

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones de
pituca (*Colocasia esculenta*) y su aplicación en bandejas
biodegradables**

Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería de Alimentos

Autor:

MSc. Moro Pisco, José Francisco
Código ORCID: 0000-0003-0061-6932
DNI. N° 18841209

Asesor:

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino
Código ORCID: 0000-0003-0488-5726
DNI. N° 32975182

Co asesor:

Dr. Silva Jaimes, Marcial Ibo
Código ORCID: 0000-0002-4648-4907
DNI. N° 07087386

Línea de Investigación:

Desarrollo de nuevos materiales y de tecnologías de envasado

Nuevo Chimbote - PERÚ
2025



CERTIFICACIÓN DE ASESOR

Yo, Dr. **JORGE MARINO DOMINGUEZ CASTAÑEDA**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de Doctorado titulada: **“Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones de pituca (*Colocasia esculenta*) y su aplicación en bandejas biodegradables”**, elaborada por el **Mg. José Francisco Moro Pisco**, para obtener el Grado Académico de **Doctor en Ingeniería de alimentos** en la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, julio de 2025

Dr. JORGE MARINO DOMINGUEZ CASTAÑEDA
ASESOR

DNI. N° 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis de Doctorado titulada: “Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones de pituca (*Colocasia esculenta*) y su aplicación en bandejas biodegradables”, elaborada por el Mg. José Francisco Moro Pisco,

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas

PRESIDENTA

DNI: 19096335

ORCID: 0000 – 0003 – 1659 - 9874

Dr. Victor Alejandro Ascurra Valle

SECRETARIO

Dni: 17866619

Código ORCID: 0000-0001-5755-5267

Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda

VOCAL

DNI. N° 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veinte días del mes de junio del año 2025, siendo las 16:00 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 155-2025-EPG-UNS de fecha 18.02.2025, conformado por los docentes: Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Presidenta), Dr. Víctor Alejandro Ascurra Valle (Secretario) y Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada: "**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y REOLÓGICA DE ALMIDONES DE PITUCA (*Colocasia esculenta*) Y SU APLICACIÓN EN BANDEJAS BIODEGRADABLES**"; presentado por el tesista **José Francisco Moro Pisco**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 554-2025-EPG-UNS de fecha 09 de junio de 2025.


La presidenta del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIECIOCHO.

Siendo las 17:20 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Presidenta


Dr. Víctor Alejandro Ascurra Valle
Secretario


Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda
Vocal/Asesor

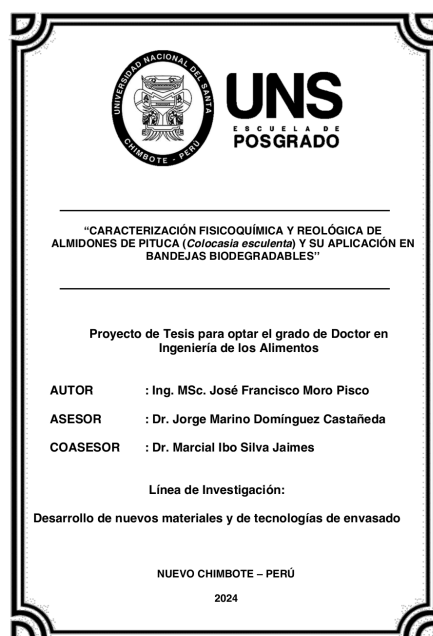


Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: user user
Título del ejercicio: CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y REOLÓGICA DE ALMIDO...
Título de la entrega: INFORME FINAL DE TESIS - MORO PISCO.docx
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS_-_MORO_PISCO.docx
Tamaño del archivo: 7.07M
Total páginas: 84
Total de palabras: 15,104
Total de caracteres: 83,737
Fecha de entrega: 16-abr.-2025 07:59a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2647901988



