provenir de polisacáridos estructurales como la celulosa y la quitina o de polisacáridos de almacenamiento como el almidón y el glucógeno, así como de ácidos nucleicos como el ADN y el ARN (Sarkar y Pérez, 2012).

Por otro lado, los biopolímeros tienen la capacidad de degradarse por completo en el medio ambiente, lo que reduce su impacto ambiental. Factores como el agua, la

temperatura o los microorganismos pueden hacer que se descompongan más rápidamente (Pertuz, 2021).

2.5. POLÍMEROS BIODEGRADABLES

Según la norma ASTM D6400, Los polímeros biodegradables son aquellos que los microorganismos pueden degradar en presencia de CO₂, metano, agua, componentes inorgánicos o biomasa. Los polímeros tienen la capacidad de degradarse y biodegradarse mediante métodos como el compostaje, con una tasa de descomposición igual o inferior a la de los materiales orgánicos compostables (Campuzano, 2018). Hay tres fuentes diferentes: animales (colágeno o gelatina), marinas (quitina o quitosano) y agrícolas (lípidos como la cera de abejas y el carnauba; e hidrocoloides como proteínas, polisacáridos como celulosa, fibra, pectina, resinas y almidón). (Wu *et al.*, 2007).

2.6. ALMIDÓN

Es un polisacárido con moléculas de glucosa como componentes estructurales. Se presenta en forma de gránulos de forma irregular y redonda. Es un tipo de carbohidrato que se puede encontrar en las reservas vegetales. Se produce a partir de tubérculos y raíces. La humedad, las proteínas, los lípidos, los minerales y la fibra son características de los carbohidratos. (Charro, 2015).

El almidón de desechos agrícolas como cáscaras, semillas o celulosa añadida es una fuente importante para la producción de biopelículas. Al ser un carbohidrato polimérico, el almidón tiene muchas unidades de glucosa conectadas por enlaces glicosídicos, lo que lo hace muy importante. Es renovable porque es biodegradable, lo que significa que vuelve a la naturaleza en forma de agua y dióxido de carbono, lo que reduce la contaminación ambiental. (Mongui & Quintero, 2021).

2.6.1. Estructura del almidón

El contenido de glucosa en el almidón se divide en dos partes: amilosa y amilopectina. Su composición cambia dependiendo de la procedencia de los materiales y el método de extracción utilizado. Las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón se basan en su contenido de amilosa y su grado de polimerización, que es el número total de residuos de anhidro glucosa dividido por el número de extremos reductores Delpeuch & Favier (1980).

Los polímeros de amilosa suelen apilarse muy juntos en paralelo debido a su linealidad, lo que forma enlaces de hidrógeno con los grupos hidroxilo del polímero. Esto ayuda a la creación de zonas cercanas que disminuyen su atracción hacia el agua. El crecimiento de la agregación de polímeros en solución diluida puede incrementarse debido a la precipitación; en términos generales, la amilosa en su forma lineal favorece la creación de una película resistente. Sin embargo, la amilopectina está formada por aproximadamente 100.000 moléculas de glucosa y cuenta con enlaces α -D-(1→6). La ramificación de la amilopectina interfiere con la tendencia de los polímeros a orientarse muy cerca y reduce su movilidad. Esto provoca la formación de niveles significativos de enlaces de hidrógeno. Por lo tanto, la transparencia y la estabilidad de las soluciones acuosas definen su resistencia a la gelificación durante el almacenamiento (Aristizábal & Sánchez, 2007).

2.7. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Los almidones de raíces y tubérculos son mucho más fáciles de obtener, lo cual es una gran ventaja en las zonas rurales porque para obtenerlos sólo hay que molerlos, tamizarlos, separar el agua y el almidón, precipitarlos y finalmente secarlos (Alarcón & Dufour, 1998).

El método de extracción y evaluación del almidón varía según el proceso utilizado. El método descrito por Watson e Hirata utiliza un proceso de molienda con una solución de ácido láctico y dióxido de azufre, sin embargo, el proceso de nixtamalización altera el almidón de maíz. (Salinas *et al.*, 2003). Con respecto al método de extracción Cobana & Antezana (2007) describen uno seco para extraer almidón de yuca, lo que resultó ser un producto de alta calidad; sin embargo, la molienda húmeda fue necesaria y el resultado fue un almidón modificado con contenido de azúcar. Para extraer cualquier raíz o tubérculos, tanto el método seco como el húmedo son bastante fáciles.

2.7.1. Método seco

Básicamente consiste en secar las materias primas, molerlas, extraer la harina durante este proceso y luego tamizarla para extraer el almidón. Se fomenta el desarrollo de métodos como limpieza, selección, pelado, etc., que ayuden a obtener productos con características de calidad teniendo en cuenta las operaciones de pequeña escala que intervienen en todo el proceso (Mazzeo *et al.*, 2008).

2.7.2. Método húmedo

Reducir el tamaño y la forma de las raíces o tubérculos, retirar los componentes del fruto de un medio líquido y luego limpiar y lavar el material depositado, lo que ayuda a eliminar el almidón húmedo. Finalmente, se somete al proceso de secado (Mazzeo et al., 2008).

2.8. ALMIDÓN DE OCA

Debido a su alta proporción de amilosa/amilopectina y a que requiere poca energía para alcanzar el punto de gelatinización, la oca es una excelente fuente de almidón. La oca tiene una alta viscosidad en comparación con el almidón de papa, maíz y trigo. Según Fairlie *et al.* (1999), evaluaron la idoneidad, las propiedades y las características de los almidones de Melloco y Oca y, debido a que sus gránulos eran mucho más grandes que los demás almidones evaluados, obtuvieron un rendimiento de 14.18, según otros estudios, el rendimiento del almidón de oca es del 10 al 16 %. Además, en comparación con las patatas y el trigo, la masa elaborada con almidón de oca es opaca porque las cantidades se utilizan a altas temperaturas, lo que impide la formación de una masa pegajosa (Hernández et al., 2004b), aislaron almidón de oca con una pureza del 90.5%, en contraste al estudio de (Valcárcel *et al.*, 2013), encontró un 27.6% de amilosa y un 76.99 % de amilopectina.

Tabla 2: Datos de la caracterización de tubérculos andinos y almidones

Características del almidón	<u>Mashua</u>	Oca	Olluco
Rendimiento (g/100gs, bs)	21.41 ^a	32.20 ^b	51.53 ^c
Humedad almidón (g/100g, bh)	6.29±0.26 ^a	7.32±0.24 ^b	7.04±0.43 ^b
Transparencia (%) ^a	23.44±0.11 ^a	74.91±0.15 ^b	84.23±0.12 ^c
Amilosa aparente (g/100 g, bh)	26.13±0.18 ^b	23.01±0.18 ^a	22.87±0.18 ^a
Amilopectina (g/100 g, bh)*	73.87	76.99	77.13

FUENTE: Valcárcel *et al.* (2013)

2.9. BIOPELÍCULA

Las biopelículas son láminas flexibles compuestas por macromoléculas biológicas que pueden formar una matriz continua (Buensuceso, 2010). Debido a que tienen una o más capas delgadas de material, pueden impedir la transferencia de agua, gases y solutos de alimentos (Escobar, 2020). Representan una alternativa para reemplazar los envases convencionales o, en algunos casos, mejorar el producto al evitar la deshidratación y pérdida de fragancia, la movilidad de grasas y la transferencia de gases fundamentales para el proceso de respiración de los alimentos, como el oxígeno y el etileno. Esto reduce los costos de producción y facilita la adquisición de materias primas de manera rápida y sencilla (Camacho *et al.*, 2011), se indica que se utilizan polímeros o biopelículas biodegradables como películas activas, que mejoran las propiedades organolépticas de los alimentos como la fuerza cohesiva, la capacidad de fusión y las propiedades organolépticas como el aroma, la apariencia y el sabor.

Las biopelículas y los recubrimientos comestibles difieren en cómo se producen y se aplican a los alimentos. La película es una fina capa de sustancia comestible que se crea de forma individual y se coloca en una superficie plana para ser utilizada más adelante. El recubrimiento se aplica a las superficies de los alimentos sumergiéndolos en una solución o rociándolos. Sin embargo, se utilizan los mismos materiales: el polímero, el disolvente y el plastificante. Los recubrimientos y las biopelículas son alternativas para mejorar y potenciar la calidad de los alimentos durante el procesamiento, el transporte y el almacenamiento, así como durante los tratamientos previos y posteriores a la cosecha (Solano *et al.*, 2018).

2.9.1. Tecnología de procesamiento de biopelículas

La formulación de almidón, proteínas (gelatina, proteína de soja, proteína miofibrilar, colágeno, etc.) y el uso de materiales compuestos o sus mezclas se han centrado en el desarrollo y aplicación de biomateriales como envases biodegradables o sus mezclas sugeridas (Almeida, 2001). Aunque hay muchas técnicas diferentes para revelar películas a partir de diferentes materias primas, el casting, el coater, la extrusión y el spinning electro son las técnicas más comunes. La técnica de casting, la cual ha sido desarrollada y es de uso sencillo, implica verter un líquido en un molde que se mantiene en condiciones particulares con el fin de producir un material sólido de manera similar al molde. Las ventajas de la fundición en cinta incluyen una distribución uniforme del espesor, una excelente planitud y estabilidad dimensional de la película. (Mohanty *et al.*, 2000).

Las películas también pueden utilizar la tecnología coater que se produce a mayor escala en lugar de la técnica de casting (Scheibe *et al.*, 2014). Esta tecnología permite que las suspensiones se propaguen en una variedad de soportes y cintas transportadoras continuas, además de controlar el grosor de la membrana de la biopelícula en la parte inferior del bloque de transmisión (también conocido como hoja) (De Moraes *et al.*, 2013).

La extrusión es una técnica utilizada para fabricar envases de plástico; el proceso utiliza uno o dos tornillos giratorios para aumentar gradualmente la presión para mezclar los ingredientes. Para producir polímeros comerciales, se puede ampliar la matriz utilizando un mezclador. (Espitia *et al.*, 2014).

2.10. GELATINIZACIÓN

En esta etapa inicial, el agua se expande dentro de la zona amorfa de las partículas de almidón, ocasionando un primer aumento temporal de volumen. Durante la cocción, la amilosa se combina y el almidón se convierte en una dispersión coloidal con una fase disolvente alta en amilosa y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados con mucho contenido de amilopectina. La disposición de las moléculas en los gránulos permite que el almidón mantenga sus propiedades ópticas, como la capacidad de refractar la luz (Aristizábal & Sánchez, 2007). La temperatura aumenta y se retiene más agua, lo que hace que las partículas se hinchen y aumenten de volumen. Tanto la fracción de volumen como la morfología juegan un papel importante en la manifestación de un comportamiento reológico entre las dispersiones del almidón. (Meneses *et al.*, 2007).

El almidón de algunos tubérculos, especialmente la yuca, se gelifica rápidamente a temperaturas relativamente bajas (62 a 73 °C), es fácil de cocinar y consume menos energía al cocinarse. Además, es menos probable que se encoja y produce geles más estables y transparentes que otros almidones nativos (Whistler *et al.*, 1984).

2.11. PLASTIFICANTES

Un plastificante es un compuesto que se agrega con el fin de incrementar su maleabilidad y simplificar su modificabilidad. También ayuda a producir temperaturas de transición más bajas, módulos de elasticidad y viscosidad (Beltrán y Marcilla, 2011). Los polioles como sorbitol y glicerina son plastificantes efectivos porque reducen los enlaces de hidrógeno internos al tiempo que aumentan el espacio intermolecular, lo que evita que la película se agriete durante el procesamiento y el almacenamiento. El uso de agua como plastificante es muy común en la creación de biopelículas para deconstruir el almidón de la mezcla y producir almidón termoplástico. El propósito de usar agua como plastificante es garantizar que la biopelícula tenga las mejores propiedades mecánicas posibles, ya que es el plastificante más utilizado y fácil de obtener (Trujillo, 2014).

2.11.1. Glicerina

Está formado por tres grupos hidroxilos y es viscosa, incolora y no tóxica. Tiene un olor distintivo y se descompone en agua a altas temperaturas. Debido a su composición, ayuda a la movilidad de las cadenas poliméricas de almidón y proporciona suavidad y humectación al almidón, lo que lo convierte en un

plastificante (Méndez, 2010). Es utilizado, al igual que el agua, en la producción de polímeros termoplásticos para suavizar el almidón y mejorar la flexibilidad, además de alargar las películas con gran cantidad de almidón (Protzman et al., 1967).

2.12. NARANJA

El naranjo es una pequeña planta que viene de Asia y pertenece a la familia Citrus. Mide entre 6-10 metros de altura y tiene un tronco gris y liso, a veces espinoso. El fruto de azahar tiene flores blancas que se conocen como azahar. Este fruto es redondo y de color naranja y tiene un exocarpo con aceites esenciales, un mesocarpo blanco y ampuloso y un endocarpio con jugo y pulpa. (Del Angel, 2019).

Seguidamente en la figura 3, se muestra la sección transversal de la naranja.



Figura 3: Corte transversal de la naranja

FUENTE: Ramírez-Gavidia *et al.* (2020)

2.13. PECTINA

La pectina es un carbohidrato refinado que se extrae de los ácidos diluidos del interior del bagazo y la cáscara de las manzanas. Aunque varía según la temporada y el tipo de fruta, las cáscaras de los cítricos tienen un alto contenido de pectina. La pared celular puede absorber mucha agua porque está unida a la celulosa. La pectina proporciona textura y la celulosa sirve como estructura. La pectina insoluble de los frutos, conocida como protopectina, se puede convertir en una forma soluble mediante hidrólisis suave (Mondovi, 2007). El material mucilaginoso de las plantas superiores es un carbohidrato purificado que se extrae de la piel interna de las frutas, especialmente las frutas cítricas, que es rica en polisacáridos. Un factor crucial que determina el uso de este polisacárido es el grado de esterificación. El uso de la

metoxipectina alta y la metoxipectina baja varía debido a las diferencias en sus características físicas (Hosseini *et al.*, 2019)

2.13.1. Pectinas de bajo metoxilo

La mayoría de estas pectinas tienen grupos carboxilo libres, menos de la mitad de los grupos hidroxilo se convierten en ésteres con metanol. Como resultado, pueden formar cationes como moléculas de pectina y formar geles. Debido a que este valor de pH no afecta la textura ni la cantidad de sólidos solubles, los geles pueden formarse a niveles de pH de 1 a 7 (Vaclavik, 2002).

2.13.2. Pectinas de alto metoxilo

Las pectinas de alto metoxilo presentan al grupo carboxilo esterificado en cantidad, lo que significa que los grupos ácidos no pueden formar enlaces cruzados ni formar geles de la misma manera que las pectinas con valores reducidos de metoxilo. La formación de geles está influenciada según el grado de esterificación, ya que una mayor esterificación requiere una temperatura de gelificación más alta. Sin embargo, el pH de estas pectinas es importante, ya que solo se pueden formar geles entre 2.8 y 3.5 (Vaclavik, 2002).

2.14. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Los métodos tradicionales de extracción de pectina incluyen hidrólisis, precipitación con alcohol, secado y molienda. La hidrólisis es un proceso que convierte moléculas grandes en moléculas fácilmente degradables rompiendo sus enlaces con ácidos orgánicos como ácido cítrico, ácido acético o utilizando minerales (HCl, HNO₃, H₂SO₄) en un ambiente caliente y liberando azúcares en materiales lignocelulósicos o almidones en el mismo tiempo. (Rodríguez & Román, 2004).

2.14.1. Hidrólisis ácida

La extracción implica la hidrólisis, separación y recuperación de la pectina. Esto ocurre cuando la protopectina se hidroliza en medio ácido diluido y se hidroliza a altas temperaturas, lo que elimina la pectina y otros componentes, como polisacáridos neutros y gomas (Hart & Fisher, 1991). En presencia de agua, los enlaces se rompen y se forman uno o más compuestos; las moléculas de almidón y celulosa se despolimerizan al exponerse a un ácido diluido; y los enlaces se hidrolizan (Senit *et al.*, 2019).

2.14.2. Precipitación con acetona

Se utiliza para precipitar la pectina otorgándole una coagulación más simple sin embargo al utilizar este método se pueden precipitar otros componentes no pépticos.

2.14.3. Precipitación con sales metálicas

Se utiliza el sulfato de cobre y alumbre se obtiene un gran resultado sin embargo el inconveniente es que podría ocurrir la remoción posterior del metal.

2.14.4. Precipitación con alcohol etílico

Con este método se puede precipitar la pectina desde la misma fuente vegetal, este método depende de la cantidad de esterificación y presencia de electrolitos.

2.15. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

2.15.1. Humedad

El procedimiento se fundamenta en la evaluación de la gravedad, que es la pérdida de masa de la muestra cuando se seca a una temperatura específica hasta que el peso se mantiene constante. Este proceso se puede realizar en vacío o bajo presión atmosférica. (AOAC, 2000).

2.15.2. Densidad

La densidad aparente del almidón es el peso del almidón que ocupa un volumen conocido. Esto se puede determinar de dos maneras: con almidón suelto y almidón envasado (Smith, 1967).

2.15.3. pH

Los niveles ácidos titulables se basan en la cantidad de ácidos presentes, el pH indica si una muestra es ácida o alcalina. El pH se mide con un pHmetro, y la acidez titulable se mide titulando hidróxido de sodio al cambio final con fenolftaleína. La acidez titulable se calcula utilizando la presencia del ácido láctico. (INEN, 2013).

2.15.4. Ceniza

Este método de análisis da una estimación del material mineral que hay dentro. Los metales, las sales y los oligoelementos presentes en la muestra de almidón tienden a perder peso al someterse al calor. (AOAC, 2000).

2.15.5. Amilosa

Se forma a partir de la condensación de cadenas D-glucopiranosas con enlaces glucosídicos, lo que da como resultado cadenas grandes lineales de 200-500 unidades donde la unidad principal es la α -maltosa. Es considerado lipolítico porque tiene una hélice con 6 moléculas de glucosa y una hélice interior con moléculas de hidrógeno. La mayoría de los almidones contienen entre el 17% y el 25% de amilosa (León & Moscicki, 2009).

2.15.6. Amilopectina

Su estructura molecular parecida a la de un árbol con ramificaciones conectadas por enlaces como los de la amilosa. Los enlaces se encuentran cada 25–30 unidades lineales de glucosa, y según la composición de los almidones, la amilopectina representa entre el 75% y el 83%. (León & Moscicki, 2009).

2.16. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DEL ALMIDÓN

La relación entre la amilosa y la amilopectina es clave para los atributos tecnológicos del almidón. La proporción de amilosa a amilopectina es constante en toda la familia de especies de amilopectina, pero puede variar según la especie y la planta de la misma variedad. Los atributos tecnológicos (solubilidad, poder para retener agua, capacidad de hinchamiento, propensión a la retrogradación) del almidón de oca deben tenerse en cuenta para evaluar su alta capacidad y aprovechamiento. Estas características varían según la edad de la planta, la época de cosecha, la fertilidad del suelo y las precipitaciones. (León & Moscicki, 2009).

2.16.1. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento

Los gránulos se hinchan de la siguiente manera cuando se calienta la suspensión acuosa de almidón: La absorción ocurre lentamente hasta que pueden crecer de tamaño. Estos indicadores se calculan utilizando la absorción de agua de los gránulos y el almidón. La fracción aumenta con la temperatura (Anderson *et al.*, 1970). La licuabilidad de los polímeros es más complicada que la de los compuestos de bajo peso molecular debido a su mayor tamaño molecular. La solución ha sido elaborada de forma distinta y se desintegra con mayor facilidad; investigar más acerca de esta característica puede influir en la función final de la biopelícula y en su idoneidad como revestimiento para alimentos con baja o alta humedad. Además,

si las biopelículas son menos solubles, podrían utilizarse como envases o plásticos de un solo uso. (Palma *et al.*, 2017).

2.16.2. Temperatura de gelatinización

En agua fría, los granos de almidón no se disuelven; sin embargo, cuando se calienta, los granos alcanzan una temperatura alta que los hace hinchar. Esta temperatura es conocida como la temperatura de gelatinización. (Grace, 1977). La temperatura aumenta y el agua se retiene, lo que hace que las partículas se hinchen y aumenten de volumen. Para que la biopelícula tenga características similares a las de un polímero, se debe considerar esta temperatura ya que tiene una relación con la concentración de almidón, lo que provoca la formación de una estructura granular de gel (Quintero & Ramírez, 2013).

2.17. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA PECTINA

2.17.1. Viscosidad

La viscosidad de las soluciones de pectina depende del peso de las moléculas, el grado de esterificación y el pH. Las pectinas completamente esterificadas no experimentan cambios notables en su viscosidad cuando cambia el pH, pero si cambia el grado de esterificación, la capacidad de formar geles dependerá del pH. (Cubero *et al.*, 2002).

2.17.2. Poder de gelificación

El poder de gelificación de un ácido peptídico depende de su tamaño molecular y comportamiento coloidal, así como de su pureza. Sin embargo, no se sabe muy bien cómo se relacionan estas características, pero si la relación entre la formación de redes tridimensionales de una cadena molecular y la cantidad de agua, azúcar y otros solutos unidos por puentes de hidrógeno (Ortuño, 1999).

2.18. PROPIEDADES MECÁNICAS

Para proteger los alimentos y facilitar su preparación, las películas de almidón deben ser resistentes al desgarro y a la abrasión. La forma en que se fabrican las películas delgadas y su estructura determinan sus propiedades mecánicas. Para evitar que se rompan, sus enlaces moleculares deben estar conectados entre las cadenas de polímeros. (Mali *et al.*, 2005).

La adición de plastificantes aumentará la flexibilidad, pero reducirá su resistencia mecánica. Para determinar el impacto de las fuerzas mecánicas externas, se utilizarán ensayos de tensión-deformación, que dependerán del espesor y las

propiedades de los materiales utilizados en la formación de la biopelícula. (Mali *et al.*, 2005).

2.18.1. Resistencia a la tracción

Determina la resistencia máxima a la que puede llegar el objeto o la ruptura o desgarro de la biopelícula (Wang *et al.*, 2007). La máquina utilizada para llevar a cabo pruebas de tracción consiste en un brazo estacionario y un brazo móvil, ambos equipados con mordazas para sujetar las muestras. Las muestras utilizadas se preparan generalmente por inyección o compresión para extraer los componentes de las áreas deformadas (Beltran & Marcilla, 2002).

2.18.2. Elongación

Método que mide la capacidad de cambio de longitud de la biopelícula antes de romperse (Wang *et al.*, 2007). Dado la presencia de plastificantes y el contenido de humedad en ciertas cadenas de almidón, el aumento en la elongación de rotura está relacionado con un aumento en la facilidad de transición de las cadenas de almidón (Mikus *et al.*, 2014).

2.19. PROPIEDADES MICROESTRUCTURALES

La fusión del almidón comienza en la cola o hilio, donde se deposita el almidón y forma anillos de crecimiento concéntricos, que rotan fracciones amorfas y cristalinas. Según su diámetro esférico equivalente promedio, los gránulos de almidón se pueden clasificar en muy pequeños (menos de 5 m), pequeños (5 a 10 m), medianos (10 a 25 m) y grandes (más de 25 m) (Lindeboom *et al.*, 2004).

La composición y el proceso de fabricación de un plástico están relacionados con su estructura, que es crucial para sus propiedades. La microscopía electrónica de barrido (SEM), que estudia estructuras internas o superficiales, es el método más popular para caracterizar materiales. En comparación con las imágenes de proyección de microscopía de transmisión y las imágenes de alta resolución, las imágenes tienen una gran profundidad de foco, lo que significa que se pueden obtener realces de la superficie, imágenes 3D (Canevarolo, 2003).

2.20. PROPIEDADES ÓPTICAS

Se realiza con la finalidad de observar variaciones en la coloración, realizando mediciones mediante el uso de un colorímetro mediante el sistema CIELab (Arrieta *et al.*, 2013). Las características visuales, como el resplandor y la tonalidad, son aspectos que realzan la apariencia del producto y su aceptación por parte de los consumidores. El contenido de almidón en la película afecta las propiedades ópticas, por lo que se debe tener en cuenta ambos factores al diseñar la biopelícula (Raj & Somashekar, 2003)

2.21. BIODEGRADABILIDAD

La biodegradabilidad de un material hace referencia a su capacidad de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua, componentes orgánicos o biomasa. La principal manera en la que los microorganismos actúan es a través de enzimas, la cual se puede evaluar con pruebas estándar en un lapso de tiempo que representa las condiciones óptimas de conservación ASTM (2018).

La degradación de las biopelículas se vincula directamente con la cantidad de glicerina empleada en cada prueba, ya que una mayor cantidad de glicerina significa que la lámina es más biodegradable. Para facilitar la degradación, el almidón debe combinarse con otros tipos de materiales para aumentar la retención entre la biopelícula y el material que se degrada, lo que permite una mayor aireación y drenaje (Sernaqué *et al.*, 2020).

2.22. TEXTUROMETROS

Un medidor de textura es la herramienta más utilizada para determinar la configuración de textura requerida. Se desarrolló un texturómetro para simular un bocado de comida y determinar los parámetros de textura, integrando la mayoría de las pruebas en un solo dispositivo y desarrollando técnicas de simulación. Esto llevó al desarrollo de una técnica de simulación que imita un bocado de comida. Los especialistas en textura de la región Iberoamericana y varias empresas productoras de alimentos y materias primas para la industria alimentaria valoran este analizador de textura (Torres *et al.*, 2015). Las pruebas muestran que la fuerza aumenta rápidamente hasta que el material se rompe y disminuye rápidamente después de este punto, lo que indica que la textura del material es crujiente; sin embargo, si el producto no es quebradizo, hay áreas donde se produce deformación elástica y el punto de quiebre es lento (Castro & De Hombre, 2007).

2.23. COLORIMETROS

Los conos y los bastones se unen al centro visual del cerebro por medio del nervio óptico. La combinación de los colores primarios rojo, verde y azul permite reconocer una amplia gama de tonalidades, pero el ojo humano solo puede distinguir unos 200 tonos, entre 20 y 25 grados de saturación y unos 500 grados de brillo. Además, existe una longitud de onda limitada para los ojos llamada espectro óptico visible (Figura & Teixeira, 2007).

Un colorímetro es un dispositivo con tres estímulos, también conocido como un "filtro", que emplea filtros de color rojo, verde y azul para imitar la percepción del ojo humano de color y luz. Estas herramientas son la solución más económica para algunas aplicaciones de control de calidad. Los colorímetros no pueden compensar el metamerismo (cambios en la apariencia de una muestra debido a la luz utilizada para iluminar la superficie). Debido a que los colorímetros solo utilizan un tipo de luz (por ejemplo, luz incandescente o xenón pulsado), no registran el espectro de reflectancia, por lo que estos cambios son impredecibles. (Ordoñez, 2013).

2.24. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE COLOR

El sistema CIELAB puede usarse para la cuantificación de coordenadas, aunque el espacio de color es el mismo que el del sistema Munsell, pero tiene las siguientes ventajas: El cálculo de coordenadas es sencillo y las unidades de tamaño son iguales que en el sistema Hunter Lab, y los espacios de color miden la luminancia de forma parecida a los colores rojo-verde y amarillo-azul (Mendoza *et al.*, 2006).

2.24.1. CIELAB

En el espacio de color CIELAB, L^* indica el brillo, a^* indica la gama de colores rojos y verdes, y b^* indica la gama de colores amarillos y azules. Dentro del mapa de colores, se emplea el sistema $L^*a^*b^*$. El eje A^* se desplaza de lado izquierdo a lado derecho. Un corrimiento al rojo se muestra en la dirección de color a^* . Un desplazamiento del eje hacia b^* indica un desplazamiento hacia el color amarillo en b^* . $L=0$ (negro o completamente absorbido) es visible en el fondo y neutro o gris en el centro del plano en el centro del eje L^* (Ordoñez, 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se presentaron las siguientes hipótesis.

3.1.1. Hipótesis general

- El almidón de oca y pectina de cáscara de naranja tienen efecto sobre las propiedades mecánicas, microestructurales y ópticas de la biopelícula.

3.1.2. Hipótesis específicas

- El porcentaje de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja tienen efecto sobre las propiedades mecánicas de la biopelícula.
- Las propiedades ópticas de translucidez de las biopelículas son influenciadas por el porcentaje de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja.
- Las propiedades microestructurales de las biopelículas tienen diferentes características debido al porcentaje de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja.

3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO

3.2.1. Lugar de ejecución

El trabajo se realizó en los siguientes laboratorios de investigación.

- El análisis para la determinación de las propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales del almidón de oca se realizó en el laboratorio general de química de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede la Capilla – Juliaca – Perú.
- El análisis para la determinación de las propiedades mecánicas de la biopelículas se realizó en el laboratorio de Reología de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca - Sede Ayabacas – Juliaca – Perú.
- El análisis microestructural para las biopelículas se realizó en el laboratorio de la empresa PANKARANA S.A.C Ventanilla – Lima – Perú.

- Los análisis para la determinación de las propiedades ópticas se realizó en el laboratorio de fisicoquímica de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad de Juliaca – Sede Ayabacas – Juliaca – Perú.

3.3. MATERIALES

3.3.1. Materia prima

Las muestras de oca fueron obtenidas de los mercaderes provenientes de la provincia de Yunguyo que expenden sus productos en el mercado Unión y Dignidad de la ciudad de Puno. La pectina se obtuvo de las cáscaras de naranja de la variedad (Valenciana), desperdiciadas por las jugueras del mercado Bellavista.

a. Población

La población fue en general unos 26 kg de oca y 4 kg de cáscara de naranja.

b. Muestra

Las muestras utilizadas para cada tratamiento fueron de 2 kg de oca y 250 gr de cascara de naranja para la obtención de almidón y pectina respectivamente.

3.4. METODOLOGÍA PRELIMINAR

a. Extracción de almidón

El método de extracción de almidón de oca por vía húmeda están descritos en la Figura 4, este fue adoptado de la técnica que utilizaron Aristizábal & Sánchez (2007) y (Pastuizaca, 2020), a continuación se detalla el procedimiento de forma específica.

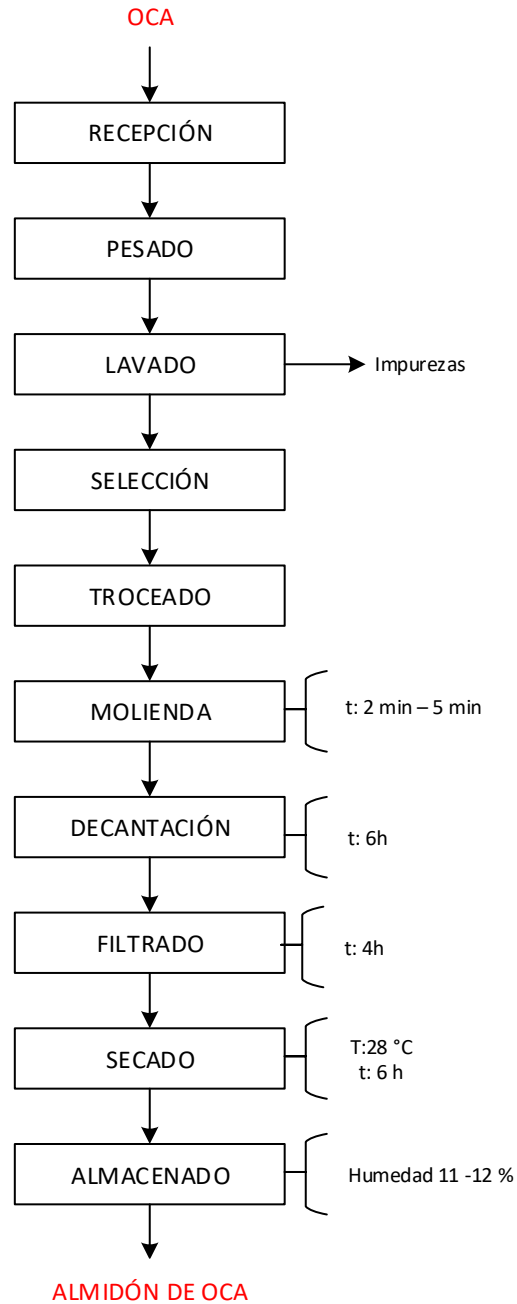


Figura 4: Flujograma para la extracción de almidón de oca (*Oxalis Tuberosa*) variedad (*Kellu kayara*).

FUENTE: Adaptado de Aristizábal & Sánchez (2007) y Pastuizaca (2020)

Descripción del proceso

Recepción de la materia prima: Se empezó recepcionando la materia prima, en la que se hizo un reconocimiento de las muestras y se eliminó las que presentaron deterioro o daño microbiológico o putrefacción.

Pesado: Se pesaron 2 kg de oca fresca

Lavado: Las muestras utilizadas se lavaron con hipoclorito de sodio para quitar las impurezas.

Selección: Se realizó una selección de las muestras una vez que pasaron por el lavado para quitar las pajillas o muestras que no fueron de un adecuado tamaño.

Troceado: Las muestras se trocearon en cuatro partes.

Molienda: Se utilizó la licuadora a dos velocidades para realizar la molienda, en la que se agregó agua destilada en una mezcla de 2:1, obteniendo una pasta homogénea.

Decantación: Se armó el equipo de decantación en el que se añadió el líquido sobrenadante obtenido del filtrado, se dejó decantar por seis horas.

Filtrado: La muestra se dejó reposar por aproximadamente cuatro horas a temperatura ambiente, seguidamente se utilizó una tela filtrante en la que quedo una parte sobrenadante y una parte desechable.

Secado: Las muestras fueron secadas en una estufa por seis horas a una temperatura de 28°C.

Almacenado: Las muestras de almidón se almacenaron en fundas transparentes.

b. Extracción de pectina

El método de extracción de pectina de cáscara de naranja está descrito en la Figura 5, este fue adoptado de la técnica que utilizo Ramos *et al.* (2020), en el cual se detallan los procedimientos de forma específica.

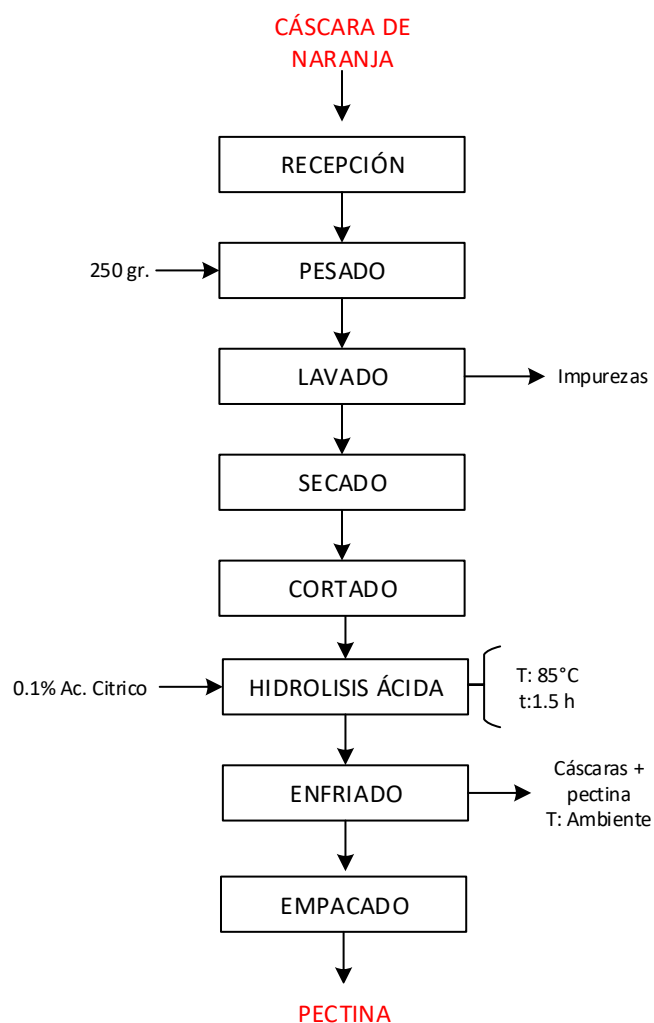


Figura 5: Flujograma para la extracción de pectina.

FUENTE: Ramos *et al.* (2020)

Descripción del proceso

Recepción: Se realizó la recepción de la materia prima (cáscara de naranja), además se realizó un control para descartar las muestras con deterioro.

Pesado: Se pesó 250 gr. de muestra

Lavado: Las cáscaras fueron limpiadas con agua corriente para quitar las impurezas, luego fueron enjuagadas con agua destilada.

Secado: Se dejó secar las cáscaras por un periodo de 10 minutos

Cortado: Las muestras se cortaron en trozos pequeños.

Hidrólisis ácida: Se sometieron las muestras a hidrólisis ácida, se utilizó una disolución de ácido cítrico al 0.1% y se aplicó calor a 85°C por una hora y media para extraer la pectina de las cáscaras.

Enfriado: Las cáscaras fueron enfriadas a temperatura ambiente, para que seguidamente con una espátula se raspe hasta que fue retirada toda la pectina presente en las cáscaras.

Empacado: El empacado de la pectina fue en recipientes de vidrio.

3.4.1. Análisis fisicoquímico del almidón de oca

Los análisis de las propiedades fisicoquímicas del almidón de oca son importantes dado que dependen de ellos la formación de la biopelícula, a continuación se detallan los procedimientos y los análisis que se le hicieron al almidón de oca.

- Humedad

Se utilizó el método dado por la (AOAC, 2000), se pesaron los crisoles vacíos para así poder dejarlos en el desecador, después de secar cinco horas en un horno a 80°C se pesó y fue nuestro peso 1 (P1). Seguidamente se pesaron 5g de muestra de almidón de oca en el crisol este fue nuestro peso 2 (P2), se colocó el crisol que contenía la muestra de almidón en una estufa a 80 °C durante 24 horas. Pusimos el crisol con almidón para que se pueda enfriar en el desecador hasta que se obtuvo un peso constante por aproximadamente de 30 - 45 min y se procedió a pesar éste fue nuestro peso 3 (P3). Finalmente pesamos el crisol con la muestra de almidón seco. Para determinar el % de humedad se utilizó la siguiente ecuación (1)

$$\%humedad = \frac{(P3 - P1) * 100}{(P1 - P2)} \quad (1)$$

- Densidad

La densidad se midió utilizando la técnica descrita por (Smith, 1967), en la que se pesó la probeta vacía de 25 ml, seguidamente se adiciono la muestra de almidón con una espátula o que el volumen total fue completado. Se realizaron tres réplicas para determinar la densidad aparente, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación (2).

$$Densidad = \frac{(P2) - (P1)}{V} \quad (2)$$

Donde:

P1: Peso probeta vacía

P2: Peso de la probeta con muestra

V: Volumen de la probeta

- pH

El pH se midió de forma directa de acuerdo al ensayo descrito por la norma INEN (2013).

- Ceniza

El contenido de cenizas se midió de acuerdo al método descrito por la (AOAC, 2000), donde se pesaron 5 gramos de almidón en un crisol que fue previamente lavado, secado en un horno y pesado, seguidamente se pesó el crisol con la muestra para que se pueda colocar en la mufla y se incinere a 550°C durante 3 horas y media aproximadamente, luego se enfrió el crisol con las cenizas en un desecador hasta que se obtuvo un peso constante y se pesó el crisol con las cenizas, se realizó 3 réplicas y se calculó mediante la ecuación (3).

$$\%cenizas = \frac{(Peso\ de\ las\ cenizas - peso\ del\ crisol\ vacio)}{Peso\ de\ la\ muestra} * 100 \quad (3)$$

- Contenido de amilosa/amilopectina

El contenido de amilosa y amilopectina se realizó utilizando el método descrito por Anchundia *et al.* (2016), el cual se detalla en el **Anexo 1**.

3.4.2. Análisis de las propiedades tecnofuncionales del almidón de oca

- Capacidad de adsorción de agua (CIA)

Se determinó por el método descrito por Anderson *et al.* (1970), se preparó 40 ml de una suspensión de almidón al 1% en base seca, en agua destilada a 30°C, a una velocidad de 1.5 min/°C hasta que alcanzó la temperatura de 60°C durante 30 minutos con agitación. Se enfrió a temperatura ambiente. El gel fue sometido a una centrifugación a una velocidad de aproximadamente 2500 rpm durante unos 15 minutos. Después, se procedió a pesar el gel resultante para determinar su capacidad de absorción de agua por temperatura del gel. Se empleó la ecuación (4) para realizar el cálculo de la cantidad de agua absorbida por cada gramo de muestra seca.

$$CIA = \frac{Peso\ de\ gel\ (g)}{Peso\ de\ muestra\ (g)} \quad (4)$$

- Temperatura de gelatinización (TG)
Se procedió a medir siguiendo el método explicado por Grace (1977), 10 gramos de almidón (BS) fueron pesados y solubilizados en agua destilada hasta alcanzar 100 ml. Se hirvió agua en un vaso de precipitados de 250 ml hasta alcanzar una temperatura de 85 °C. Luego se transfirieron 50 ml de la mezcla a un vaso de precipitados de 100 ml. Se puso el vaso de muestra en un vaso de precipitados de 100 ml con agua a 85 °C. Se puso el recipiente con la muestra en agua a 85 °C y se agitó la mezcla de almidón hasta formar una suspensión, manteniendo la temperatura estable por unos instantes. Se registró la temperatura de gelificación.

- Índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)
Se midió de acuerdo al método descrito por Anderson *et al.* (1970), el procedimiento se detalla en el **Anexo 2**.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. Diseño experimental general

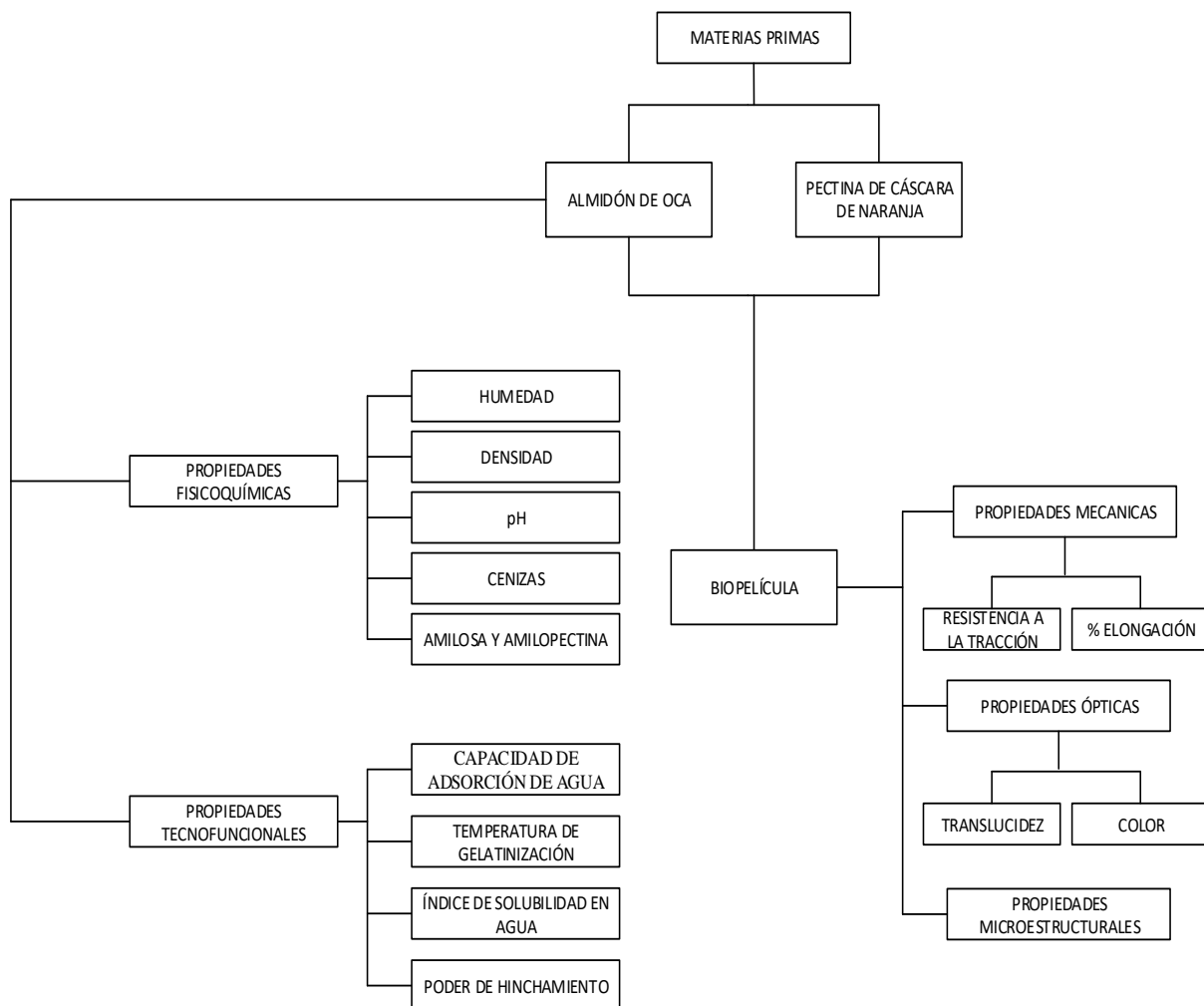


Figura 6: Diagrama de flujo del diseño experimental para la obtención de una biopelícula a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja.

Obtención de la biopelícula

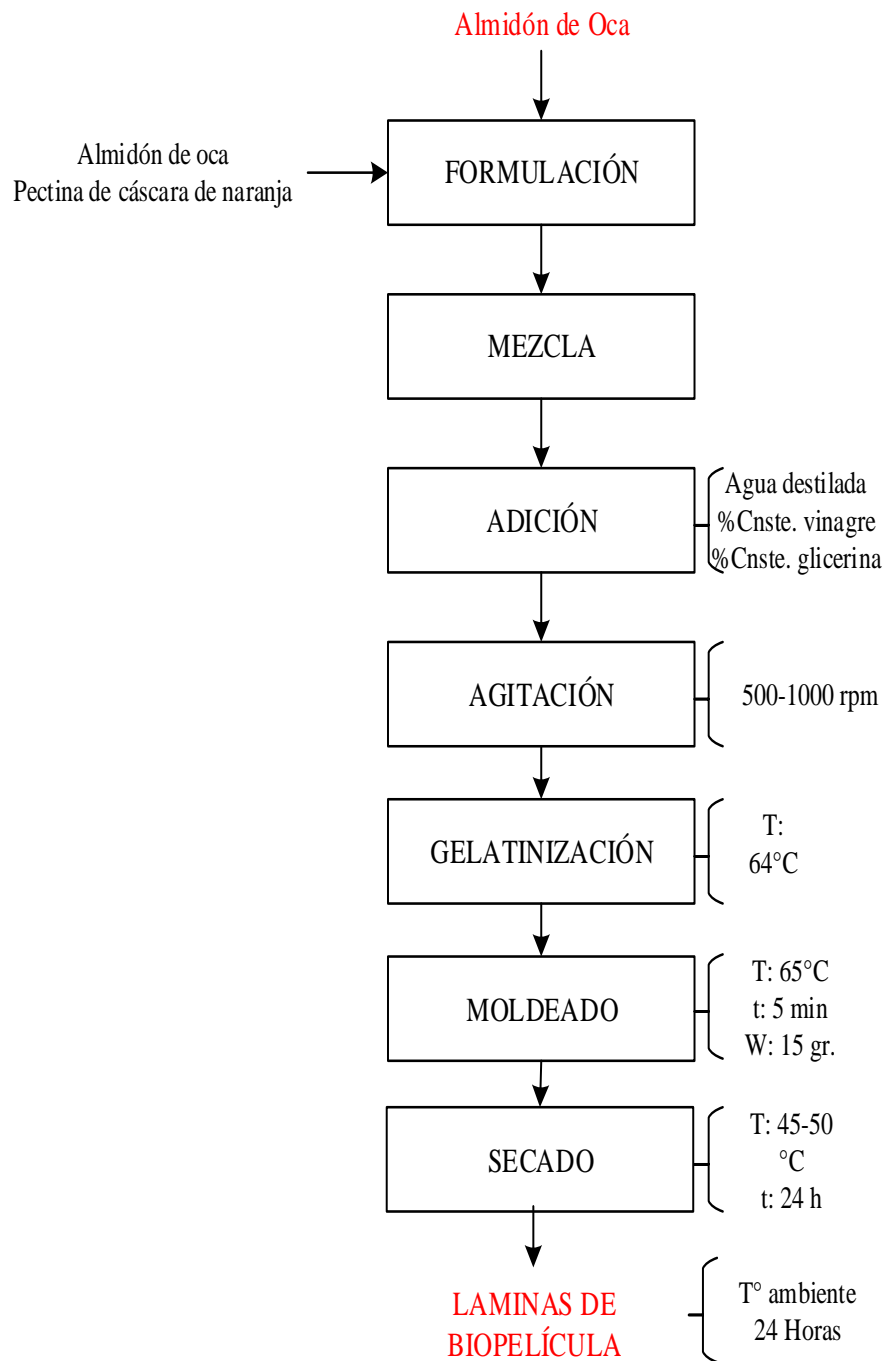


Figura 7: *Flujograma para la obtención de la biopelícula de almidón de oca (Oxalis tuberosa) variedad (kellu kayara) y pectina de cáscara de naranja.*

Fuente: Pastuizaca (2020)

Descripción del proceso

Formulación: De acuerdo a la matriz de consistencia de nuestro Diseño Central Compuesto, se tuvo la formulación de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja.