INFORME FINAL DE TESIS - MORO PISCO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	4%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.scielo.br Fuente de Internet	1%
5	www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	ve.scielo.org Fuente de Internet	1%
7	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A la memoria de mi querida madre, Lolita Pisco. Aunque ya no estás físicamente conmigo, tu espíritu, tu fuerza y tu amor han sido mi motor y mi mayor inspiración para alcanzar esta meta. Este logro es tan tuyo como mío. Sé que desde donde estés, estás orgullosa de mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente al Padre Jehová porque siempre me brindó lo necesario para lograr mi objetivo trazado y en los momentos difíciles me hizo triunfante en todo y para todo. También agradezco al Dr. Jorge Domínguez por su asesoramiento en el desarrollo de dicha Investigación Científica y como también a la Lic. Beatriz Chávez Fernández por haberme inculcado y direccionado en esta senda del conocimiento Científico.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCION	11
Formulación del problema:	14
Objetivos de la investigación	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Hipótesis de la investigación.....	15
Justificación e importancia.....	15
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes	17
2.2 Marco conceptual	22
2.2.1 Pituca (Colocasia esculenta)	22
2.2.2 Almidón	24
2.2.2 Contenido de amilosa y amilopectina en alimentos.....	25
2.2.3 Fibras vegetales.....	26
2.2.3 Envases biodegradables	27
2.2.3 Plásticos Biodegradables a base de almidón.....	27
2.2.4 Bandejas a base de almidón y otros productos termoformados	27
2.2.5 Biodegradación	29
Nota. La figura representa el proceso general de la biodegradación de polímeros. Tomado del artículo Biodegradation of polymers: stages, measurement, standards and prospects (Silva et al., 2023).....	30
2.2.6 Termoformado	31
2.2.7 Propiedades mecánicas de los envases biodegradables	31
III. METODOLOGÍA.....	37
3.1 Método	37
3.2 Diseño de investigación	38
3.2.1 Descripción del flujo general de investigación.....	38
3.2.2 Diseño experimental	38
3.3 Población.....	43

3.4 Muestra.....	43
3.5 Operacionalización de variables.....	43
3.6 Técnica e instrumento de recolección de datos	45
3.6.1 Técnica.....	45
3.6.2 Instrumentos.....	45
3.6.3 Procedimiento	46
3.7 Técnicas de análisis de resultados	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	52
4.1 Caracterización química proximal de la harina de pituca	52
4.2 Caracterización fisicoquímica del almidón de pituca	52
4.3 Comportamiento reológico del almidón de pituca según temperatura y concentración	57
4.4 Parámetros del proceso de elaboración de bandejas biodegradables	61
4.5 Caracterización de las bandejas biodegradables	63
V. CONCLUSIONES	69
VI. RECOMENDACIONES	70
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXO	80

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de la pituca por 100g en base húmeda.....	23
Cuadro 2. Características de los gránulos de almidón de alimentos.....	24
Cuadro 3. Tiempo y condiciones de degradación de envases bioplásticos.....	31
Cuadro 4. ANAVA para evaluar el efecto de concentración y temperatura en la viscosidad e índice de comportamiento de flujo.....	41
Cuadro 5. Distribución de los tratamientos aplicados en la elaboración de bandejas biodegradables y las medidas de las propiedades mecánicas.....	42
Cuadro 6. ANAVA para evaluar el efecto de tratamientos en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables.....	42
Cuadro 7. Operacionalización de variables en la caracterización fisicoquímica y reológica de almidones de pituca.....	43
Cuadro 8. Operacionalización de variables en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables elaborados a base de almidón de pituca.....	44
Cuadro 9. Formulaciones y parámetros de proceso para elaborar bandejas biodegradables...	49
Cuadro 10. Composición química proximal de la harina de pituca.....	52
Cuadro 11. Parámetros de tensión en las bandejas biodegradables.....	65
Cuadro 12. Dureza y fracturabilidad de las bandejas.....	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de pituca (<i>Colocasia esculenta</i>).....	23
Figura 2. Segmento de la estructura de amilosa.....	24
Figura 3. Segmento de la estructura de amilopectina.....	24
Figura 4. Origen, aplicación y naturaleza de las fibras vegetales.....	26
Figura 5. Bandejas biodegradables a base de almidón.....	28
Figura 6. Biodegradación de biopolímeros.....	30
Figura 7. Huella producida por una carga sobre un material.....	32
Figura 8. Modos de fractura de un material.....	34
Figura 9. Ensayo de tracción en materiales frágiles y dúctiles.....	35
Figura 10. Diagrama de flujo general de la investigación.....	39
Figura 11. Disposición experimental de tratamientos para la evaluación reológica de almidones de pituca.....	40
Figura 12. Índice de absorción de agua según temperatura.....	53
Figura 13. Poder de hinchamiento según temperatura.....	55
Figura 14. Índice de solubilidad en agua, según tipo de almidón y temperatura.....	56
Figura 15. Gelatinización del almidón de pituca.....	57
Figura 16. Comportamiento reológico del almidón de pituca a 25°C según concentraciones...	59
Figura 17. Comportamiento reológico del almidón de pituca a 40°C según concentraciones...	59
Figura 18. Comportamiento reológico del almidón de pituca a 60°C según concentraciones...	60
Figura 19. Comportamiento reológico del almidón de pituca a 80°C según concentraciones...	60
Figura 20. Parámetros de control durante la elaboración de bandejas biodegradables.....	62
Figura 21. Perfil de textura de las bandejas al 100% de almidón.....	64
Figura 22. Perfil de textura de las bandejas al almidón, afrecho y cascara.....	64
Figura 23. Espectro FTIR de bandeja biodegradable para formulación de 100.5% almidón, 9.0 % afrecho y 40.5% de cascara de pituca.....	68