Mezcla: Se mezcló la pectina de cáscara de naranja con el almidón de oca

Adición: A la mezcla obtenida se adiciono 2 ml de ácido acético, 5 ml de glicerina en 100 ml de agua destilada.

Agitación: La muestra fue puesta en el agitador-calentador y se agitó a 500-1000 rpm hasta llegar a la temperatura de gelatinización.

Gelatinización: Las muestras se pusieron a baño maría, una vez que la mezcla lleo a temperatura de gelatinización se procedió a trasvasar en las placas Petri.

Moldeado: Las muestras se trasvasaron en las placas Petri mediante el método Casting, se pesaron 15 gr. de solución filmogénica, por cada placa se controló el peso meticulosamente.

Secado: Las muestras se colocaron en una estufa a una temperatura de 45 a 50 °C durante 24 h., después de sacar las muestras de la estufa, las láminas de biopelícula fueron dejadas a temperatura ambiente durante veinticuatro horas, después de esto fueron desmoldadas y almacenadas en fundas transparentes.

3.6. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

3.6.1. Para el objetivo n°1

Determinar el efecto del porcentaje de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja sobre las propiedades mecánicas de una biopelícula.

a. Materiales

- Balanza analítica
- Probeta de 5, 10 y 100 ml
- Espátula
- Vasos de precipitados de 250 ml
- Varilla de agitación
- Placas petri o moldes de vidrio
- Papel aluminio

Equipos

- Plancha de calentamiento (Nahita 655)
- Agitador calentador
- Estufa (J.P. Selecta)
- Texturometro (INSTRON – 34TM-5-SA)

Reactivos

- Agua destilada 1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Glicerina 95 % MIN
- Ácido acético 96%
- Lugol 0.1 %

b. Variables de estudio

- Variables independientes
 - Porcentaje de almidón de oca
 - Nivel alto 11.2 %
 - Nivel bajo 8 %
 - Pectina de cáscara de naranja
 - Nivel alto 2 %
 - Nivel bajo 1 %
- Variables dependientes
 - Propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, % de elongación)

c. Diseño

experimental

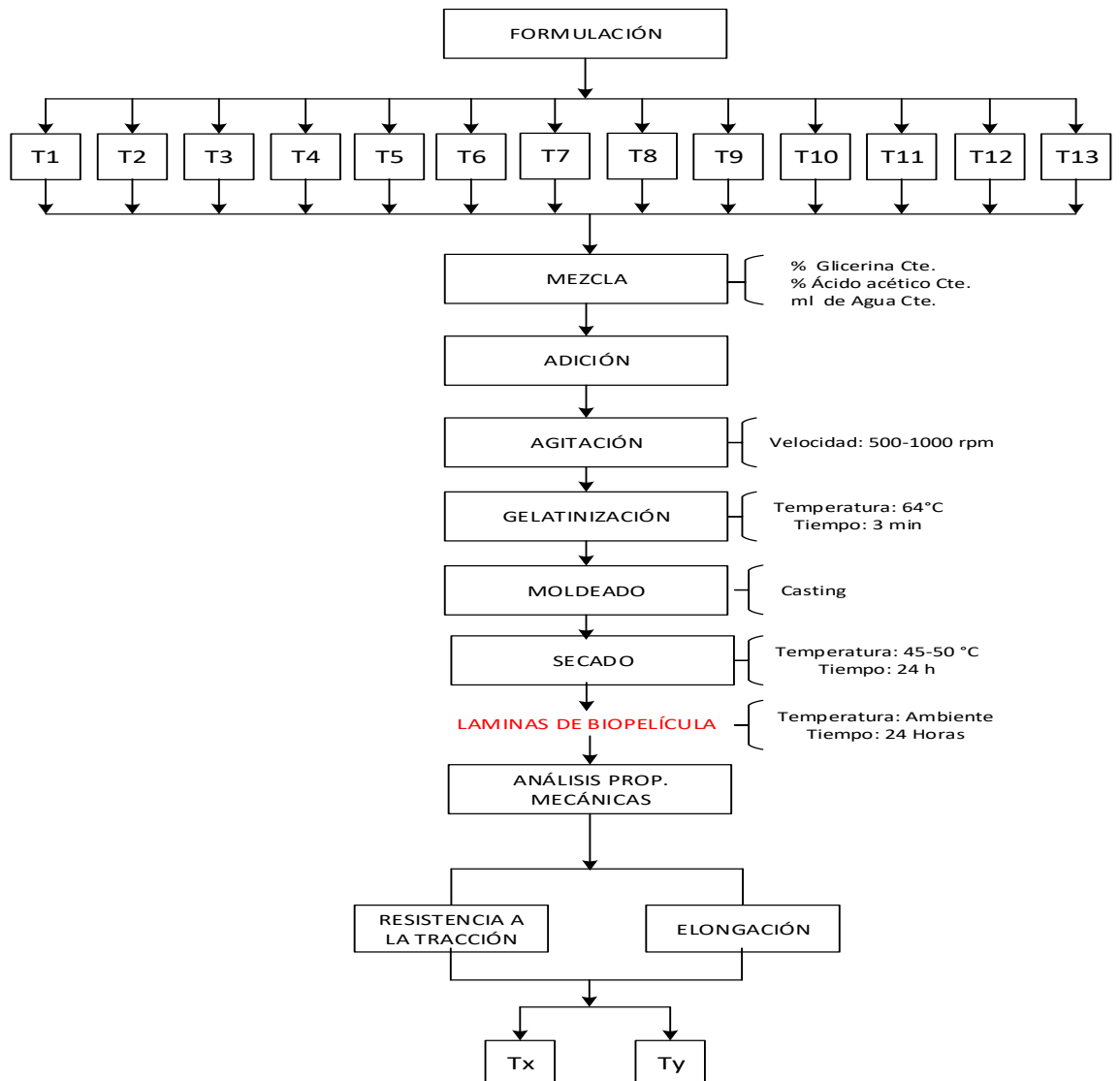


Figura 8: Diseño experimental para el objetivo N°1

d. Diseño estadístico

La prueba estadística que se utilizó fue un diseño central compuesto (DCC), que estuvo compuesta de 4 puntos factoriales, 4 puntos axiales y 5 puntos centrales, la cual se puede observar en la Tabla 3, para examinar la información se utilizó el software Statgraphics Centurion 17.

Tabla 3: Matriz de Diseño Central Compuesto

N° TRATAMIENTOS	ALMIDÓN DE OCA %	PECTINA DE CÁSCARA DE NARANJA %	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	% ELONGACIÓN
1	8.0	1.0		
2	11.2	1.0		
3	8.0	2.0		
4	11.2	2.0		
5	7.3	1.5		
6	11.9	1.5		
7	9.6	0.8		
8	9.6	2.2		
9	9.6	1.5		
10	9.6	1.5		
11	9.6	1.5		
12	9.6	1.5		
13	9.6	1.5		

e. Modelo matemático

$X_i = N^\circ$ de tratamientos

Dónde:

X_i : Resultado del número de tratamientos de las propiedades mecánicas.

f. Métodos de análisis

Se determinó las propiedades mecánicas de acuerdo al método descrito por ASTM D882-10 mediante un ensayo de tracción en un texturómetro (INSTRON – 34TM-5-SA).

– Resistencia a la tracción

Ancho 2 cm, largo 8 cm, carga de inicio: 15 gramos, velocidad de movimiento: 1 milímetro por segundo. Para obtener datos precisos, se realizaron pruebas preliminares y se midieron los diámetros en tres lados de la biopelícula. Luego se colocó la muestra entre los cabezales laterales del texturometro y se ingresaron los primeros datos en el tablero de instrumentos. Se establece una distancia entre la primera abrazadera y el punto en el que ya se ha realizado la prueba, dando como resultado el desplazamiento de tensión máximo y la fuerza máxima. La resistencia a la tracción y elongación se determinó mediante la ecuación (5).

$$\text{Resistencia a la tracción} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) = \frac{\text{Fuerza (N)}}{\text{Área (mm}^2\text{)}} \quad (5)$$

$$\text{Área (mm}^2\text{)} = \text{Espesor} * \text{Ancho de la muestra}$$

- % de elongación

Los resultados se determinaron a partir del promedio de mediciones repetidas. Esto requirió medir la longitud de la muestra, así como el desplazamiento final hasta que se formó la curva y decayó con la fuerza máxima. El valor de deformación correspondiente a la fuerza máxima obtenida se sustituyó en la siguiente ecuación (6).

$$\% \text{Elongación} = \frac{\text{Deformación según Pico Fuerza}}{\text{Largo de la muestra}} * 100 \quad (6)$$

3.6.2. Para el objetivo n°2

Analizar las propiedades ópticas de translucidez de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas

a. Materiales

- Tijeras
- Regla
- Marcadores
- Tubos de Cuarzo
- Hojas blancas

Equipos

- Colorímetro (FRU - WR10QC)
- Espectrofotómetro (JENWAY- 6850 UV)

Reactivos

- Agua destilada 1.0 μS/cm

b. Variables de estudio

- Variables independientes
 - Biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas (Tx y Ty)
- Variables dependientes
 - Propiedades ópticas de translucidez
 - Propiedades ópticas de color

c. Diseño experimental

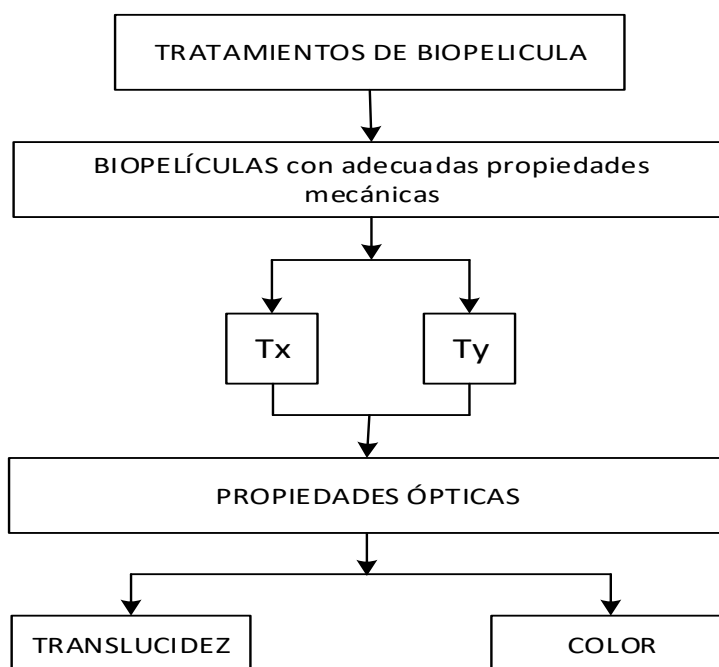


Figura 9: Diseño experimental para el objetivo N°2

d. Diseño estadístico

El análisis e interpretación de la información para cada objetivo se realizó según el diseño completamente al azar (DCA), trabajando a un nivel de significancia del 5% utilizando el software Statgraphics Centurion 17.

Tabla 4: *Matriz de Diseño Completamente al Azar*

Replicas	Tratamientos	
	Tx	Ty
R1		
R2		
R3		

e. Modelo matemático

$$Y_{ij} = \mu + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Resultado de la determinación de las propiedades ópticas de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas.

ε_{ij} : Error aleatorio que se da en las réplicas

μ : Promedio de las medias de cada variable

f. Métodos de análisis

- Propiedades ópticas de translucidez

Las propiedades ópticas de translucidez para las películas de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja con adecuadas propiedades mecánicas, se utilizó el método descrito por (Pires *et al.* (2011), donde se utilizó un espectrofotómetro JENWAY 6850 UV - VIS, con un diámetro de 10 mm de las cubetas; para ello se cortó una tira de 10 x 40 mm (ancho x largo) y se colocó en las cubetas de cuarzo, las muestras obtenidas se midieron en un rango de 600 nm. Como blanco se utilizó una cubeta vacía con agua destilada. La transparencia se calculó mediante la ecuación (7):

$$\text{Valor de transparencia} = \frac{A_{600}}{X} \quad (7)$$

Donde:

A: Absorbancia a 600 nm

X: Espesor de la biopelícula en mm.

- Propiedades ópticas de color

Las propiedades ópticas de color se utilizó el método descrito por (Pires *et al.* (2011), donde se utilizó un colorímetro CR-400 (Konica Minolta Co., Ltd., Osaka, Japón), se midió el color mediante el sistema CIELab para tres puntos diferentes y se aplicó las coordenadas de un respaldo blanco estándar ($L^* = 93.11$; $a^* = -0.63$, $b^* = 3.82$), se utilizó tiras de mediciones de 1 x 7 cm (ancho x largo). El color se calculó mediante las ecuaciones (8) (9) (10):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (8)$$

$$h^* = \arctg(b^*/a^*) \quad (9)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (10)$$

3.6.3. Para el objetivo n°3

Describir las propiedades microestructurales de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas

a. Materiales

- Tijeras
- Regla
- Biopelículas
- Porta muestras

Equipos

- Microscópio electrónico de Barrido LEO 1420VP (SEM)

Reactivos

- Agua destilada 1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$

b. Variables de estudio

- Variables independientes
 - Biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas (Tx y Ty)
- Variables dependientes
 - Propiedades microestructurales

c. Diseño experimental

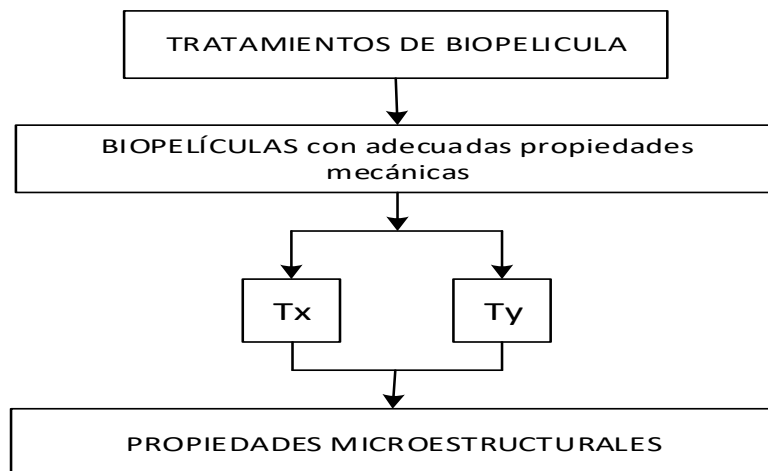


Figura 10: Diseño experimental para el objetivo N°3

d. Métodos de análisis

- Propiedades microestructurales

Las propiedades microestructurales de las interacciones entre los componentes de las películas de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja (textura y dimensiones) y la porosidad, fueron evaluados utilizando la tecnología de microscopía electrónica de barrido (SEM) descrito por Canevarolo (2003), con alguna modificación de que no se utilizó una recubierta de oro, en cintas adhesivas se colocaron las láminas de 2 cm x 7 cm, para lo cual se utilizó un microscopio electrónico de barrido modelo ZEISS, con un sistema óptico de electrones optimizados con un enfoque de 5,0 nm mediante un cañón LaB6.

3.7. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

La biodegradabilidad de la biopelícula con adecuadas propiedades mecánicas, ópticas y microestructurales, se evaluó con la utilización de un método volumétrico descrito por Lopes *et al.* (2017), se puso las biopelículas a exposición de 10 días y se evaluó la pérdida de peso cada dos días, el porcentaje de biodegradabilidad se midió con la ecuación (11).

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} * 100 \quad (11)$$

Se determinó la biodegradabilidad de la biopelícula sometiéndolo a un proceso de compost para lo cual se realizó el balance de materia respectivo, teniendo en cuenta el material, cuanto de materia orgánica y tierra se puso, además de saber cuánto de masa se tenía a un inicio y cuando se tuvo al final. El proceso se detalla en el **Anexo 32**.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados están estructurados de acuerdo a los objetivos planteados.

4.1. ANÁLISIS PREVIOS

4.1.1. Propiedades fisicoquímicas de almidón de oca

Después de haber obtenido el almidón de oca, se procedió a evaluar las propiedades fisicoquímicas como la humedad, densidad, pH, ceniza y contenido de amilosa y amilopectina, cada una de estas muestras se desarrollaron por triplicado, a nivel de laboratorio obteniendo los promedios de cada muestra, los valores obtenidos para las propiedades fisicoquímicas del almidón de oca se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Ensayos fisicoquímicos de almidón de oca variedad Kellu Kayara

Muestra	Humedad (%)	Densidad (g/ml)	pH	Ceniza (%)
Promedio	9.81 ± 0.0026	1.91 ± 0.006	5.81 ± 0.0076	0.10 ± 0.005

El contenido de humedad es de 9.81 % en promedio. Según la norma INEN (2013), nos indica un rango estándar entre 10-13 %, nuestro valor se encuentra dentro de este, además, estudios realizados por Arévalo *et al.* (2018), Novelo & Betancur (2005), obtuvieron valores mayores entre 11.81 y 12.72 %, lo que nos indica que los resultados están relacionados con el proceso de almacenamiento, el tipo y tamaño de muestra, también se tomó en cuenta la cosecha de la materia prima. De acuerdo al rango estándar que nos indica Bernabé & Cancho (2017) Bernabé Cancho (2017), si resulta menor a 10% de humedad se evita el deterioro del almidón cuando se encuentre en almacenamiento, por el contrario si es mayor que el 13% se puede desarrollar el crecimiento microbiano de hongos y levaduras.

El valor de densidad es de 1.91 g/ml en promedio. Según la norma INEN (2013), el rango estándar es de 1.56; en comparación con ello, nuestra muestra obtuvo un valor más alto. Techeira & Perdomo (2014), indican que la densidad está relacionada con la composición química del material, en consecuencia afecta la densidad de la

matriz de polímeros como también el tamaño de las partículas; a densidades altas se tienen partículas mucho más finas que al juntarse poseen más volumen, sin dejar espacios vacíos, esto conlleva a que la densidad sea mayor. En el estudio que realizó de harina de batatas obtuvo valores entre (0,67 - 0,69 g/cm³).

En cuanto al pH el valor promedio es de 5.81, en comparación con rango estándar que nos presenta la norma INEN (2013) para harinas que oscila entre 5 y 7, afirmamos que el valor obtenido se encuentra dentro de este, además, Medina & Uscca (2018), Cuya (2009), obtuvieron valores entre 4,71 y 6,22 en harina de mashua, por otro lado, (Cajamarca, 2010), reportó valores de 4,54 y 5,7 para tubérculos frescos y endulzados. Estos valores de pH tienen una relación inversa con la cantidad de ácidos presentes, sin embargo, muchos de los ácidos como son el ascórbico, oxálico y málico no se encuentran en gran proporción dentro de los tubérculos y no se puede afirmar que tenga un efecto severo sobre el pH.

En cuanto al contenido de ceniza expresado en base seca se obtuvo el valor promedio de 0.10 %, en comparación con el rango estándar INEN (2013), indica que debería estar en valores menores a 0.12, nuestro valor fue menor por lo tanto es aceptable; ya que las cenizas dentro de su composición presentan una variedad de minerales, incluidos hierro, magnesio, potasio, sodio y calcio. Según Repo-Carrasco *et al.* (2003), indican que a mayor contenido de cenizas existe mayor posibilidad de que estos minerales estén presentes dentro del tubérculo.

En comparación con otros valores reportados por Bernabé & Cancho (2017) la harina de mashua presentó el valor de 3,3%, Guerra (2014), encontró el valor de 5,68% y Madrigal *et al.* (2018) en harina de papa china reportó 3,47 %, en comparación con nuestro valor estos valores son bastante menores y de acuerdo a la norma saldrían del estándar.

– Porcentaje de amilosa y amilopectina

Se analizó el contenido presente de amilosa y amilopectina en el almidón de oca, a continuación podemos observar en la tabla 6 el promedio de los datos obtenidos de las muestras analizadas por triplicado.

Tabla 6: Contenido de amilosa y amilopectina de almidón de oca variedad Kellu Kayara

Muestra	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Promedio	25.79 ± 0.015	74.21 ± 0.01

El valor promedio es de 25.79 % de amilosa y 74.21 % de amilopectina. (Hernández et al., 2004), reportaron valores de amilosa entre 15.9 – 22.4 %, para almidón de mandioca, en comparación con el resultado que se obtuvo, el valor fue mayor, esto se debe a que los valores están relacionados con las variedades, las condiciones del crecimiento o almacenamiento, además del proceso de cuantificación. Guizar (2009), indica que los almidones que presentan valores altos de amilosa ofrecen mejores propiedades mecánicas (tensión, deformación, rigidez y elasticidad) a diferencia de las que presentan un bajo contenido de amilosa y amilopectina.

4.1.2. Propiedades tecnofuncionales de la extracción de almidón de oca

Se tuvo mucho interés en estas propiedades en vista de que sirvieron como factores importantes en la elaboración de la biopelícula. Los valores de las propiedades tecnofuncionales están presentados en la tabla 7, los cuales fueron calculados siguiendo las ecuaciones (4, 14 y 15), que fueron detalladas en la metodología, además se consideró temperaturas de 60, 65 y 70 °C.

Tabla 7: % CIA, % ISA, PH y TG de almidón de oca variedad Kellu Kayara.

Tratamientos	% CIA g gel / g almidón	%ISA	PH	TG
Promedio	7.56 ± 0.025	10.08 ± 0.025	7.00 ± 0.020	65 ± 0.1

Dónde: (%CIA): capacidad de adsorción de agua, (%ISA): índice de solubilidad en agua, (PH): poder de hinchamiento, (TG): temperatura de gelatinización

La capacidad de adsorción de agua obtenido es de 7.56 g gel/g almidón. Según Aristizábal & Sánchez (2007), detalló valores entre 0,82 y 15,52 g de gel por gramo de almidón de yuca, en comparación con los valores obtenidos, se encuentran dentro de la estimación, además que al suministrar calor a la formación los gránulos pasan de estar en estado acuoso a estar en estado de suspensión, este cambio de tamaño indica que el almidón es de alta calidad y con alta absorción de agua.

La solubilidad del almidón está desarrollada de acuerdo a las cadenas poliméricas que contienen partes de gránulos amorfos y cristalinos (Arévalo *et al.*, 2018). El valor promedio obtenido es de 10.08 % de índice de solubilidad. García *et al.* (2012), reportaron valores de 2 - 3,3 %, sin embargo Araujo *et al.* (2004), indica que los valores deben variar entre 0,27–12,32 %, en comparación con lo indicado anteriormente, nuestro valor se encontró dentro del rango dicho por estos últimos autores, puesto que demostraría que existe una buena relación entre los polímeros del almidón y una buena asociación entre amilosa y amilopectina.

Charles *et al.* (2007), indican que uno de los parámetros más importantes que determinan el almidón es su capacidad de hinchamiento. Esta capacidad depende de la temperatura. Las muestras analizadas en este trabajo mostraron un valor promedio de 7% a 65°C, lo que puede atribuirse a la rotura y posterior separación de los gránulos de almidón a temperaturas más altas, de toda la red de amilopectina, los valores obtenidos por Nuwamanya *et al.* (2010), a temperaturas superiores (70 y 80°C), indican que los valores del poder de hinchamiento son el doble de los obtenidos a 30°C, siendo 7,87 - 10,77% a 60°C y 16,16 - 20,79% a 80°C, en comparación con los valores obtenidos en nuestro estudio se encuentran dentro del rango obtenido por estos autores y pueden diferir porque no alcanzaron la misma temperatura.

El almidón de oca presentó una TG en promedio de 65°C, que fue similar a otras fuentes de almidón que reportaron Wang (2020), Karam *et al.* (2006) con valores entre 49 - 64 °C y de 62 - 73 °C respectivamente. La distinción de estos valores se debe a las variaciones en los niveles de agua, pH, grasa y proteína en el almidón, a medida que los gránulos se juntan y se gelatiniza por acción del calor; formando un gel o pasta. La temperatura depende de los gránulos, a medida que los gránulos sean más pequeños se gelatinizaran lentamente y la temperatura será mucho más alta y si los gránulos son grandes se gelatinizaran más rápido y la temperatura será media, Novelo & Betancur (2005).

4.1.3. Propiedades fisicoquímicas de pectina de cáscara de naranja

Después de haber obtenido la pectina de cáscara de naranja, se utilizó la metodología United States Pharmaceutical 30 (9000-69-5) para el análisis de control fisicoquímico se utilizó alcohol metílico y se procedió a tomar el pH del gel formado, el gel presento un color beige, también se verificó la temperatura de

gelatinización la cual fue un valor importante al momento de formar nuestra solución filmogénica.



Figura 11: Pectina Obtenida

A continuación observamos en la tabla 8 los valores de pH y TG para pectina de cáscara de naranja, cada muestra se realizó por triplicado a continuación se presenta el promedio de estas.

Tabla 8: pH y TG de pectina de cáscara de naranja variedad Valenciana.

Muestra	pH	TG
Promedio	2.83 ± 0.15	64 ± 0

Dónde: pH: potencial de hidrogeniones, TG: temperatura de gelatinización

Según Van Buggenhout *et al.* (2009), las pectinas de alto metoxilo forman geles a un pH menor a 3.5 y a una TG de 55°C, la muestra obtenida en nuestro estudio alcanzó un valor promedio de 2.83 a una temperatura de 64°C; en comparación con el valor dado, se encuentra dentro del rango establecido por dicho autor, sin embargo, el resultado puede variar dependiendo del tipo de maduración de la fruta, la variedad y el tipo de extracción de la pectina.

4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE ALMIDON DE OCA Y PECTINA DE CÁSCARA DE NARANJA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Los niveles fueron obtenidos de acuerdo al modelo aplicado en este caso fue el DCC, se establecieron niveles de $(-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha)$, donde se obtuvo cuatro puntos factoriales, cuatro puntos axiales y cinco puntos centrales que relacionaron las

variables respuesta (resistencia a la tracción y elongación) con las variables independientes (cantidad de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja). En la tabla 9 podemos observar los resultados para los 13 tratamientos tanto para resistencia a la tracción y % de elongación.

Tabla 9: Propiedades mecánicas de las biopelículas de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja

N° tratamientos	Almidón de oca (%)	Pectina de cáscara de naranja (%)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Elongación (%)
1	8.0	1.0	6.97±2.1	19.44±3.9
2	11.2	1.0	6.57±2.1	17.29±3.9
3	8.0	2.0	10.79±2.1	11.49±3.9
4	11.2	2.0	5.92±2.1	14.34±3.9
5	7.3	1.5	4.93±2.1	21.95±3.9
6	11.9	1.5	4.67±2.1	17.10±3.9
7	9.6	0.8	4.22±2.1	10.06±3.9
8	9.6	2.2	3.13±2.1	14.25±3.9
9	9.6	1.5	4.08±2.1	20.14±3.9
10	9.6	1.5	4.03±2.1	13.26±3.9
11	9.6	1.5	3.78±2.1	16.38±3.9
12	9.6	1.5	3.26±2.1	10.44±3.9
13	9.6	1.5	4.00±2.1	19.98±3.9

Los valores de resistencia a la tracción para nuestra biopelícula oscila de 3.13 - 10.79 N/mm². La biopelícula que presenta una resistencia menor es la del tratamiento 8 con un valor de 3.13 N/mm², conteniendo en su formulación 9.6 % de almidón de oca y 2.2 % de pectina de cáscara de naranja y el tratamiento 3 con un valor de 10.79 N/mm², conteniendo en su formulación 8 % de almidón de oca y 2 % de pectina de cáscara de naranja, en comparación con el primer resultado este contiene menor cantidad de almidón; la diferencia es que cuanto más almidón hay, mejor interactúa con las fibras de la piel de naranja, influyendo sobre la resistencia de la biopelícula. En comparación con lo que indica García (2010), el almidón tiene una estructura más cristalina y compacta porque contiene el 75% de amilopectina. De manera similar, la pectina mejora las propiedades de las biopelículas cuando se combina con almidón, ya que forma un gel que consiste en moléculas de polímero entrecruzadas en una densa red interconectada y es un tipo de fibra. Nuestros resultados se encontraron dentro del rango reportado por Ballesteros *et al.* (2020)

para la biopelícula de almidón de camote compuesta por dos plastificantes, glicerol y sorbitol, la resistencia a la tracción varía de 1,76 a 9,78 MPa y de 4,95 a 9,37 MPa, observándose que disminuye al aumentar el plastificante independientemente del tipo de plastificante agregado (glicerina o sorbitol), sin embargo los resultados obtenidos varían debido a que utilizamos dos plastificantes como son el glicerol y el ácido acético, también varían por el tipo de formulación utilizada y el espesor de cada biopelícula. Huzaisham & Marsi (2020), reportaron resultados de resistencia a la tracción de 21.117 a 34.477 N/mm, dependiendo de la concentración de cáscara de plátano utilizada. Los expertos descubrieron que al elevar la concentración se aumenta la resistencia a la perforación, sin embargo, una concentración excesiva resultará en una película rígida que limitará este factor.

Los valores de elongación se encuentran entre 10.06 a 21.95 %, el tratamiento 7 con 9.6 % de almidón de oca y 0.8 % de pectina de naranja y el tratamiento 5 con 7.3 % de almidón de oca y 1.5 % de pectina de cáscara de naranja respectivamente, los tratamientos 5 y 9 presentaron los mejores resultados respecto a ambos factores resistencia a la tracción y % de elongación, según Ballesteros *et al.* (2020), esto muestra que el alargamiento aumenta con la adición de plastificante y disminuye al aumentar la temperatura del proceso. Los resultados de nuestro trabajo estuvieron dentro del rango informado, incluso fueron mucho mayores que los que reportó Ballesteros *et al.* (2020) en su investigación sobre el almidón de camote al 1,84–9,00%, en películas que contienen sorbitol y también mostraron que el plastificante logró el efecto barrera al aumentar el volumen, los poros de la matriz polimérica, interrumpen las interacciones intermoleculares. Osorio & Rubiano (2019), encontraron tasas de deformación entre 5,03 y 22,98 % y obtuvieron resultados satisfactorios con una concentración de glicerol del 4 %.

Según el ANOVA para la resistencia a la tracción (**ANEXO 3**), el almidón de oca y la interacción con la pectina influyen significativamente a la resistencia a la tracción ($p \leq 5\%$), a excepción del factor pectina ($p \geq 5\%$), la misma se afirma con las figuras 12 y 13.

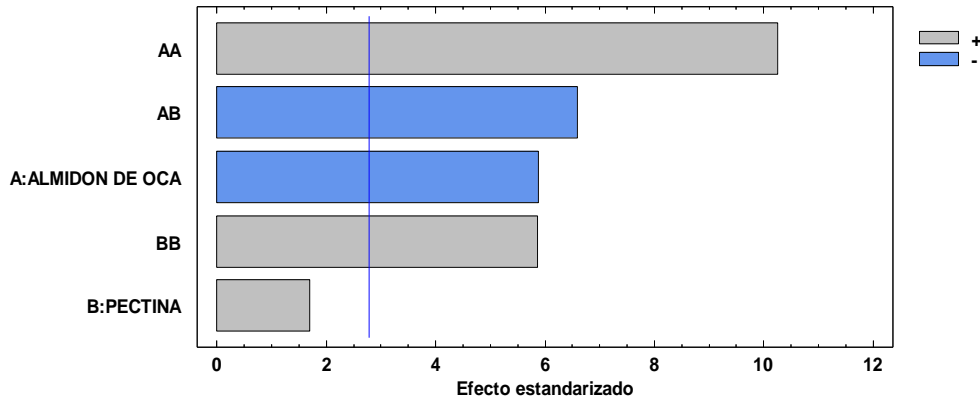


Figura 12: Diagrama de Pareto para la Resistencia a la tracción

En la figura 12, se puede ver la influencia de los factores almidón de oca (AA) y las combinaciones de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja (AB) son los más significativos, sin embargo el factor pectina (B), no fue significativo sobre la resistencia a la tracción.

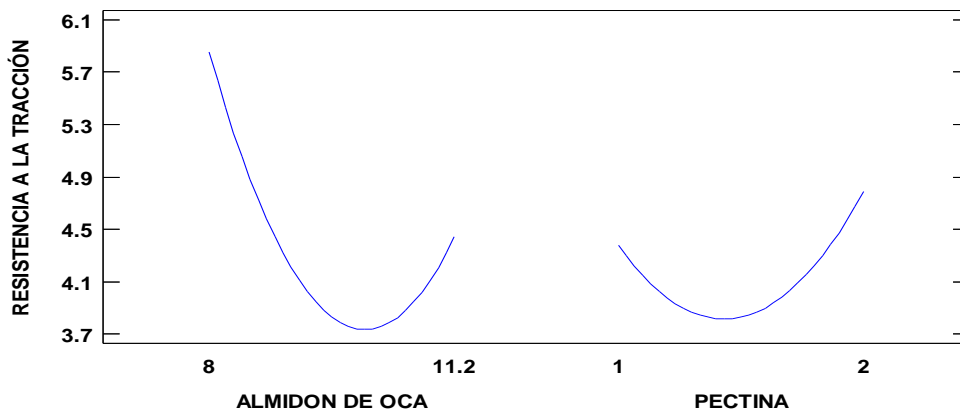


Figura 13: Gráfica de efectos principales para Resistencia a la tracción

En la figura 13, se puede notar que a medida que disminuye la cantidad de almidón de oca, la resistencia a la tracción aumenta, y a medida que se reduce aún más el contenido de almidón, la resistencia a la tracción disminuye., a la vez que menor contenido de pectina resulta en menor resistencia a la tracción, esto nos indica que el comportamiento que tienen ambos factores no son proporcionales.

Según ANOVA para el factor % de elongación (**Anexo 7**) no existe diferencias significativas respecto al porcentaje de elongación ($p \geq 5\%$), lo que nos indica que los factores de estudio no influyen significativamente en el porcentaje de elongación, la misma que se puede contrastar con las figuras 15 y 16.

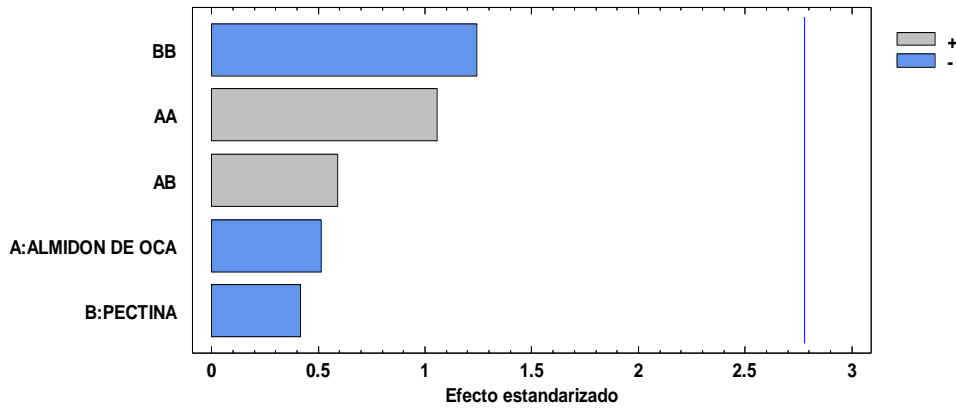


Figura 14: Diagrama de Pareto para % de Elongación

Como se observa en la figura 14 no hubo interacciones entre los distintos factores, ninguno de ellos logró tener valores significativos.

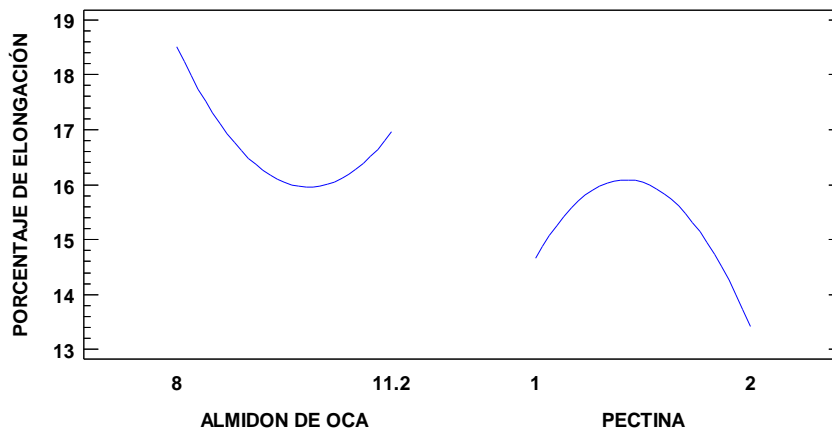


Figura 15: Grafica de efectos para % de Elongación

En la figura 15 observamos que a menor contenido de almidón de oca presenta mayor porcentaje de elongación y conforme se incrementa la cantidad de almidón se reduce el porcentaje de elongación mostrando un ligero incremento por encima de 11.2% de adición de almidón. Mientras que a menor cantidad de pectina se presenta mayor porcentaje de elongación y a mayor cantidad de pectina disminuye el porcentaje de elongación.

4.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

4.3.1. Propiedades ópticas de translucidez

Se utilizó un espectrofotómetro de absorción para analizar la translucidez de biopelículas de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja, con el fin de obtener muestras con propiedades mecánicas adecuadas. Los resultados se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: *Valores de transparencia de las biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja*

Muestra	Absorbancia a 600 (nm)	Espesor (mm)	Transparencia
Promedio T9	0.2755	0.15	1.852 ± 0.45
Promedio T5	0.3023	0.17	2.091 ± 0.98

Los resultados obtenidos varían entre 1.852 -2.091 (A600/mm), comparándolo con los obtenidos por Pires *et al.* (2011) para biopelículas de proteína de merluza, glicerina y aceite de tomillo, los valores de transparencia reportados estuvieron entre 1.5 y 4, nuestros resultados demostraron que el valor se encontró dentro del rango reportado, además indican que; la transparencia varía debido a la adición de algún complemento añadido a la biopelícula, en este caso nuestros resultados se encontraron dentro del rango debido a que se utilizó pectina dentro de su formación, Pires *et al.* (2011), también nos indica que a valores altos es inversamente proporcional a la transparencia real. González *et al.* (2018), obtuvo valores entre 1.47 - 1.71 y 3.38 - 3.41, cuando el valor es más alto es menos absorbida y menos transparente esto conlleva a crear películas que tengan la característica o color del componente añadido, sin embargo, según ANOVA para la transparencia (ANEXO 11), el almidón de oca y la interacción con la pectina no influyen significativamente sobre la propiedad óptica de transparencia ($p \geq 5\%$).

4.3.2. Propiedades ópticas de color

Las propiedades de color de la biopelícula de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja con adecuadas propiedades mecánicas se presentan en la tabla 11, los resultados se obtuvieron mediante el sistema CIELAB, a continuación observamos los promedios para cada valor obtenido.

Tabla 11: Coordenadas CIELab de las biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja

Muestra	L*	a*	b*	C*	h*	ΔE^*
Promedio	60.02±	2.12±	0.41±	2.62±	79.06°±	
T5	20.72	0.45	0.82	0.98	38.10	33.29±0.
Promedio	63.51±	2.05±	-	4.14±	132.94°	42
T9	11.82	0.08	1.91± 0.8	1.21	±33.67	

Dónde: L*, a*, b*: parámetros de color, C*: chroma, h*: hue, ΔE^* : variación de color.

Arrieta *et al.* (2014) en su investigación donde utilizó dos tipos de plastificantes el carvacrol y el glicerol, reportó valores de las coordenadas L* cercanas al 100 y valores negativos en la coordenada a*, en comparación con nuestros resultados los valores de L* se encuentran en promedio de 60.02 y 63.51 para el T5 Y T9 respectivamente, estos valores se acercan a 100 lo que nos indica que nuestras muestras presentan desviación hacia el color blanco y valores de a* entre 2.12 y 2.05 para ambos tratamientos, en comparación con lo que los autores indican nuestros valores fueron positivos con desviación hacia el color rojo. Arrieta *et al.* (2013) obtuvo valores de a* con una desviación hacia el color verde.

Por otro lado los resultados para la coordenada b* presentan valores menores y se encuentran entre positivos y negativos tanto para el T5 de 0.41 y -1.91 para el T9, en comparación con los valores que los autores mencionan (12 – 8), al ser positivos presentan una desviación hacia el amarillo, mientras que los valores negativos tienen una desviación hacia el azul, los de tendencia amarilla fue a causa de que presentaron concentraciones mayores de pectina y los valores con tendencia azul se debe al oscurecimiento que tuvo la biopelícula.

Los valores para la ΔE^* se encuentran entre 33.29 y 29.75, en contraste con los valores descritos por Galus & Lenart (2013), los de nuestro estudio fueron mayores ya que los autores utilizaron pectina y alginato de sodio. Además, Michaca (2004) indica, que a medida que se incrementa el glicerol, aumenta la intensidad del color, esto resulta ser un factor poco favorable para los aspectos de opacidad de la película.

Los valores de c* representan la cromaticidad para cada coordenada que se tiene para nuestras muestras los valores se encuentran entre 2.62 y 4.14, de acuerdo con Talens (2017), a valores mayores a 0 representa valores cromáticos y para h*

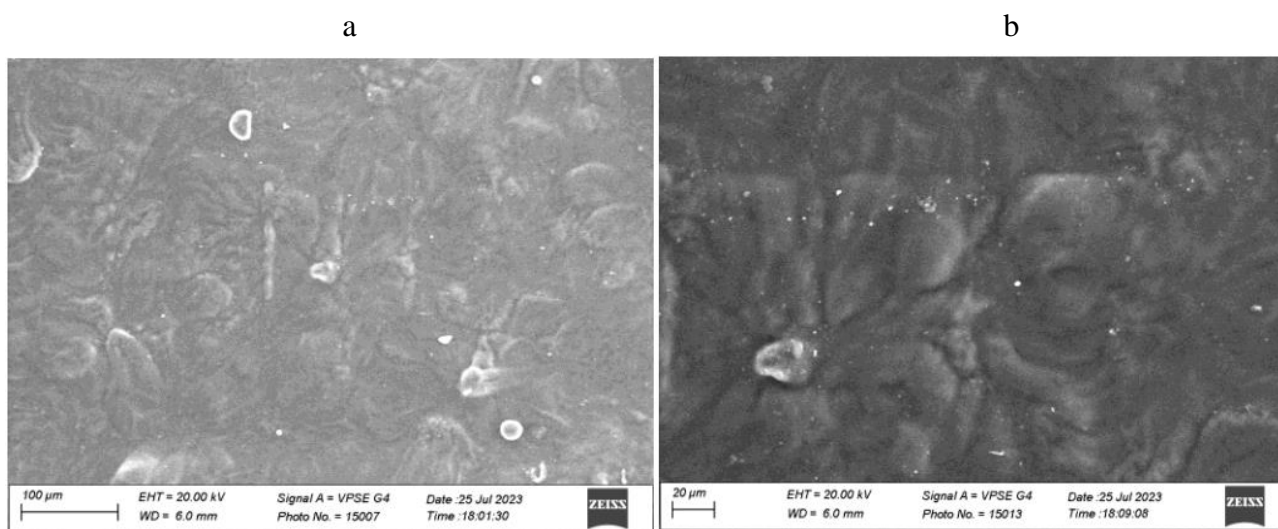
representan valores del ángulo de la tonalidad y dependen de los valores de L*. Los valores que reporto Yoplac (2019) para c*15.51 y h* 96.77, en contraste con los nuestros que fueron de 2.62 y 4.14 para c* y 79.06° y 132.94° para el ángulo de tonalidad estarían entre amarillo y verde y estarían dentro del rango.

En relación con ANOVA para las propiedades de color (**Anexo 15, 19 y 23**), no existe diferencias significativas entre los tratamientos T5 y T9 ($p \geq 5\%$) esto nos indica de que la pectina de cáscara de naranja como el almidón de oca no influyeron significativamente sobre las propiedades de color de nuestra biopelícula, excepto para b* que si existe diferencias significativas ($p \leq 5\%$) entre los tratamientos T5 y T9, además según la prueba de comparación múltiple de tukey (**Anexo 9**) el tratamiento T5 presenta mayor valor respecto a b seguidamente del tratamiento 9 a un nivel de significancia del 5%.

4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES MICROESTRUCTURALES

4.4.1. Propiedades microestructurales

El análisis microestructural de las biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja fueron realizadas en un laboratorio externo PANKARANA, mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM), se identificó las propiedades microestructurales de la interacción entre el contenido de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja, además de la textura, dimensiones y porosidad en la biopelícula tal como se muestra en la figura 16 y 17.



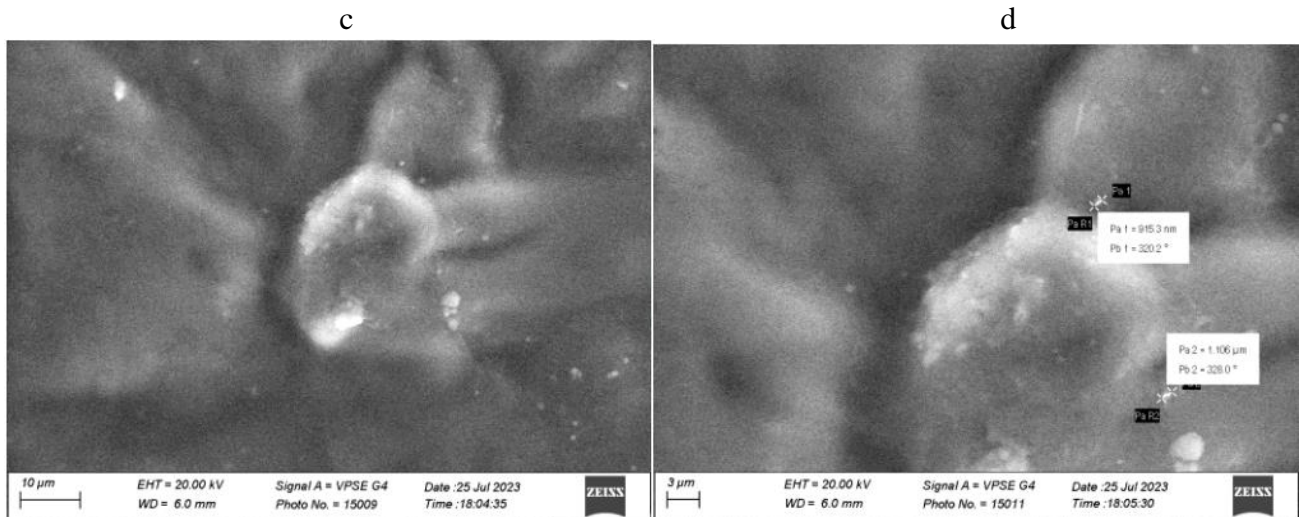


Figura 16: Análisis microestructural de las biopelículas a base de almidón de oca y pectina de cascara de naranja con adecuadas propiedades mecánicas primera muestra a: 100 µm, b: 20 µm, c: 10 µm y d: 3 µm.

El análisis microestructural de la primera muestra con adecuadas propiedades mecánicas corresponde al T9 presenta una textura irregular con incrustaciones de partículas de dimensiones variables (aglomeraciones). Las dimensiones encontradas se encuentran alrededor de 1 micra. González *et al.* (2019) indica que la morfología de sus muestras fueron lisas, elástica y con mayor luminosidad, Choque-Quispe *et al.* (2021) en las películas que realizaron de papa nativa Allcca, las imágenes mostraron estructura uniforme y sin grietas, también González *et al.* (2019) demostró que las biopelículas a base de almidón de maíz tuvo una textura más rugosa que la de almidón de oca y esto a su vez tiene que estar relacionado con las propiedades mecánicas y la rugosidad ya que mientras más lisa sea la superficie tendrá mayor elasticidad y mayor luminosidad, además Jaramillo *et al.* (2015), indica que cuanto menor sea la rugosidad de la superficie mayor será el brillo. En comparación con nuestros resultados las incrustaciones se debieron a que algunos componentes no se disolvieron correctamente durante la preparación de la solución filmogénica, también se atribuye a la disminución del tamaño de las partículas mientras se realizaba el proceso de secado durante la formación de la biopelícula.