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar las características fisicoquímicas y comportamiento reológico de los almidones de pituca y su influencia en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables. Consistió en extraer el almidón a partir de pituca, mediante balance se calculó el rendimiento. Seguidamente, al almidón se le determinó la temperatura de gelatinización, Poder de Hinchamiento (PH), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) e Índice de Absorción de Agua (IAA), comportamiento reológico a 25°C, 40°C, 60°C y 80°C y concentraciones (% p/p) de 5, 7.5 y 10% y finalmente se determinó la formulación óptima para elaborar bandejas biodegradables evaluadas a través de propiedades mecánicas. De los resultados, el rendimiento de en almidón fue 24.6%, este presentó una capacidad de absorción de agua (0.13), Índice de Solubilidad de agua (0.135), poder de hinchamiento (17) y temperatura de gelatinización (92.47°C), como fluido el almidón, mostró ser fluido pseudoplástico. La formulación óptima para elaborar bandejas biodegradables fue almidón (100.5%), afrecho (9.0%) y cascara (40.5%), cuya composición favorecieron a las propiedades mecánicas.

Palabras claves: Bandejas, biodegradable, pituca, almidones

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the physicochemical characteristics and rheological behavior of pituca starches and their influence on the mechanical properties of biodegradable trays. It consisted of extracting starch from pituca, by means of a balance the yield was calculated. Next, the starch was determined for gelatinization temperature, Swelling Power (PH), Water Solubility Index (ISA) and Water Absorption Index (IAA), rheological behavior at 25oC, 40oC, 60oC and 80oC and concentrations (% w/w) of 5, 7.5 and 10% and finally the optimal formulation to make biodegradable trays evaluated through mechanical properties was determined. Of the results, the starch yield was 24.6%, this presented a water absorption capacity (0.13), Water Solubility Index (ISA) and Water Absorption Index (IAA), rheological behavior at 25oC, 40oC, 60oC and 80oC and concentrations (% w/w) of 5, 7.5 and 10% and finally the optimal formulation to make biodegradable trays evaluated through mechanical properties was determined. Of the results, the starch yield was 24.6%, this presented a water absorption capacity (0.13), Water Solubility Index (0.135), swelling power (17) and gelatinization temperature (92.47°C), as a starch fluid, it was shown to be a pseudoplastic fluid. The optimal formulation to make biodegradable trays was starch (100.5%), bran (9.0%) and peel (40.5%), whose composition favored the mechanical propertie

Keywords: Trays, biodegradable, pituca, starches

I. INTRODUCCION

En el Perú, frecuentemente se usan los almidones procedentes cereales y tubérculos como del maíz, papa, yuca y arroz. Sin embargo, existen fuentes alternativas de producción, como ciertos cultivos nativos, cuyo potencial puede ser explotado, como es el caso de la pituca, una planta netamente tropical, aclimatadas a temperaturas entre 25 y 35 °C y que se produce durante todo el año. Mediante técnicas agrícolas es cultivado en los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Puno y Ucayali, donde la producción al 2021 fue 2316, 1614, 17826 y 552 toneladas a partir de 290, 360, 1804 y 90 ha respectivamente (MIDAGRI, 2021), mientras que en otros departamentos tropicales se cultivan de manera incipiente, sin embargo, satisfacen a las necesidades básicas y preferentemente a la población nativa.

La pituca por la selva peruana es considerada como una raíz, muy consumido por la población lugareña, es fuente rica en carbohidratos, representado principalmente por almidón, la pulpa va de color blanco hasta morado. Por medio de la vía húmeda y vía seca, a partir de la pituca blancas fresca, el rendimiento en almidón fue de 21.8% y 25% respectivamente (Morales, 2012), también se reportó un 27% en almidón sobre la parte central del cormo (Trujillo, 2022) asimismo, según Pajar (2008), reportó que la pituca en base húmeda, contiene 0.88% de fibra, 1.5% de proteínas, 22.10% de carbohidratos, 1.20% en cenizas, 0.10% de grasas y 74.22% de humedad, composición química que permite dar valor agregado a esta raíz, que se encuentra disponible por toda la selva. Del mismo modo, se informa que 100 g de harina contienen humedad 9.7%, glúcidos 78.6%, proteínas 8.1%, grasa 0.3 y ceniza 3.3% (Reyes et al., 2017). También se reporta que la composición química de la harina de pituca secada a 60 °C durante 6 h, reflejó contener