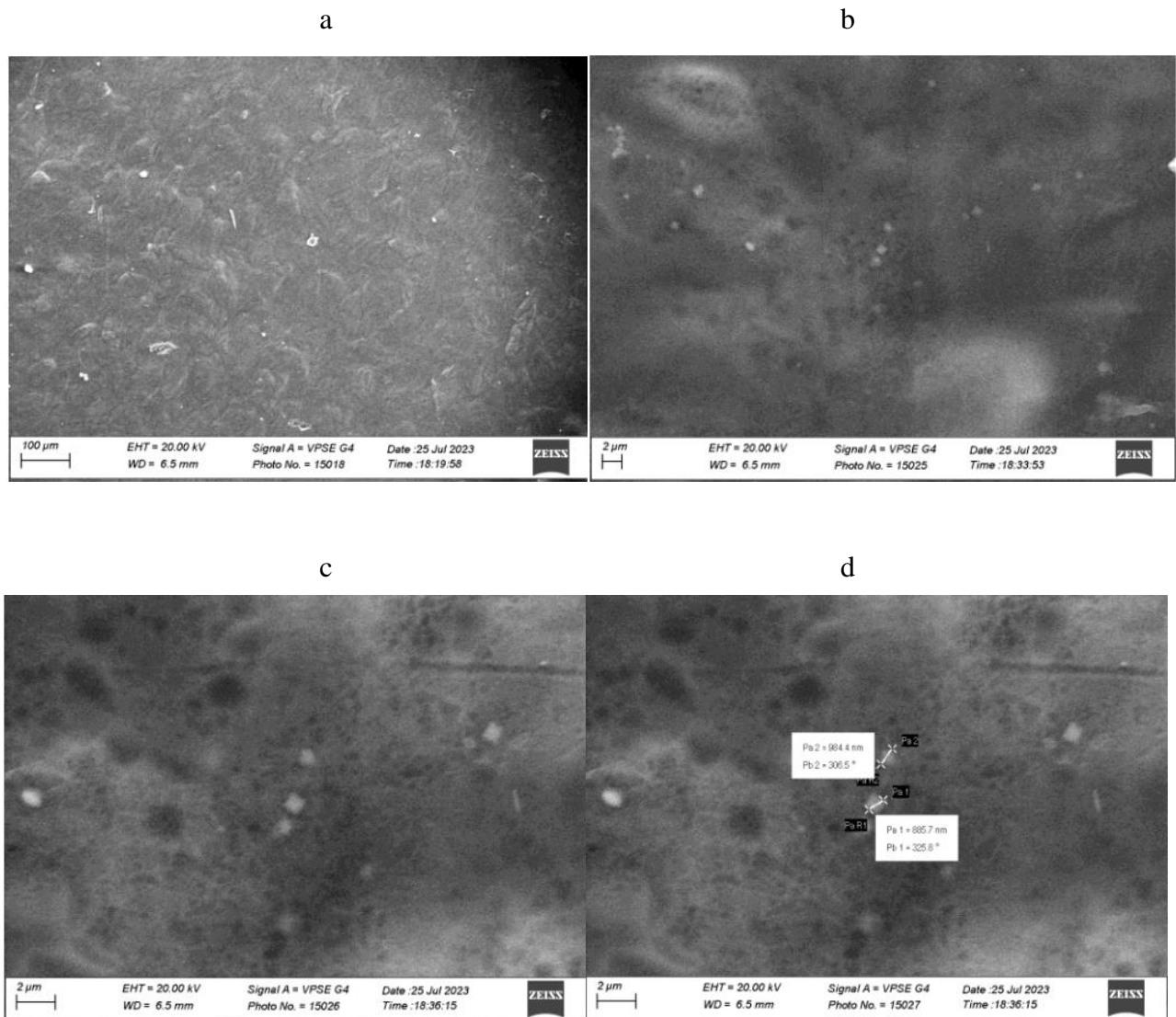


Figura 17: Análisis microestructural de la biopelícula a base de almidón de oca y pectina de cascara de naranja con adecuadas propiedades mecánicas segunda muestra a: 100 µm; b, c, d: 2 µm.

El análisis microestructural de la segunda muestra con adecuadas propiedades mecánicas que corresponde al T5, presenta una textura superficial irregular, ondulada; además, se observó la presencia de porosidad, de hasta 2 micras, en la matriz. De acuerdo al tamaño de las partículas reportados por Nuwamanya *et al.* (2010) obtuvo tamaños que oscilan entre 4,94 a 14,84 µm, en comparación con nuestros resultados se detectó la presencia de partículas, 0.8-0.9 micras, sobre la superficie y dentro de la porosidad, además las microestructuras que reportó Pérez *et al.* (2017), obtuvo un tamaño homogéneo y resultados menores a 350 µm con microestructuras granulares y fibrilares tanto en biopelículas con harina de trigo, de pericarpio de maíz y de glucanos, en comparación con nuestros resultados los

valores obtenidos presentan una forma y estructura diferente y el contenido poroso es menor, esto se debe al tipo de almidón que se utilizó.

4.5. BIODEGRADABILIDAD

Se realizó el análisis de biodegradabilidad a los tratamientos con adecuadas propiedades mecánicas (T5 y T9) esto se hizo por triplicado verificando por día el peso obteniendo como era el comportamiento del % de pérdida de peso, los resultados los observamos en la tabla 12.

Tabla 12: Biodegradabilidad de las biopelículas de oca y pectina de cáscara de naranja con adecuadas propiedades mecánicas.

Tratamientos	Masa gr. (Peso seco)	Días	Peso final seco gr.	% de pérdida de peso
Promedio T9	0.56	5.67	0.54	3.57±1.65
Promedio T5	0.542	5.67	0.52	4.06±1.72

De acuerdo a la norma europea 13432 (UNE, 2015), nos indica que en un máximo de seis meses se debería de descomponer al 90% el material o debe quedar fragmentado en segmentos pequeños, de acuerdo a nuestros resultados se evaluó hasta los 5 días logrando observar que presentaban un 5% de su descomposición para ambos tratamientos, Charro (2015) obtuvo valores entre 21.57-33.19 al cabo de 10 días, comparando con nuestros resultados dichos valores son mayores debido a que se desarrolló en medios aerobios y anaerobios, además que la principal causa de la degradación de la biopelícula es que; en condiciones aeróbicas y en contacto con el aire, los microorganismos aeróbicos ayudan a descomponer la biopelícula, liberando dióxido de carbono y logrando que el metano anaeróbico se libere durante el proceso de descomposición.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El efecto de los componentes de la biopelícula como el almidón de oca y pectina de cáscara de naranja lograron tener efecto significativo sobre las propiedades mecánicas de la biopelícula tanto para la resistencia a la tracción como para el porcentaje de elongación, generando valores aceptables en comparación con otro tipo de biopelículas. Por lo tanto, podemos afirmar que la interacción entre componentes es una fase importante para la construcción de una buena biopelícula.

Al analizar las propiedades ópticas se identificó que los valores obtenidos fueron influenciados por la proporción de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja en la formulación de la biopelícula; tanto para la transparencia y el color, se demostró que la adición de los complementos en la formulación de las biopelículas disminuyó el valor de transparencia.

Las propiedades microestructurales de las biopelículas fueron descritas por la forma y textura, dimensión y porosidad, presentaron valores diferentes debido a que los componentes de la biopelícula poseen múltiples características en cuanto a su formulación; diferente porcentaje de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja, además de poseer distintos espesores.

5.2. RECOMENDACIONES

- Estudiar el rendimiento del almidón considerando que esto ayudará a obtener una biopelícula más exacta.
- Evaluar el cambio de fase entre las transiciones de la biopelícula como son la temperatura de transición vítrea.
- Evaluar el efecto que tiene la biopelícula si se va a utilizar como envase biodegradable o como recubrimiento en alimentos frescos.
- Determinar el impacto de la permeabilidad de vapor de agua en las características mecánicas de la biopelícula hecha de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja.
- Evaluar algún método para eliminar las burbujas que se forman al momento de realizar la solución filmogénica para obtener la biopelícula a base de almidón de oca y pectina de cáscara de naranja.
- Sustituir cada concentración de almidón, pectina, glicerina y ácido acético, junto con la temperatura de gelatinización y secado de la solución filmogénica, para encontrar el valor exacto para que se pueda realizar la biopelícula a nivel industrial.
- Realizar estudios microbiológicos para que sea adecuada para envase o envoltura de alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J., Gomajoa, H., Benavides, Y., Charfuelan, A., & Valenzuela, F. (2018). Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. *Bionatura Conference*, 1(1). <https://doi.org/Almidón; bioempaques; plastificantes; papa de cuarta categoría; resistencia; biodegradabilidad>.
- Alarcón, F., & Dufour, D. (1998). Almidón agrio de yuca en Colombia. In *Neuropharmacology* (Vol. 18, Issue 6). [https://doi.org/10.1016/0028-3908\(79\)90103-5](https://doi.org/10.1016/0028-3908(79)90103-5)
- Almeida, S. (2001). *Elaboração e caracterização de filmes comestíveis biodegradáveis a base de proteínas miofibrilares de origem bovina*. Universidade Estadual de Campinas.
- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutricion*, 43(4), 394–399. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>
- Anderson, R., Conway, H., & Peplinski, A. (1970). Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch-Starke*, 22, 130–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/STAR.19700220408>
- AOAC. (2000). *Guía técnica para producción y análisis de almidones*.
- Apaza, B. (2018). *Extracción y caracterización del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) de la variedad k'ellu kamusa* [Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/503>
- Araujo, C., Rincón, A., & Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2).
- Arévalo, V., Azucena, G., & Laínez, S. (2018). *Formulación y caracterización de una biopelícula comestibles elaborada a partir de almidón de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y yuca (*Manihot esculenta*)*. Universidad de El Salvador.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *FAO*, 163, 134. <https://doi.org/9253056770-9789253056774>
- Arrieta, M., Peltzer, M., Garrigós, M. D. C., & Jiménez, A. (2013). Structure and mechanical properties of sodium and calcium caseinate edible active films with

- carvacrol. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 486–494.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.002>
- ASTM. (2012). *D882-10 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas*. doi:10.1520/D0882-10
- ASTM. (2018). *D5988. Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation in Soil of Plastic Materials or Residual Plastic Materials after Composting*. American Society for Testing Materials. <https://doi.org/10.1520/D5988-18>
- Bae, H., Park, H., Hong, S., Byun, Y., Darby, D., Kimmel, R., & Whiteside, W. (2009). Effect of clay content, homogenization RPM, pH, and ultrasonication on mechanical and barrier properties of fish gelatin/montmorillonite nanocomposite films. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1179–1186.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.016>
- Ballesteros, L., Pérez, C., & Andrade, R. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20(June), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002>
- Beltran, M., & Marcilla, A. (2002). *Estructura Y Propiedades De Los Polimeros*.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2011). Tipos de plásticos, reciclado, aditivación y mezclado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2, 20.
- Bernabé, Y., & Cancho, F. (2017). *Caracterización fisicoquímica, fitoquímica y funcional de la harina de Khaya y Oca (Oxalis tuberosa) para uso industrial* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. uri: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1221>
- Brako, L., & Zarucchi, J. (1993). Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú. In *Natural ridge Road* (Vol. 49, Issue 4).
- Buensuceso, V. (2010). *Elaboración Y Caracterización De Biopelículas a Partir De Almidón De Yuca (Manihot Esculenta Crantz)*.
<http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/25079>
- Cajamarca, E. (2010). *Evaluación nutricional de la oca (oxalis tuberosa) fresca, endulsada y deshidratada en secador de bandejas*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Camacho, M., Vega, J., & Campos, A. (2011). *Uso De Nanomateriales En Polímeros Para La Obtención De Bioempaques En Aplicaciones Alimentarias*. 77(4), 292–306. <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/uso-de-nanomateriales-en-polimeros-para-la-obtencion-de-bioempaques-en-aplicaciones-alimentarias>
- Campos, D., Chirinos, R., Gálves, L., & Pedreshi, R. (2018). Bioactive Potential of Andean Fruits, Seeds, and Tubers. *Adv Food Nutr Res*, 84, 287–343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.12.005>
- Campuzano, F. (2018). *Normativas y regulaciones para polimeros biodegradables y compostables*. <https://www.plastico.com/es/noticias/normativas-y-regulaciones-para-polimeros-biodegradables-y-compostables>
- Canevarolo, S. (2003). *Polymer Characterization Techniques. Técnicas de Caracterização de Polímeros* (Artliber).
- Castro, E., & De Hombre, R. (2007). Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. In *Universidad de Chile*. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121381>
- Charles, A., Huang, T., Lai, P., Chen, C., Lee, P., & Chang, Y. (2007). Study of wheat flour–cassava starch composite mix and the function of cassava mucilage in Chinese noodles. *Food Hydrocolloids*, 21(3), 368–378. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.04.008>
- Charro, M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de atata*. Universidad Central del Ecuador.
- Cobana, M., & Antezana, R. (2007). Proceso de extracción de almidón por vía seca. *Revista Boliviana de Química*, 24(1), 77–83.
- Cubero, N., Monferrer, A., & Villalta, J. (2002). *Aditivos alimentarios* (Mundi-Pr).
- Cuya, R. (2009). *Efecto de secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (Tropaeolum tuberosum R & P)*. [Universidad Nacional Agraria La Molina]. http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1703/TAL_15-119-TM.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1703/TAL_15-119-TM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- De Moraes, J. O., Scheibe, A. S., Sereno, A., & Laurindo, J. B. (2013). Scale-up of the

- production of cassava starch based films using tape-casting. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 800–808. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.009>
- Del Angel, F. M. (2019). *Películas para Recubrimiento de alimentos a base de pectina, alginato y quitosano*. Instituto Tecnológico Nacional De Mexico.
- Delpeuch, F., & Favier, J. C. (1980). Caractéristiques des amidons de plantes alimentaires tropicales. *Ann. Technol. Agric.*, 29(I), 53–67.
- Escobar, J. (2020). *Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón*. Universidad Autónoma Del Estado De México.
- Espitia, P. J., Du, W. X., Avena, R. de J., Soares, N. de F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, 35, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>
- Fairlie, T., Holle, M., & Morales, M. (1999). *Raíces y tubérculos andinos. Avances de investigación* (p. 241).
- FAO. (2006). *Tubérculos andinos*. Asociación Nacional de Productores Ecológicos Del Perú. http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodali
- FAO. (2020). *Cultivos tradicionales*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/traditional-crops/oca/es/>
- Figura, L., & Teixeira, A. (2007). *Food Physics*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-34194-9>
- Galus, S., & Lenart, A. (2013). Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Food Engineering*, 115(4), 459–465. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.006>
- García, A. (2010). *Estudio del comportamiento reológico de las pectinas con diferente grado galacturonico obtenida a partir de citrus paradisi (GRAY FRUIT)*. Universidad de El Salvador.
- García, O., Pinzón, M., & Sánchez, L. (2012). Extracción y propiedades funcionales del

almidón de yuca, manihot esculenta, variedad ica, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1), 13–21.

http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMENTECH/article/view/382

Gerencia Regional de Agricultura. (2019). Cultivos del Perú para el mundo. *Cultivos y Sabores Para El Perú y El Mundo*, 1.

Giannoni, D. (2008). *Oca*. Peruecologico. https://www.peruecologico.com.pe/tub_oca.htm

González, F., Velazquez, A., Perea, J., Vivar, G., & Jiménez, J. (2019). Caracterización fisicoquímica y microestructural de biopelículas a base de almidón nativo de “Oxalis tuberosa.” *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*, 7(1), 1586–1593.

González, R. E., Tarón-Dunoyer, A. A., & Cuadro Mogollón, O. F. (2018). Effect of microcapsules incorporation on the mechanical and barrier properties of binary films: *Informacion Tecnologica*, 29(3), 81–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300081>

Grace, M. (1977). *Elaboración de la yuca*.

Guerra, A. (2014). *Estudio de la utilización de la harina de mashua (Tropaeolum tuberosum) en la obtención del pan de molde*. Universidad Tecnológica Equinoccial.

Guizar, A. (2009). *Obtención y caracterización física y química del almidón de “camote de cerro” (dioscórea spp.)*. Centro Interdisciplinario de Investigación Para El Desarrollo Integral Regional.

Hart, F., & Fisher, H. (1991). *Análisis moderno de los alimentos* (Acribia).

Hermosa, G. (2013). *Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (Tropaeolum tuberosum R&P) y oca (Oxalis tuberosa Mol)* [Universidad Nacional del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3410/Hermosa_Mendoza_Gisela del Carmen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3410/Hermosa_Mendoza_Gisela%20del%20Carmen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hernández, A., Méndez, G., Velázquez, M., Solorza, J., & Bello, L. (2004a). Isolation and partial characterization of mexican oxalis tuberosa starch. *Biosynthesis Nutrition*

- Biomedical*, 56(8), 357–363. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.200300235>
- Hernández, A., Méndez, G., Velázquez, M., Solorza, J., & Bello, L. (2004b). Isolation and Partial Characterization of Mexican Oxalis tuberosa Starch. *Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 56(8), 357–363. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.200300235>
- Hosseini, S., Khodaiyan, F., Kazemi, M., & Najari, Z. (2019). Optimization and characterization of pectin extracted from sour orange peel by ultrasound assisted method. *Int J Biol Macromol*, 15(125), 621–629. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.096>
- Huzaisham, N., & Marsi, N. (2020). Utilization of banana (Musa paradisiaca) peel as bioplastic for planting bag application. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 11(4), 108–118. <https://doi.org/10.34218/IJARET.11.4.2020.013>
- INEI. (2022). Informe técnico: comportamiento de los indicadores de mercado laboral a nivel nacional, 2021. *Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2021*, 1–44. http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/01-informe-tecnico-n01_empleo-nacional_oct-nov-dic2019.pdf
- INEN. (2013). Norma General del Códex para frutas y vegetales. *General Standard for Food Additives*, 317. <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/ACTUALIZACION/04112014/192-CODEX-UNIDO.pdf>
- INIA. (2004). Análisis químico proximal de la oca. *Instituto Nacional de Investigacion e Innovacion Agraria*, 2. https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/oca/INIA_407.pdf
- Jaramillo, C., González, P., Goyanes, S., Bernal, C., & Famá, L. (2015). Biofilms based on cassava starch containing extract of yerba mate as antioxidant and plasticizer. *Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 67(9–10), 780–789. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201500033>
- Karam, L. B., Ferrero, C., Martino, M. N., Zaritzky, N. E., & Grossmann, M. V. E. (2006). Thermal, microstructural and textural characterisation of gelatinised corn, cassava and yam starch blends. *International Journal of Food Science and Technology*,

41(7), 805–812. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01110.x>

La cámara. (2021). *Oportunidades comerciales de frutas cítricas en el mundo*. Cámara de Comercio de Lima.

León, L., & Moscicki, J. (2009). Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries. In *Вестник Росздравнадзора* (Vol. 4, Issue 1).

Lindeboom, N., Chang, P., & Tyler, R. (2004). Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. *Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 56, 89–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.200300218>

Lopes, I., Santos, J., Da Silva, D., Da Silva, L., Barros, A., Villa-Vélez, H., & Santana, A. (2017). Characterization of Pectin Biofilms with the Addition of Babassu Mesocarp and Whey Protein Concentrate. *American Journal of Materials Science*, 2017(3), 64–70. <https://doi.org/10.5923/j.materials.20170703.04>

Madrigal, L., Hernandez, J., Carrasco, M., Calvo, M., & Casas, R. (2018). Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de Malanga (colocasia esculenta L. Schott). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 68.

Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2005). Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.05.002>

Maniglia, B. (2017). *Aproveitamento de resíduos agroindustriais para elaboração de filmes biodegradáveis*. Universidade de São Paulo.

Mark, J., Peterson, B., Eman, B., Bahar, I., & Kloczkowski, A. (2001). High performance biodegradable materials from oriented starch derivatives. *United States Patent*, 1(12), 9.

Mazzeo, M., Alzate, A., & Marín, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico Hartón (Musa aab simmonds). *Vector*, 3, 57–69.

Medina, E., & Uscca, Y. (2018). “Elaboración de cupcakes a partir de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), utilizando como agentes Fermentadores Leudantes Químicos” [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3263170#.YIrfEMJ9nx4>

.mendeley

- Méndez, A. (2010). *Glicerol*. La Guía de Química. <https://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/glicerol>
- Mendoza, F., Dejmek, P., & Aguilera, J. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, *41*(3), 285–295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.004>
- Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, *8*, 57–67.
- Michaca, M. (2004). *Efecto de la adición de glicerol, como agente plastificante en las propiedades fisicoquímicas de las películas de zeína*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- MIDAGRI. (2023). *Dinámica de Producción agrícola en el departamento de Puno*. 1–8.
- Mikus, P., Alix, S., Lacrampe, M., Krawczak, P., Coqueret, X., & Dole, P. (2014). Deformation mechanisms of plasticized starch materials. *Carbohydr Polym*, *19*(114), 450–457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.06.087>
- Mohanty, A. K., Khan, M. A., & Hinrichsen, G. (2000). Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics - polyester amide composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *31*(2), 143–150. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(99\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(99)00057-3)
- Mondovi, M. (2007). *Aditivos Alimentarios*. SILVATEAM. <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina.html>
- Mongui, L. M., & Quintero, S. S. (2021). *Generación de bioplástico a base del almidón producido por la semilla del aguacate* [Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28699/MonguíTorresLinaMarcela2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Novelo, L., & Betancur, D. (2005a). Chemical and functional properties of Phaseolus lunatus and Manihot esculenta starch blends. *Starch/Staerke*, *57*(9), 431–441.

<https://doi.org/10.1002/star.200500398>

- Novelo, L., & Betancur, D. (2005b). Chemical and Functional Properties of Phaseolus lunatus and Manihot esculenta Starch Blends. *Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 57(9), 431–441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.200500398>
- Nuwamanya, E., Baguma, Y., Emmambux, N., Taylor, J., & Patrick, R. (2010). Physicochemical and functional characteristics of cassava starch in Ugandan varieties and their progenies. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2(1), 1–11. <http://www.academicjournals.org/jpbcs>
- Ordoñez, M. (2013). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y morfológicas de almidón de Yuca (Manihot esculenta Crantz) y de las proteínas del suero de la leche como encapsulantes de limoneno*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ortiz, V., Velasco, R., Fernandez, A., Enriquez, M., & Roa, D. (2015). Obtención de una película a base de almidón hidroxipropilado producida por extrusión soplado. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 90–98.
- Ortuño, Á. (1999). Introducción a la química industrial. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Reverté). [http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB 2.pdf](http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB%202.pdf)
- Osorio, A., & Rubiano, K. (2019). *Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banana y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio*. Universidad de América.
- Palma, H., Salgado, R., Páramo, D., Vargas, A., & Meza, M. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria*, 27(1), 26–33. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1215>
- Pastuizaca, M. (2020). *Obtención de una biopelícula a partir de la oca (Oxalis tuberosa) y de la yuca (Manihot esculenta) para la utilización como envoltura de alimentos*. Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Pérez, J., Castañeda, A., Contreras, E., Bautista, M., Velázquez, C., & Cariño, R. (2017). Desarrollo de biopelículas termoplastificadas a base de arabinoxilanos extraídos del bagazo de cebada. *Tópicos de Investigación En Ciencias de La Tierra y Materiales*,

4, 37–43. <https://doi.org/10.29057/aactm.v4i4.9378>

- Pertuz, A. (2021). *Biopolímeros a base de almidón de papa (Solanum tuberosum), para uso de la industria alimentaria en Colombia* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/41710>
- Pires, C., Ramos, C., Teixeira, G., Batista, I., Mendes, R., Nunes, L., & Marques, A. (2011). Characterization of biodegradable films prepared with hake proteins and thyme oil. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 422–428. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.036>
- Protzman, T. F., Wagoner, J. A., & Young, A. H. (1967). Process of casting amylose films. *US Patent*, 3344216.
- Quintero, D., & Ramírez, J. (2013). *Estudio del mecanismo de gelatinización del almidón de yuca*. Universidad de Los Andes.
- Raj, B., & Somashekar, R. (2003). Structure–property relation in polyvinyl alcohol/starch composites. *Applied Polymer Science*, 91(1), 630–635. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.13194>
- Ramírez-Gavidia, T. C., González-Colmenares, N. M., & Guerrero-Pernía, E. K. (2020). Orange residue pectin applying the 3R principle. *Aibi, Revista de Investigacion Administracion e Ingenierias*, 8(2), 84–91. <https://doi.org/10.15649/2346030X.819>
- Ramos, M., Cadenas, M., Bolio, G., Leo, G., Maciel, A., Castañeda, C., & Ramos, J. (2020). Biopelículas a base de pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*): Caracterización física, química y estructural Biofilms. *Agroindustrial Science*, 10(3), 235–239.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Nutritional value and use of the andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19(1–2), 179–189. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>
- Ríos, A. (2017). *Producción de papel artesanal a partir de residuos de cáscaras de naranja de las juguerías del Mercado Tahuantinsuyo*. Universidad Cesar Vallejo.
- Rodrigues, N., de Souza, J., Rodrigues, R., Canteri, M., Tramontin, S., & de Francisco, A. (2020). Starch-based foam packaging developed from a by-product of potato

- industrialization (*Solanum tuberosum* L.). *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(7).
<https://doi.org/10.3390/app10072235>
- Rodríguez, K., & Román, A. (2004). *Extracción y evaluación de pectina a partir de la cáscara de naranja de las variedades Citrus sinensis y Citrus paradisi y propuesta de diseño de planta piloto para su producción*. Universidad El Salvador.
- Royer, S., Ferrón, S., Wilson, S., & Karl, D. (2018). Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *Ocean and Earth Science and Technology*, 235(5), 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574>
- Ruiz, G. (2005). *Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca* [Universidad EAFIT]. <https://core.ac.uk/download/pdf/47250396.pdf>
- SAGARPA. (2016). Cítricos: Limón, Naranja y Toronja Mexicanos. *Planeación Agrícola Nacional*, 1–23.
- Salinas, Y., Herrera, J. ., Castillo, J., & Pérez, P. (2003). Cambios físico-químicos del almidon durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza de grano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 53(2), 188–193.
- Sarkar, A., & Pérez, S. (2012). PolySac3DB: an annotated data base of 3 dimensional structures of polysaccharides. *BMC Bioinformatics*, 13(1).
<https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-302>
- Scheibe, A., De Morales, J., & Laurindo, J. (2014). Production and characterization of bags from biocomposite films of starch-vegetal fibers prepared by tape casting. *Food Process Engineering*, 37(5), 482–492.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.12105>
- Senit, J., Velasco, D., Gomez, A., Sanchez, M., Manuel, J., Santos, V., Garcia, F., Yustos, P., & Ladero, M. (2019). Orange peel waste upstream integrated processing to terpenes, phenolics, pectin and monosaccharides: Optimization approaches. *Industrial Crops and Products*, 134, 370–381.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.060>
- Sernaqué, F. A., Huamán, L. del C., Pecho, H., & Chacón, M. E. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca. *Centro Agrícola*, 47(4), 22–31.

<http://cagricola.uclv.edu.cu>

Smith, R. (1967). Characterization and Analysis of Starches. *Starch: Chemistry and Technology*, 2, 620–625.

Solano, L. G., Alamilla, L., & Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>

Suquilanda, M. B. (2018). Producción orgánica de cultivos andinos. *UNOCANC*, 126, 199.

http://www.mountainpartnership.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf

Talens, O. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. *Tecnología de Alimentos*, 1–7. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/Talens - Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB.pdf?sequence=1>

Tapia, M., & Fries, A. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB_2.pdf

Techeira, N., & Perdomo, B. (2014). Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca, batata y ñame, cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39, 191–197.

Torres, J., González, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *RECITEIA*, 14(2), 63–75. https://www.researchgate.net/publication/283352303_Analisis_del_Perfil_de_Textura_en_Frutas_Productos_Carnicos_y_Quesos

Trujillo, C. (2014). *Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (Manihot Esculenta Crantz) doblemente modificado para su uso en empaque de alimentos* [Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1>

UNE. (2015). *13432:2001 Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes*

valorizables mediante compostaje y biodegradación.
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>

Vaclavik, V. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos*.

Valcárcel, B., Rondán, G. G., & Finardi, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* molina), olluco (*Ullucus tuberosus* caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* ruiz & pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 453–464.
<https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>

Van Buggenhout, S., Sila, D. N., Duvetter, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Pectins in processed fruits and vegetables: Part III - Texture engineering. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 105–117.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00072.x>

Wang, L., Liu, L., Holmes, J., Kerry, J., & Kerry, J. (2007). Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films. *Food Science and Technology*, 42(9), 1128–1138.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01440.x>

Wang, S. (2020). Starch Structure, Functionality and Application in Foods. In *Starch Structure, Functionality and Application in Foods*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0622-2_2

Whistler, R., BeMiller, J., & Paschall, E. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*.

Wu, K. J., Wu, C. S., & Chang, J. S. (2007). Biodegradability and mechanical properties of polycaprolactone composites encapsulating phosphate-solubilizing bacterium *Bacillus* sp. PG01. *Process Biochemistry*, 42(4), 669–675.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.12.009>

Yoplac, I. (2019). *Desarrollo de biopelículas activas con aceite esencial de citral microencapsulado y su efecto en la carga microbiana del queso fresco*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

ANEXOS

ANEXO 1. Determinación del contenido de amilosa/amilopectina

Contenido de amilosa

El contenido de amilosa estuvo basado en el método utilizado por Anchundia *et al.* (2016), donde se mezcló 80 mg de almidón con 10 ml de dimetilsulfóxido (DMSO) en un matraz Erlenmeyer de 150 ml, se agitó hasta obtener una mezcla homogénea con la ayuda de un agitador. Seguidamente se calentó la mezcla a baño maría a 85°C por un periodo de 30 min. Luego, los tubos fueron colocados en una estufa a 100°C durante 30 minutos. Después, se utilizó 0.5 ml de la solución y se mezcló con 25 ml de agua destilada y 1 ml de solución de lugol, luego se completó hasta 50 ml con agua destilada. Posteriormente, las muestras se colocaron en el espectrofotómetro a 635 nm para determinar el valor azul y el porcentaje de amilosa en el almidón, se utilizó las siguientes ecuaciones (12) (13).

$$\text{Valor azul} = \frac{\text{Absorbancia}}{2 * \text{gr. de solución} * \text{mg de almidón}} * 100 \quad (12)$$

$$\% \text{ de amilosa} = (28.414 * \text{valor azul}) - 6.218 \quad (13)$$

Para determinar el contenido de amilopectina se empleó el método de resta del 100% del contenido de amilosa detectado.

ANEXO 2. Determinación del índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.

Esta técnica fue empleada por Anderson *et al.* (1970), se pesaron tubos de centrífuga secos a una temperatura de 60°C. Después, se pesaron los tubos con 1.25 g de almidón y se añadieron 30 ml de agua destilada caliente a 60°C. Los tubos se colocaron en el agua a 60°C durante 30 minutos, agitando la suspensión después de 10 minutos de comenzar el calentamiento. Fue centrifugado a temperatura ambiente durante 30 minutos a 4900 revoluciones por minuto. Después de la centrifugación, se separó el líquido superior y se determinó su volumen. 10 ml del líquido sobrenadante fueron transferidos a un vaso de precipitados de 50 ml y secados en un horno a 70 °C durante 24 horas. Luego, se pesó el tubo de la centrífuga con el gel y el vaso de precipitados con la parte insoluble. Se realizó el cálculo mediante las siguientes ecuaciones (14) (15).

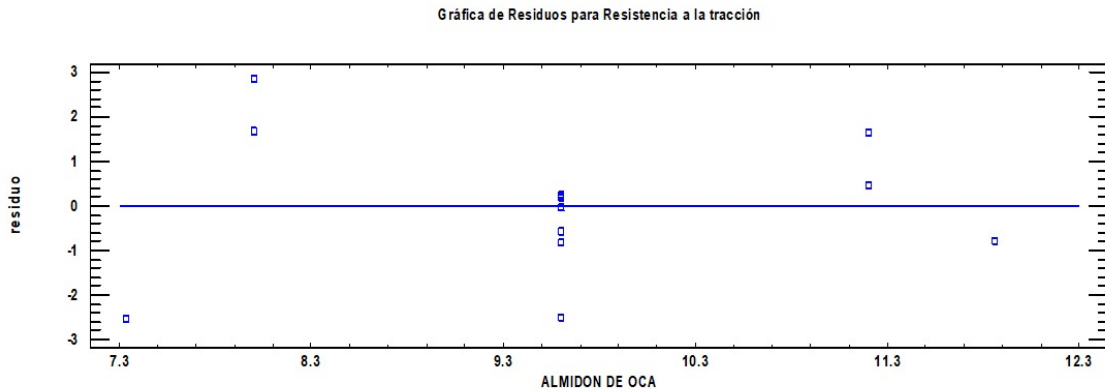
$$ISA = \frac{\text{peso soluble } g * V * 10}{\text{Peso de la muestra } g (bs)} \quad (14)$$

$$PH = \frac{\text{peso del gel } (g)}{\text{peso de la muestra } g (bs) - \text{peso soluble total } (g)} \quad (15)$$

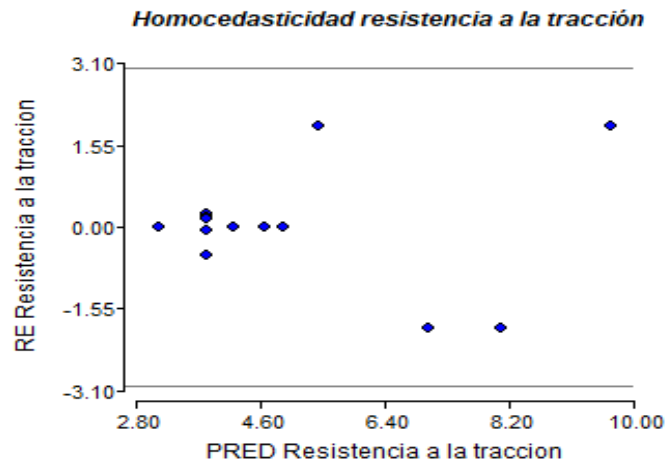
ANEXO 3. Análisis de varianza para resistencia a la tracción

Fuente	Suma de Cuadrados	<u>Gl</u>	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:ALMIDÓN DE OCA	3.97274	1	3.97274	34.64	0.0042
B:PECTINA	0.331491	1	0.331491	2.89	0.1644
AA	12.0524	1	12.0524	105.08	0.0005
AB	4.99523	1	4.99523	43.55	0.0027
BB	3.95216	1	3.95216	34.46	0.0042
Error puro	0.4588	4	0.1147		
Total (<u>corr.</u>)	52.0985	12			

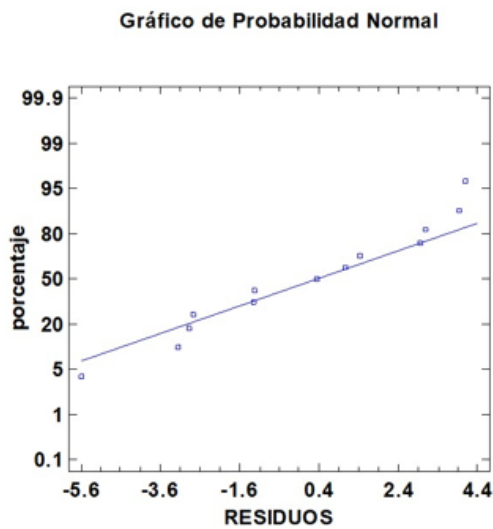
ANEXO 4. Gráfica del supuesto de independencia de residuos para resistencia a la tracción



ANEXO 5. Gráfica del supuesto de homocedasticidad para resistencia a la tracción



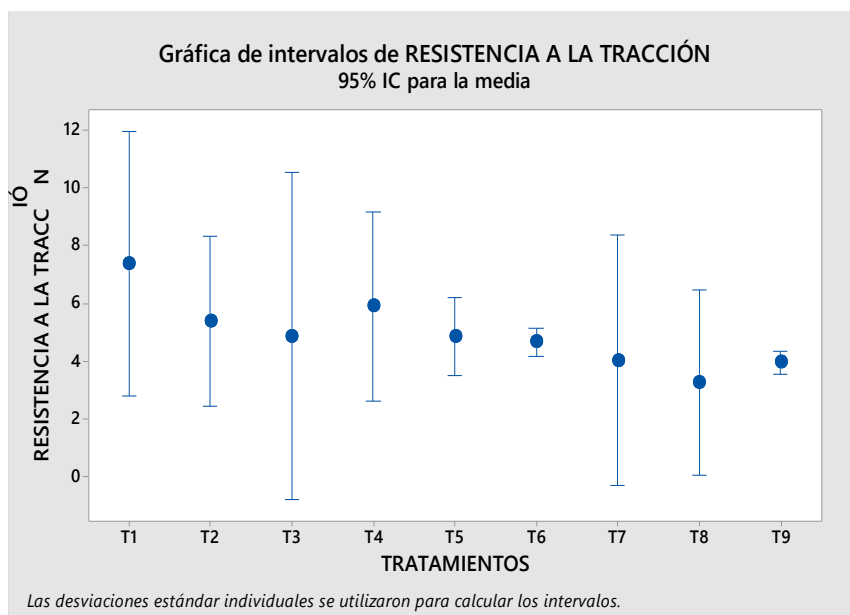
ANEXO 6. Gráfica del supuesto de normalidad para resistencia a la tracción



ANEXO 7. Prueba de comparaciones para Resistencia a la tracción

COMPARACIONES PARA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN				
TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación	
T1	3	7.39259	A	
T4	3	5.91102	A	B
T2	3	5.38906	A	B
T3	3	4.87419	A	B
T5	3	4.87221	A	B
T6	3	4.66556	A	B
T7	3	4.04104	A	B
T9	3	3.96792	A	B
T8	3	3.27071	B	

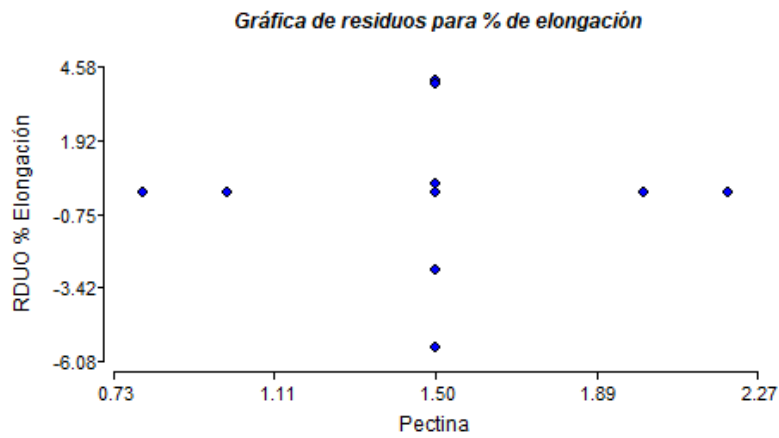
ANEXO 8. Gráfica de comparaciones para Resistencia a la tracción



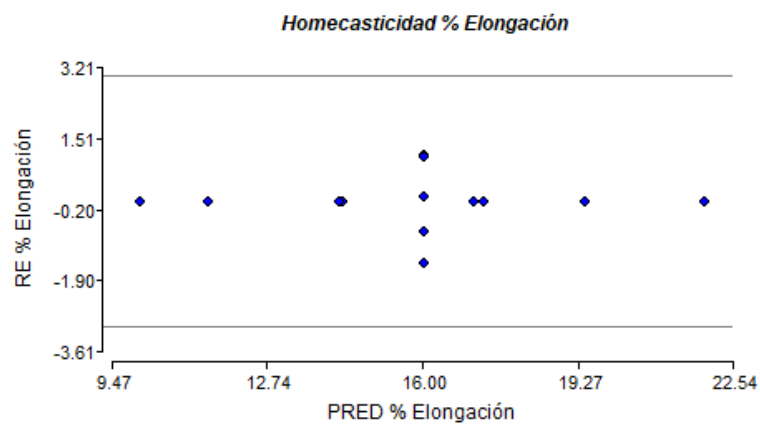
ANEXO 9. Análisis de varianza para % de Elongación

Fuente	Suma de Cuadrados	<u>Gl</u>	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:ALMIDÓN DE OCA	4.74125	1	4.74125	0.27	0.6338
B:PECTINA	3.09305	1	3.09305	0.17	0.6988
AA	19.9275	1	19.9275	1.11	0.3507
AB	6.25	1	6.25	0.35	0.5862
BB	27.6177	1	27.6177	1.54	0.2819
Falta de ajuste	42.6096	3	14.2032	0.79	0.5575
Error puro	71.5376	4	17.8844		
Total (<u>corr.</u>)	182.826	12			

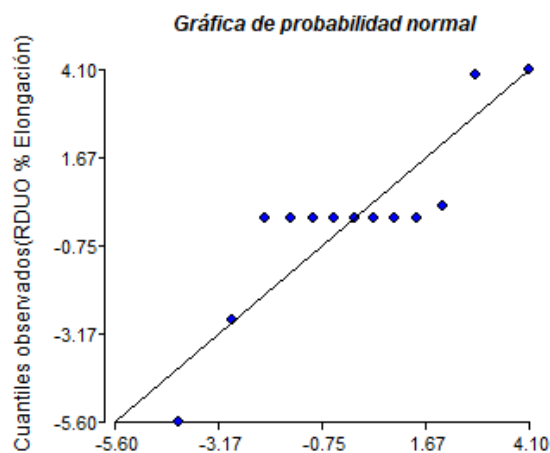
ANEXO 10. Gráfica del supuesto de independencia de residuos para % de elongación



ANEXO 11. Gráfica del supuesto de homocedasticidad para % de elongación



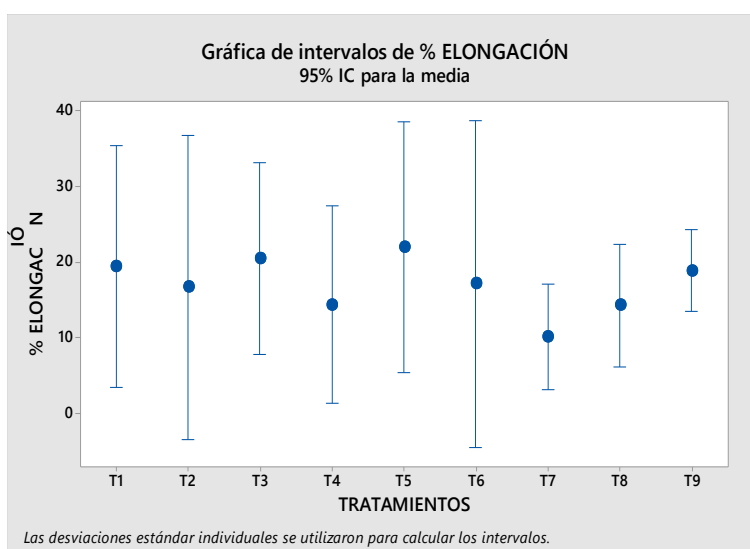
ANEXO 12. Gráfica del supuesto de normalidad para % de elongación



ANEXO 13. Prueba de comparaciones para % de Elongación

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
T5	3	21.95	A
T3	3	20.5083	A
T1	3	19.4417	A
T9	3	18.8861	A
T6	3	17.1	A
T2	3	16.6542	A
T4	3	14.3417	A
T8	3	14.2542	A
T7	3	10.0625	A

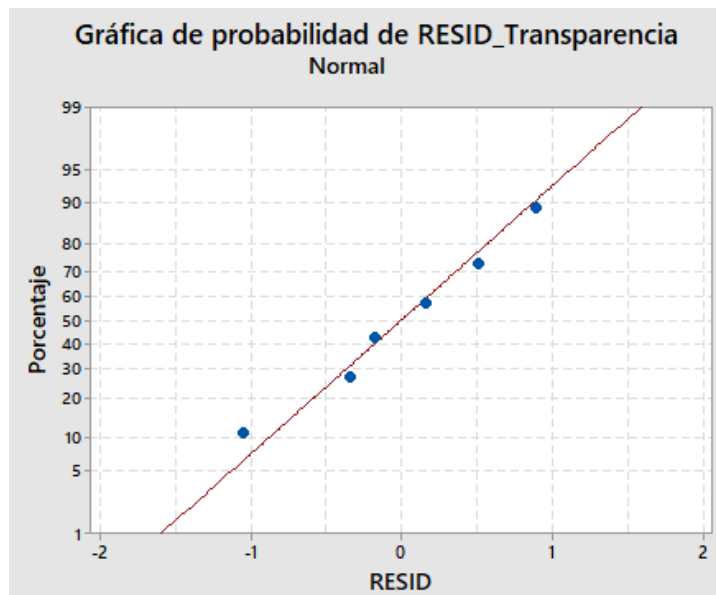
ANEXO 14. Gráfica de comparaciones para % de Elongación



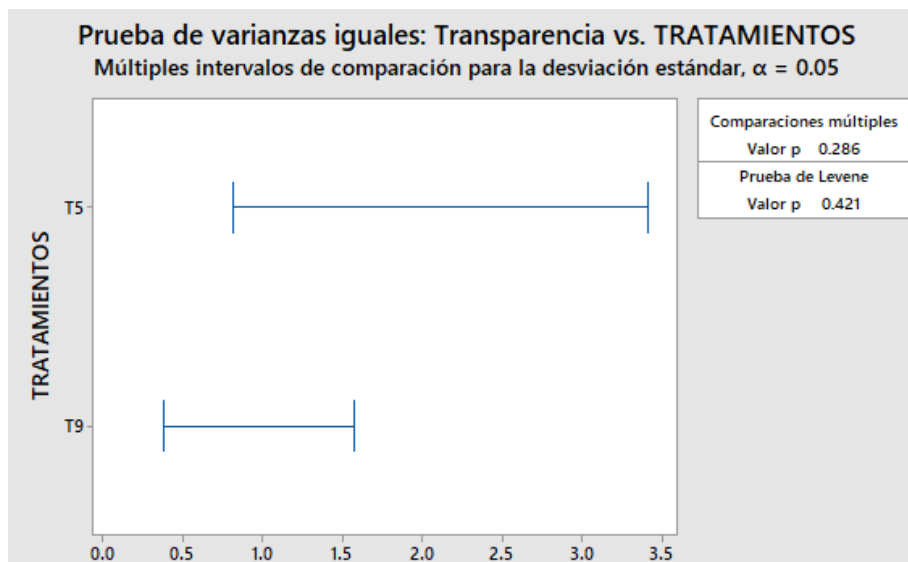
ANEXO 15. Análisis de varianza para transparencia

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTOS	1	0.08512	0.08512	0.15	0.722
Error	4	2.33198	0.583		
Total	5	2.4171			

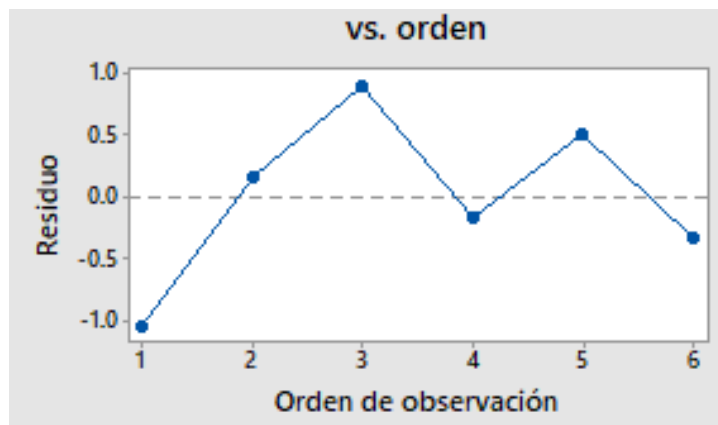
ANEXO 16. Gráfica del supuesto de normalidad para transparencia



ANEXO 17. Gráfica del supuesto de varianza constante para transparencia



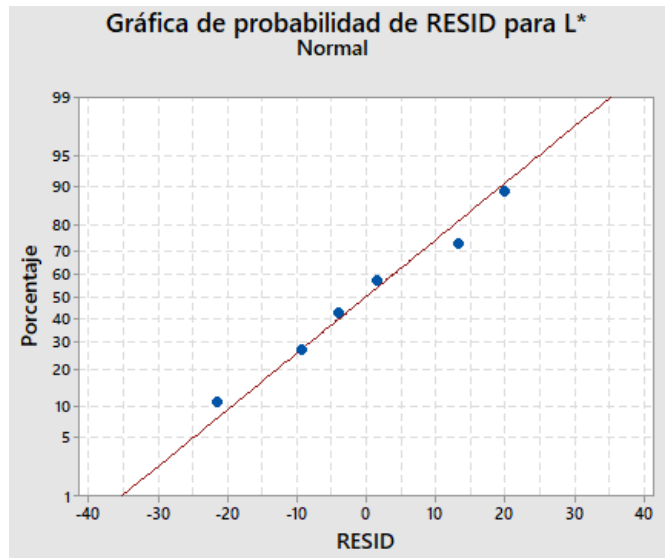
ANEXO 18. Gráfica del supuesto de independencia para transparencia



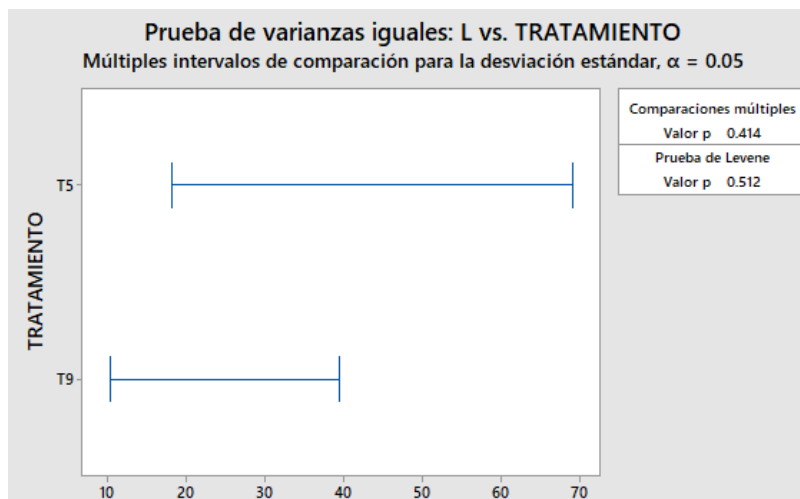
ANEXO 19. Análisis de varianza para color L*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	1	18.26	18.26	0.06	0.812
Error	4	1137.92	284.48		
Total	5	1156.18			

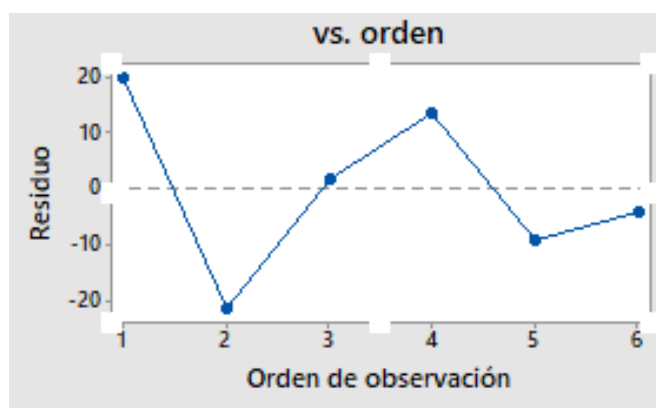
ANEXO 20. Gráfica del supuesto de normalidad para L*



ANEXO 21. Gráfica del supuesto de varianzas constantes para L*



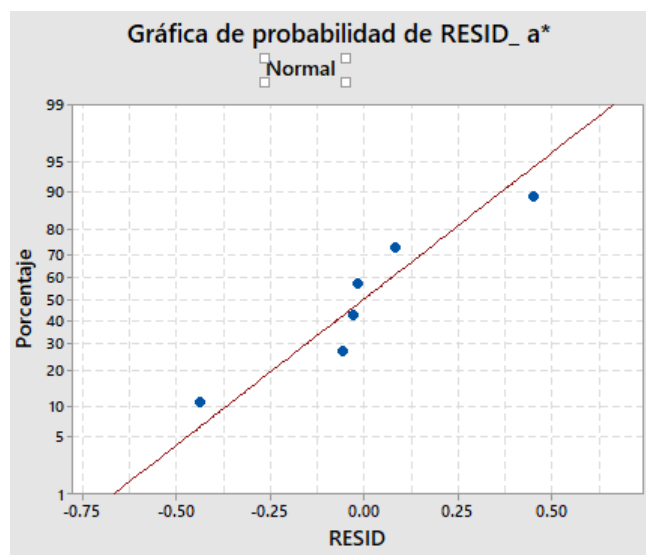
ANEXO 22. Gráfica del supuesto de independencia para L*



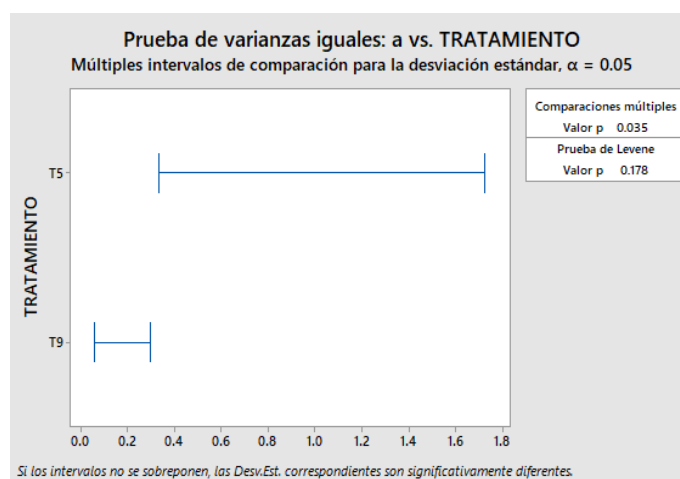
ANEXO 23. Análisis de varianza para a*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	1	0.00735	0.00735	0.07	0.802
Error	4	0.407793	0.101948		
Total	5	0.415143			

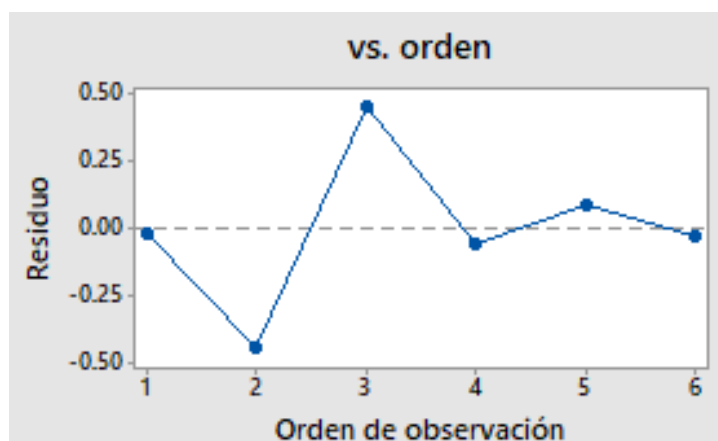
ANEXO 24. Gráfica del supuesto de normalidad para a*



ANEXO 25. Gráfica del supuesto de varianzas constantes para a*



ANEXO 26. Gráfica del supuesto de independencia para a*



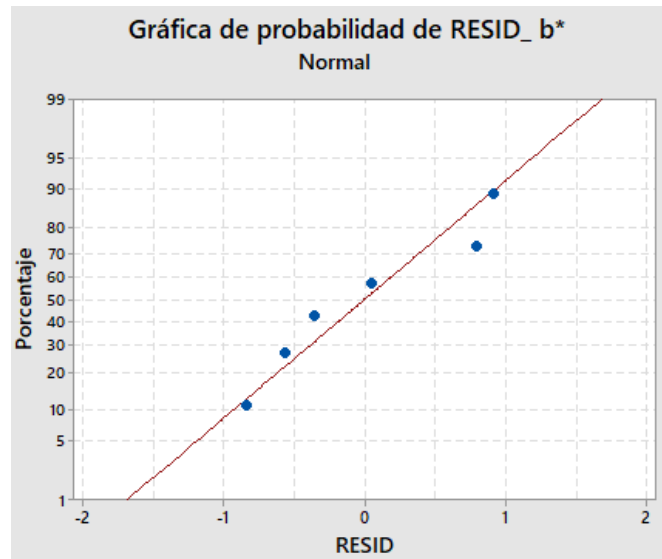
ANEXO 27. Análisis de varianza para b*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	1	8.066	8.0659	12.35	0.025
Error	4	2.613	0.6533		
Total	5	10.679			

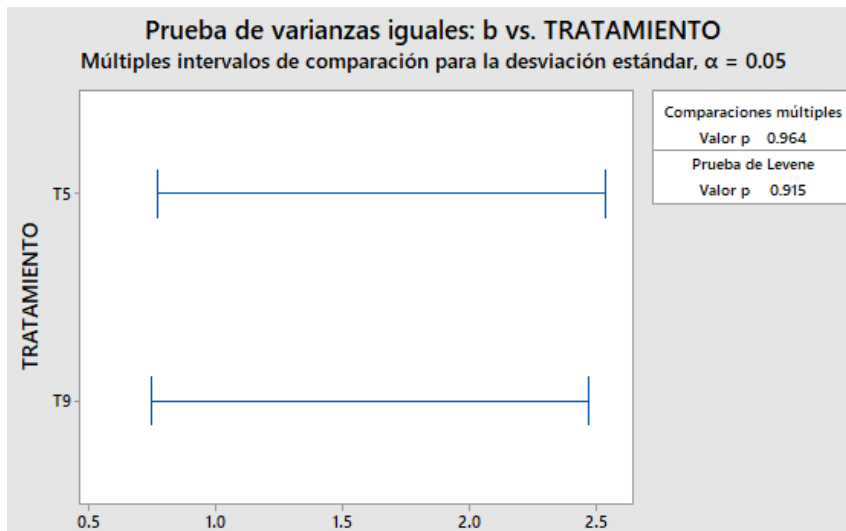
ANEXO 28. Prueba de comparación de Tukey para b*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T5	3	0.41	A
T9	3	-1.90889	B

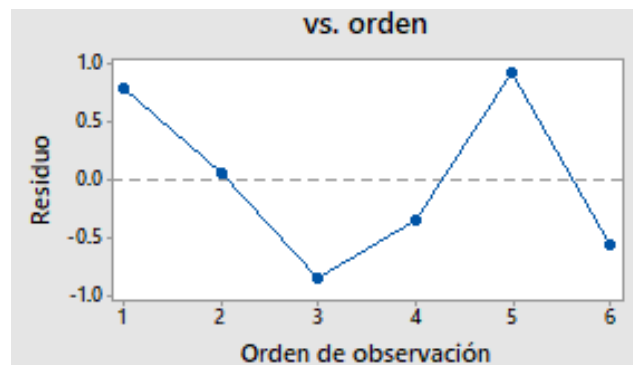
ANEXO 29. Gráfica del supuesto de normalidad para b*



ANEXO 30. Gráfica del supuesto de varianzas constantes para b*

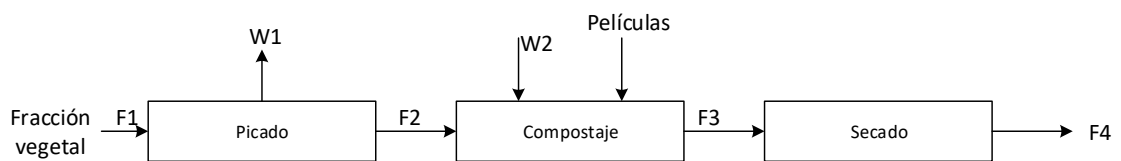


ANEXO 31. Gráfica del supuesto de independencia para b*



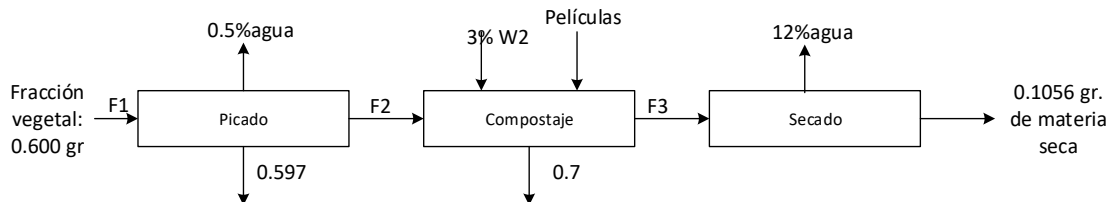
ANEXO 32. Balance de masa para biodegradabilidad

El balance de materia para la biodegradabilidad, empezó con el peso de las biopelículas con adecuadas propiedades mecánicas, ópticas y microestructurales con un valor de 0.136 g por cada una, además se tomó el peso inicial de la materia orgánica para la preparación del compost (cáscaras de huevo, restos de verduras y frutas, tallos frescos y secos) con un peso de 0.600 g. La adición de agua y control de peso se realizó cada 2, 5 y 10 días; obteniendo así un porcentaje de salida tanto al momento del compostaje y al momento del secado, los cálculos se realizaron mediante la ecuación (16).



$$E = S$$

$$F1 * w1 = F2 * w2 + P * w3$$



ANEXO 33. Corridas y datos obtenidos para propiedades mecánicas

Tratamiento	Replicas	Largo de tira(longitud final)(cm)	Ancora tira(cm)	Espesor 1(mm)	Espesor 2(mm)	Espesor 3(mm)	Promedio espesor(mm)	Longitud entre crucetas (medio a medio)(cm)	Separación de la sujeción inicial (cm)	separación de la sujeción final (cm)	Máxima fuerza (kgf)	Desplazamiento por tracción máxima fuerza(mm)	Desplazamiento final(m)	Velocidad(mm/s)
T1	M1R1	8	2	0.35	0.18	0.4	0.310	8	4	5.9	3.58	16.93	17.28	1
	M2	8	2	0.16	0.15	0.16	0.157	8	3.6	5	2.98	8.49	9.77	1
	M3	8	2	0.13	0.23	0.17	0.177	8	3.6	5.6	2.59	17.33	19.61	1
	PROMEDIO							0.214	-	-	-	3.05	14.25	15.55
T2	R1	8	2	0.16	0.37	0.26	0.263	7.5	3.3	4.2	2.57	4.52	7.23	1
	R2	8	2	0.31	0.24	0.19	0.247	7	2.7		3.4	10.33	12.61	1
	R22	8	2	0.31	0.24	0.19	0.247	6.5	2.15	3.51	5.19	14.19	15.35	1
	R3	8	2	0.2	0.37	0.2	0.257	7.2	3	5	2.42	18.36	20.13	1
	PROMEDIO							0.253	-	-	-	3.40	11.85	13.83
T3	R1	8	2	0.03	0.16	0.07	0.087	7.6	3.41	4.11	1.48	12.07	15.4	1
	R11	8	2	0.12	0.23	0.15	0.167	6.5	2.3	4.21	2.1	19.11	20.21	1
	R2	8	2	0.22	0.35	0.34	0.303	6.4	1.9	3.15	1.39	3.67	12.1	1
	R22	8	2	0.22	0.35	0.34	0.303	6	1.7	3.20	1.62	10.41	11.2	1
	R222	7.5	2	0.22	0.35	0.34	0.303	6	1.7	4.14	2.08	14.97	16.46	1
	R2222	7.5	2	0.22	0.35	0.34	0.303	6.5	2.2	3.21	2.37	9.45	10.77	1
	R3	8	2	0.18	0.29	0.14	0.203	6.8	2.6	4.1	2.57	16.15	16.91	1
PROMEDIO							0.239	-	-	-	1.94	12.26	14.72	-
T4	R1	8	2	0.26	0.49	0.18	0.310	7	2.5	4.1	4.69	15.79	16.28	1
	R2	8	2	0.23	0.24	0.26	0.243	7	2.7	3.5	2.62	4.97	8.55	1

	R3	8	2	0.12	0.25	0.67	0.347	5.8	1.8	2.5	3.56	5.09	9.59	1
				PROMEDIO			0.300	-	-	-	3.62	8.62	11.47	-
T5	R1	8	2	0.29	0.2	0.17	0.220	6.5	2.2	4.21	2.22	19.87	20.72	1
	R2	8	2	0.11	0.19	0.18	0.160	7	3	5	1.4	19.53	20.54	1
	R3	8	2	0.12	0.33	0.19	0.213	6	1.7	2.8	2.34	8.87	11.42	1
				PROMEDIO			0.198	-	-	-	1.99	16.09	17.56	-
T6	R1	8	2	0.23	0.38	0.38	0.330	6.2	1.9	3.3	3.21	9.33	13.64	1
	R2	8	2	0.21	0.37	0.53	0.370	6	1.81	4	3.61	20.59	20.66	1
	R3	8	2	0.26	0.31	0.41	0.327	6	1.9	2.5	2.96	6.67	6.74	1
				PROMEDIO			0.342	-	-	-	3.26	12.20	13.68	-
T7	R1	8	2	0.42	0.15	0.16	0.243	5.5	1.1	2.2	2.38	9.81	10.4	1
	R2	8	2	0.16	0.14	0.11	0.137	5.8	1.5	2	0.57	4.17	5.93	1
	R3	8	2	0.14	0.18	0.12	0.147	5.7	1.9	2.2	1.58	7.17	7.82	1
				PROMEDIO			0.176	-	-	-	1.51	7.05	8.05	-
T8	R1	8	2	0.34	0.25	0.15	0.247	6.5	2.5	3.6	2.18	11.47	12.81	1
	R2	8	2	0.45	0.27	0.24	0.320	6	1.5	2.4	2.38	7.75	8.39	1
	R3	8	2	0.2	0.26	0.6	0.353	6.5	2.4	3.6	1.32	10.29	13.01	1
				PROMEDIO			0.307	-	-	-	1.96	9.84	11.40	-
T9	R1	8	2	0.17	0.18	0.17	0.173	6.5	2.3	4.5	1.81	20.23	21.59	1
	R2	8	2	0.12	0.16	0.1	0.127	6.2	2	3.31	1.35	12.31	15.02	1
	R3	8	2	0.17	0.15	0.17	0.163	6.2	2	3.1	0.7	10.81	11.72	1
				PROMEDIO			0.154	-	-	-	1.29	14.45	16.11	-
T10	R1	8	2	0.12	0.24	0.2	0.187	6	1.9	4	1.77	14.61	15.99	1
	R2	8	2	0.15	0.35	0.24	0.247	5.3	1.2	1.9	1.44	6.71	7.29	1
	R3	8	2	0.1	0.17	0.1	0.123	5.3	1.2	2	1.37	7.93	8.55	1
				PROMEDIO			0.186	-	-	-	1.53	9.75	10.61	-
T11		8	2	0.26	0.19	0.24	0.230	5.8	1.6	2.8	2.47	12.21	12.93	1

	8	2	0.13	0.27	0.16	0.187	6	1.8	3.1	1.63	10.87	12.9	1
	8	2	0.31	0.2	0.3	0.270	6.3	2.1	3.4	1.2	12.03	13.49	1
			PROMEDIO			0.229	-	-	-	1.77	11.70	13.11	-
T12	8	2	0.2	0.28	0.13	0.203	6	1.8	2.6	1.73	6.61	9.051	1
	8	2	0.26	0.33	0.33	0.307	5.7	1.9	2.5	1.53	9.18	10.89	1
	8	2	0.23	0.52	0.33	0.360	5	0.9	1.2	1.83	3.21	5.121	1
			PROMEDIO			0.255	-	-	-	1.70	6.33	8.35	-
T13	8	2	0.1	0.21	0.38	0.230	6	1.9	4.1	1.98	20.47	22.4	1
	8	2	0.14	0.19	0.17	0.167	5.7	1.5	2.8	1.59	12.51	13.4	1
	8	2	0.29	0.24	0.22	0.250	5.6	1.4	2.51	1.71	11.51	12.16	1
			PROMEDIO			0.216	-	-	-	1.76	14.83	15.99	-

ANEXO 34. Datos de color en los tres puntos que se midieron

Tratamientos	PUNTO1			PUNTO2			PUNTO3		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
	75.88±20.11	2.02±0.41	-0.54±1.02	86.63±19.89	2.17±0.25	2.79±1.41	77.13±22.43	2.13±0.73	1.36±0.94
T5	35.71±20.11	1.58±0.41	0.84±1.02	46.88±19.89	2.22±0.25	0.86±1.41	33.02±22.43	1.25±0.73	-0.32±0.94
	57.35±20.11	2.40±0.41	-1.14±1.02	65.50±19.89	2.62±0.25	0.04±1.41	62.11±22.43	2.70±0.73	-0.20±0.94
Promedio	56.31	2.00	-0.28	66.34	2.34	1.23	57.42	2.03	0.28
	83.03±14.63	2.02±0.01	-2.13±0.19	80.28±17.27	1.84±0.1	-2.62±1.52	67.16±9.15	2.12±0.17	-2.03±0.76
T9	65.62±14.63	2.04±0.01	-2.02±0.19	46.25±17.27	2.02±0.1	0.09±1.52	50.90±9.15	2.35±0.17	-1.06±0.76
	53.95±14.63	2.03±0.01	-2.39±0.19	58.10±17.27	2.02±0.1	-2.47±1.52	66.32±9.15	2.02±0.17	-2.55±0.76
Promedio	67.53	2.03	-2.18	61.54	1.96	-1.67	61.46	2.16	-1.88

ANEXO 35. Réplicas de tratamientos para las propiedades fisicoquímicas del almidón de oca

Tratamientos	Humedad (%)	Densidad (g/ml)	pH	Ceniza (%)	Amilosa (%)	Amilopectina
R1T1	10.07 ± 0.0026	1.92 ± 0.0058	5.74 ± 0.0076	0.10 ± 0.0050	25.86 ± 0.015	74.12 ± 0.01
R2T1	10.07 ± 0.0026	1.91 ± 0.0058	5.74 ± 0.0076	0.09 ± 0.0050	25.88 ± 0.015	74.11 ± 0.01
R3T1	10.07 ± 0.0026	1.92 ± 0.0058	5.75 ± 0.0076	0.10 ± 0.0050	25.89 ± 0.015	74.13 ± 0.01
Promedio T1	10.07	1.92	5.74	0.10	25.88	74.12
R1T2	9.72±0.02	1.90±0.01	5.78±0.004	0.08±0.0045	25.76±0.015	74.24±0.015
R2T2	9.70 ±0.02	1.88 ±0.01	5.77 ±0.004	0.09 ±0.0045	25.74 ± 0.015	74.22 ±0.015
R3T2	9.68 ±0.02	1.91 ±0.01	5.78 ±0.004	0.08 ±0.0045	25.77 ± 0.015	74.25 ±0.015
Promedio T2	9.7	1.90	5.78	0.08	25.76	74.24
R1T3	9.63±0.003	1.91±0.0076	5.90±0.02	0.12±0.015	25.72±0.015	74.26±0.015
R2T3	9.62 ±0.003	1.92 ±0.0076	5.88 ±0.02	0.10 ±0.015	25.74 ± 0.015	74.24 ± 0.015
R3T3	9.63 ±0.003	1.90 ±0.0076	5.92 ±0.02	0.09 ±0.015	25.75 ± 0.015	74.27 ± 0.015
Promedio T3	9.63	1.91	5.90	0.10	25.74	74.26

ANEXO 36. Réplicas de tratamientos para las propiedades tecnofuncionales del almidón de oca


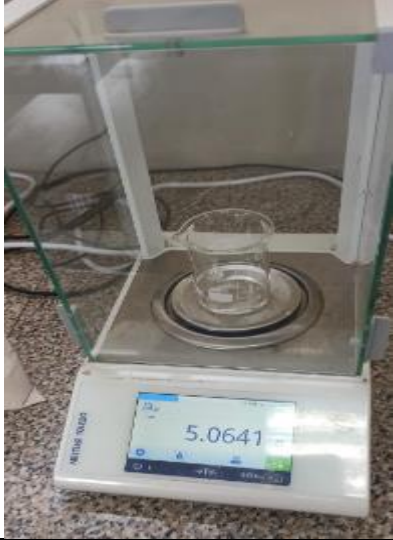

Tratamientos	%CIA	%ISA	PH	TG
R1T1	8.15±0.025	10.18±0.025	7.00±0.020	65±0.1
R2T1	8.12 ±0.025	10.16 ±0.025	6.98 ±0.020	65 ±0.1
R3T1	8.17±0.025	10.21 ±0.025	7.02 ±0.020	65 ±0.1
Promedio T1	8.15	10.18	7.00	65.10
R1T2	7.04± 0.025	10.17± 0.025	7.00± 0.006	60±0
R2T2	7.01± 0.025	10.19± 0.025	7.00± 0.006	60±0
R3T2	7.06± 0.025	10.22± 0.025	6.99± 0.006	60±0
Promedio T2	7.04	10.19	7.00	60.00
R1T3	7.50±0.015	9.84±0.02	6.98± 0.025	70±5
R2T3	7.48±0.015	9.88±0.02	7.01± 0.025	65±5
R3T3	7.51±0.015	9.86±0.02	7.03± 0.025	75±5
Promedio T3	7.50	9.86	7.01	70.00

ANEXO 37. Réplicas de tratamientos para las propiedades fisicoquímicas de la pectina de cáscara de naranja

Tratamientos	pH	TG
R1T1	2.5±0.15	60±0
R2T1	2.3±0.15	60±0
R3T1	2.6±0.15	60±0
Promedio T1	2.5	60.0

R1T2	2.6±0.2	68±1.5
R2T2	2.8±0.2	66±1.5
R3T2	3.0±0.2	69±1.5
Promedio T2	2.8	68
R1T3	3.3±0.3	65±0.1
R2T3	3.4±0.3	64.8±0.1
R3T3	2.9±0.3	65±0.1
Promedio T3	3.2	65

ANEXO 38. Panel fotográfico de equipos utilizados

	
<p>Equipo de decantación</p>	<p>Balanza analítica</p>
	
<p>Estufa eléctrica</p>	<p>Licadora Mirray</p>



Espectrofotómetro UV- Vis



Mufla



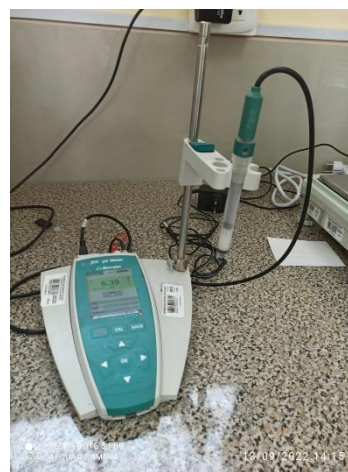
Campana desecadora



Plancha de calentamiento



Centrífuga



Medidor de pH



Texturómetro

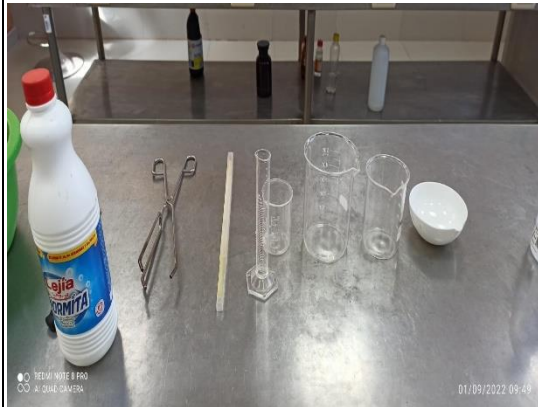


Colorímetro



Microscopio Electrónico de Barrido

ANEXO 39. Panel fotográfico del proceso de ejecución.



Recepción de los materiales a utilizar y desinfección de la materia prima



Pesado de la oca



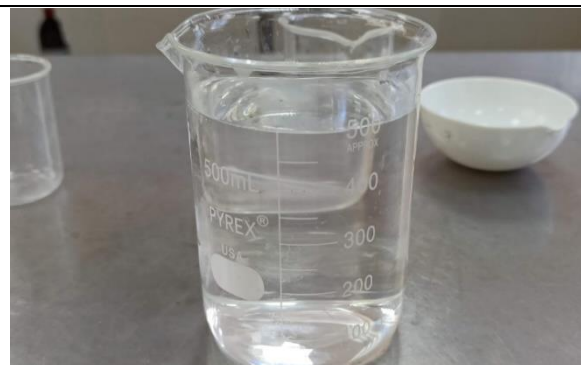
Muestras de oca ya desinfectadas



Muestras cortadas a la mitad para facilitar su trituración



Muestras cortadas por la mitad



Medición de agua para colocar junto con las muestras de oca



Agregado de la oca a la licuadora para su trituración



Triturado de oca y agua



Agregado de la mezcla ya filtrada al equipo de decantación



Comienzo del proceso de decantación



<p>Filtrado del líquido sobrenadante de la parte sólida y secado</p>	<p>Se puso a secar la parte sólida para obtener el almidón de la oca</p>
	
<p>Muestra de almidón de oca seco con grumos</p>	<p>Muestra fina de almidón seco</p>
	
<p>Medida del pH del almidón de oca</p>	<p>Limpieza de los crisoles para la medición de la humedad</p>



Peso del crisol vacío



Secado de los crisoles vacíos



Enfriado de los crisoles vacíos



Pesado de la muestra de almidón para determinar su humedad



Secado de las muestras de almidón a 80°C



Enfriado de los crisoles con las muestras de almidón



Pesado de los crisoles con la muestra enfriada



Peso de la probeta más el volumen de agua



Almidón suelto más volumen total completado para medir la densidad



Incineración en la mufla de los crisoles con muestra para la obtención de las cenizas



Enfriado de los crisoles con muestra para las cenizas



Peso de la muestra al 1% para pasarlo a agitación para obtención de CIA



Calentado a 60°C y agitado por 30 min.



Trasvasado del gel a los tubos para pasar a centrifugarlo



El gel se centrifuga a 2500 rpm por 15 min



Peso de la muestra para medir la temperatura de gelatinización



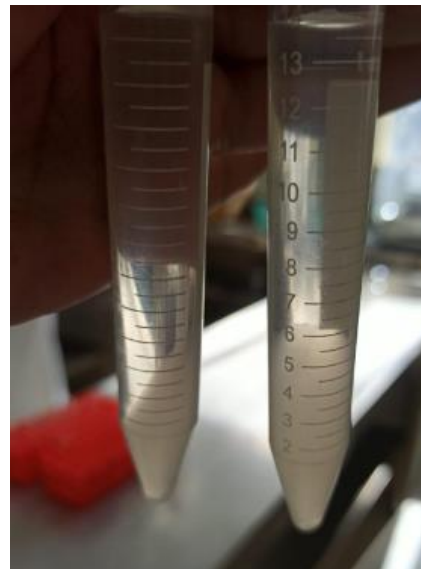
Formación del gel a 65°C



La suspensión se agito por 30 min a 60°C para la ISA







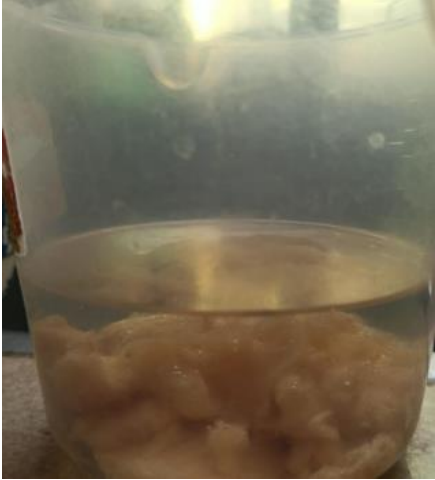



Se centrifugo a 4900 rpm por 30 min



Formación del gel



<p>Pesado del gel</p>	<p>Peso de la muestra para contenido de amilosa y amilopectina</p>
	
<p>Mezcla de la muestra de almidón y el dimetilsulfóxido</p>	<p>Gel obtenido del calentamiento a 85°C</p>
	
<p>Pasado de la mezcla a la estufa por 30 min a 100°C</p>	<p>Aforado de la mezcla de la mezcla con lugol y agua destilada</p>
	

<p>Lectura de la absorbancia</p>	<p>Muestra de cáscara de naranja</p>
	
<p>Muestras más solución de ácido cítrico a 85°C</p>	<p>Enfriado de la cáscara más la pectina</p>
	
<p>Raspado y precipitado con alcohol</p>	<p>Pectina seca</p>
	

<p>Pruebas preliminares para la solución filmogénica</p>	<p>Agitado del almidón, la pectina, glicerina y ácido acético en 100 ml de agua</p>
	
<p>Traspasado de la solución filmogénica a las placas Petri (método Casting)</p>	<p>Secado de la solución filmogénica</p>
	
<p>Obtención de las biopelículas preliminares</p>	<p>Medición del espesor de la biopelículas preliminares</p>
	
<p>Peso del ácido acético</p>	<p>Peso de la glicerol</p>



Formación de la solución filmogénica a 65°C



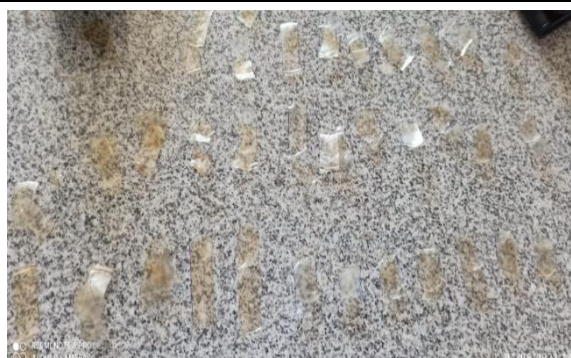
Obtención de las biopelículas finales



Biopelículas seca



Tiras de biopelículas de 2x8 cm



Tiras de los 13 tratamientos por triplicado



Tira puesta en el texturómetro



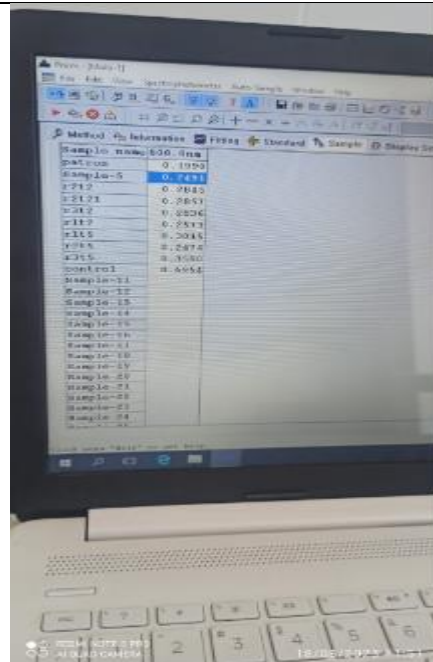
Ruptura de la muestra de biopelícula



Obtención de los datos de máxima fuerza y desplazamiento



Medida de las coordenadas del sistema CIELab a las biopelículas



Datos de absorbancia dados por el espectrofotómetro de las tiras de las biopelículas para la transparencia



Llenado para el compost



Agregado de agua para la biodegradabilidad de las tiras de la biopelícula

ANEXO 40. Norma Estándar para biopelículas

ASTM D882-10 ^①

Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of tensile properties of plastics in the form of thin sheeting and films (less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness).

Note 1—Film is defined in Terminology D883 as an optional term for sheeting having a nominal thickness no greater than 0.25 mm (0.010 in.).

Note 2—Tensile properties of plastics 1.0 mm (0.04 in.) or greater in thickness shall be determined according to Test Method D638.

1.2 This test method can be used to test all plastics within the thickness range described and the capacity of the machine employed.

1.3 Specimen extension can be measured by grip separation, extension indicators, or displacement of gage marks.

1.4 The procedure for determining the tensile modulus of elasticity is included at one strain rate.

Note 3—The modulus determination is generally based on the use of grip separation as a measure of extension; however, the desirability of using extensometers, as described in 5.2, is recognized and provision for the use of such instrumentation is incorporated in the procedure.

1.5 Test data obtained by this test method is relevant and appropriate for use in engineering design.

1.6 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information only.

1.7 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

Note 4—This test method is similar to ISO 527-3, but is not considered technically equivalent. ISO 527-3 allows for additional specimen configurations, specifies different test speeds, and requires an extensometer or gage marks on the specimen.

ANEXO 41. USP29-NF24: Norma Estándar para pectina

Pectin

Pectin.

Pectin [9000-69-5].

» Pectin is a purified carbohydrate product obtained from the dilute acid extract of the inner portion of the rind of citrus fruits or from apple pomace. It consists chiefly of partially methoxylated polygalacturonic acids.

Pectin yields not less than 6.7 percent of methoxy groups ($-\text{OCH}_3$) and not less than 74.0 percent of galacturonic acid ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_7$), calculated on the dried basis.

NOTE—Commercial pectin for the production of jellied food products is standardized to the convenient "150 jelly grade" by addition of dextrose or other sugars, and sometimes contains sodium citrate or other buffer salts. This monograph refers to the pure pectin to which no such additions have been made.

Packaging and storage— Preserve in tight containers.

Labeling— Label it to indicate whether it is of apple or of citrus origin.

Identification—

A: Heat 1 g with 9 mL of water on a steam bath until a solution is formed, replacing water lost by evaporation; it forms a stiff gel on cooling.

B: To a solution (1 in 100) add an equal volume of alcohol; a translucent, gelatinous precipitate is formed (distinction from most gums).

C: To 10 mL of a solution (1 in 100) add 1 mL of [thorium nitrate TS](#), stir, and allow to stand for 2 minutes; a stable precipitate or gel forms (distinction from gums).

D: To 5 mL of a solution (1 in 100) add 1 mL of 2 N sodium hydroxide, and allow to stand at room temperature for 15 minutes; a gel or semigel forms (distinction from tragacanth).

E: Acidify the gel from the preceding test with 3 N hydrochloric acid, and shake; a voluminous, colorless, gelatinous precipitate forms, which upon boiling becomes white and flocculent (pectic acid).

[Microbial limits](#) ([81](#)) — It meets the requirements of the test for absence of *Salmonella* species.

[Loss on drying](#) ([731](#)) — Dry it at 105° for 3 hours; it loses not more than 10.0% of its weight.

[Arsenic, Method II](#) ([211](#)) : 3 ppm.

Lead— Add 2.0 g of Pectin to 20 mL of nitric acid in a 250-mL conical flask, mix, and heat the contents carefully until the Pectin is dissolved. Continue the heating until the volume is reduced to about 7 mL. Cool rapidly to room temperature, transfer to a 100-mL volumetric flask, and dilute with water to volume. A 50.0-mL portion of this solution contains not more than 5 μg of lead (corresponding to not more than 0.0005% of Pb) when tested according to the limit test for [Lead](#) ([261](#)), 15 mL of ammonium citrate solution, 3 mL of potassium cyanide solution, and 500 μL of hydroxylamine hydrochloride solution being used. After the first dithizone extractions, wash the combined chloroform layers with 5 mL of water, discarding the water layer and continuing in the usual manner by extracting with 20 mL of dilute nitric acid (1 in 100).

Sugars and organic acids— Place 1 g in a 500-mL flask, moisten it with 3 to 5 mL of alcohol, pour in rapidly 100 mL of water, shake, and allow to stand until solution is complete. To this solution add 100 mL of alcohol containing 0.3 mL of hydrochloric acid, mix, and filter rapidly. Measure 25 mL of the filtrate into a tared dish, evaporate the liquid on a steam bath and dry the residue in a vacuum oven at 50° for 2 hours; the weight of the residue does not exceed 20 mg.

Organic volatile impurities, Method IV ([467](#)) : meets the requirements.

Residual solvents ([467](#)) : meets the requirements.

(Official January 1, 2007)

Assay for methoxy groups— Transfer 5.00 g of Pectin to a suitable beaker, and stir for 10 minutes with a mixture of 5 mL of hydrochloric acid and 100 mL of 80 percent alcohol. Transfer to a sintered-glass filter (30- to 60-mL crucible or Büchner type, coarse), and wash with six 15-mL portions of the hydrochloric acid–80 percent alcohol mixture, followed by 80 percent alcohol until the filtrate is free from chlorides. Finally wash with 20 mL of alcohol, dry for 1 hour at 105° , cool, and weigh. Transfer exactly one-tenth of the total net weight of the dried sample (representing 500 mg of the original unwashed sample) to a 250-mL conical flask, and moisten with 2 mL of alcohol. Add 100 mL of carbon dioxide-free water, insert the stopper, and swirl occasionally until the Pectin is completely dissolved. Add 5 drops of phenolphthalein TS, titrate with 0.5 N sodium hydroxide VS, and record the results as the initial titer. Add 20.0 mL of 0.5 N sodium hydroxide VS, insert the stopper, shake vigorously, and allow to stand for 15 minutes. Add 20.0 mL of 0.5 N hydrochloric acid VS, and shake until the pink color disappears. Add [phenolphthalein TS](#), and titrate with 0.5 N sodium hydroxide VS to a faint pink color that persists after vigorous shaking; record this value as the saponification titer. Each mL of 0.5 N sodium hydroxide used in the saponification titer is equivalent to 15.52 mg of $-\text{OCH}_3$.

ANEXO 42. Informe del laboratorio PANKARANA



INFORME DE ENSAYO N° PK-223


1. Datos del solicitante

Cliente:	Antoinette Solange Huailapuma Zapana.
Domicilio legal:	-
Referencia cliente:	Antoinette Solange Huailapuma Zapana.
Condiciones de la muestra: de naranja	Biopelículas de almidón de oca con pectina de cáscara
Condiciones toma de muestra:	Tomada por el cliente
Descripción de la muestra:	2 muestras para análisis.

2. Descripción del servicio

MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

El microscopio electrónico de barrido con siglas en inglés es SEM, con que se realizó el servicio es de la marca ZEISS, de fabricación alemana. El modelo EVO MA10. Este equipo cuenta con un sistema óptico de electrones optimizados, la serie EVO presenta resoluciones de hasta 5,0 nm. emplea una fuente de emisión de electrones de LaB6 optimizada para imágenes de alta resolución. Este cañón de electrones de LaB6 permite ampliar imágenes de alta resolución hasta 1 millón de veces en modelos convencionales.

 01-3086373 - 957804760

 ventas@pankarana.com

 www.pankarana.com

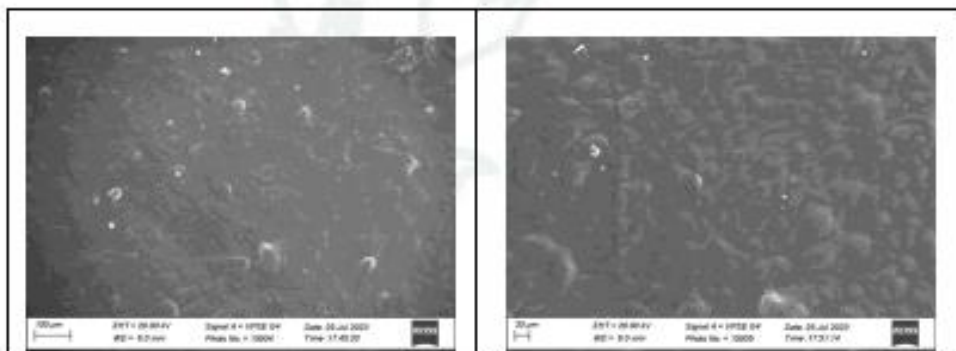


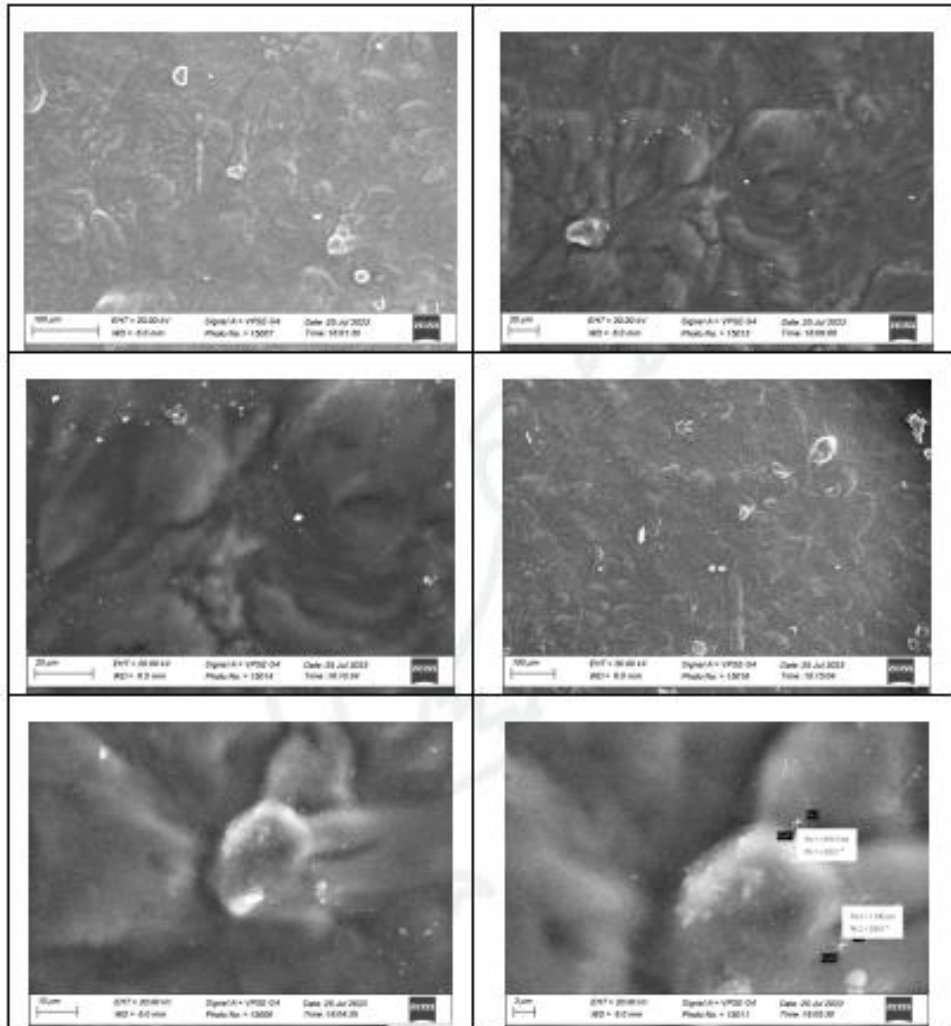
Figura 1. Figura Microscopio Electrónico de Barrido

3. Descripción de los principales resultados obtenidos

3.1 Análisis de la muestra 1

Análisis de Morfología.





Observaciones

La muestra presenta una textura irregular con incrustaciones de partículas de dimensiones variables (Aglomeraciones). Las dimensiones más pequeñas encontradas se encuentran alrededor de 1 micra.

☎ 01-3086373 - 957804760

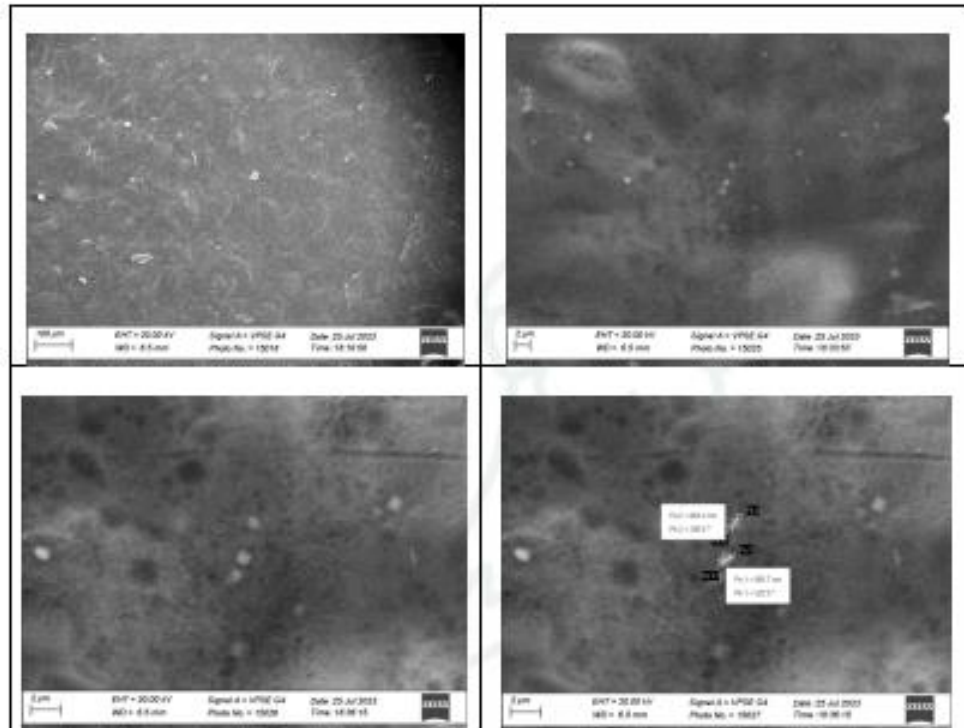
✉ ventas@pankarana.com

🌐 www.pankarana.com



3.2 Análisis de la muestra 2

Análisis de Morfología.



Observaciones

La muestra presenta una textura superficial irregular, ondulada. Además, se puede observar la presencia de porosidad, de hasta 2 micras, en la matriz. Se detecta también la presencia de partículas, 0.8-0.9 micras, sobre la superficie y dentro de la porosidad.

Ventanilla, 3 de agosto de 2023.

Dagoberto Ayala Pizarro.

Bach. en ciencias, especialidad en Química.