humedad del 9,38%, 3,30% de ceniza, 0,53% de grasa, 8,15% de proteína, 78,64% de carbohidratos y 0,3% de fibra (Cubas & Sempertegui, 2024). Hernández et al., (2008), mencionaron que el almidón es una materia prima con un extenso campo de aplicaciones y es un polisacárido muy utilizado como ingrediente funcional, ya sea como espesante, estabilizante y gelificante en la industria alimentaria. Por su parte, Huamani (2018), indica que el almidón de pituca, contiene de 17 a 28% de amilosa y el resto es amilopectina, así también describe que la gelificación del almidón es importante durante el procesamiento de alimentos, asimismo, resalta que la pituca blanca arrojó un rendimiento de 23.3% en almidón, estos mostraron una variación desde 52°C a 68°C de gelatinización. En tanto, la viscosidad a temperaturas de 25, 30 y 35°C fueron 3185 cps, 2705 cps y 2304 cps, respectivamente. Del mismo modo presentaron un Índice de Absorción de Agua, Índice de Solubilidad en Agua y Poder Hinchamiento de 2.94, 2.75 y 2.97 respectivamente. Sin embargo, aún se desconoce las propiedades fisicoquímicas y reológicas de los almidones de pituca, cuando es sometido a diferentes concentraciones y a temperaturas diversas. Por otro lado, se describe que los almidones son componentes de granos y tubérculos, que debido a sus estructuras, los gránulos presentan mayor capacidad de retención de agua, que al ser calentados se hinchan por absorción de agua y al ser prolongados la exposición a calor, estos se romperán y cuando sean enfriados tendrán comportamiento de gel bastante espeso (Velásquez-Barreto & Velezmoro, 2018). Por ejemplo, se reporta que el almidón de papa a concentraciones del 5 y 9%, permitieron obtener geles con mayor consistencia con comportamiento no newtoniano pseudoplástico, en comparación con las del almidón de maíz, que presentaron comportamiento de fluido newtoniano (Arias Balderas et al., 2020). En tanto, se afirma, que cuando es incrementado la fibra, las bandejas biodegradables formados disminuyen su elongación entre 0.33 ± 0.10 y $0.91\pm 0.11\%$ y la deformación entre 2.07 ± 0.48 y

4.39±0.25 mm, concluyendo que la bandeja con 90 % almidón de semilla de mango y 10% de fibra de semilla de palta presentó mayor resistencia mecánica, menor humedad y menor capacidad de adsorción de agua (Matos Medina & Díaz Milla, 2022). En otra experiencia, demostraron que las condiciones óptimas para elaborar envases biodegradables se presentó con la mezcla de cascarilla de arroz y almidón modificado al 80% (p/p), con prensado de 3 minutos a 150 °C, el cual el envase obtenido, reflejó tener como dureza de $5,26 \pm 0,22$ kgf, un grosor y densidad de $2,05 \pm 0,01$ mm y $0,97 \pm 0,004$ g/cm³ respectivamente (Hoang & Tran, 2023).

El almidón es un polímero de origen biológico abundante en el reino vegetal, es sostenible y biodegradable, no obstante, presenta dificultades durante su procesamiento, debido a la interacciones de enlaces de hidrógeno y fuerzas intermoleculares, que muchas veces evita ser aplicado fácilmente, al respecto, una alternativa tecnológica eficaz, es plastificar el almidón en presencia de calor y cizallamiento, así, se obtiene el denominado almidón termoplástico, el que se logra cuando es mezclado con polímero endurecido como la celulosa, lignina, entre otros, con mejor flexibilidad, dichos materiales, son reemplazos de los envases de plástico de un solo uso derivados del petróleo (Surendren et al., 2022). Como tal, se ha demostrado que el almidón es una materia prima importante que junto a la glicerina proporcionan elasticidad y estabilidad al bioplástico, con alto grado de biodegradación (42 días) (Riera & Palma, 2018).

Además de todo lo mencionado, para aplicar al almidón de pituca en las bandejas biodegradables, es escaso el conocimiento de su caracterización fisicoquímica y comportamiento reológico para definir su nivel de plasticidad que pudiera tener, en razón que se presenta como alternativa tecnológica, debido a su resistencia térmica, fácil de procesar y mayor adhesión intermolecular, el cual abre una ventana para el desarrollo de embalajes (Surendren et al., 2022), como tal se plantearon las siguientes interrogantes:

Formulación del problema:

¿Qué valores presentan las características fisicoquímicas de los almidones de pituca en suspensión acuosa frente a incrementos de las temperaturas?

¿Qué comportamiento reológico presentan los almidones de pituca en suspensión acuosa al incrementarse las concentraciones y temperaturas?

¿Cómo influyen los almidones de pitucas según concentración aplicada en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables?

Objetivos de la investigación**Objetivo General**

Evaluar las características fisicoquímicas y comportamiento reológico de los almidones de pituca y su influencia en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables según concentraciones.

Objetivos Específicos

- Determinar los valores de las características fisicoquímicas de los almidones extraídos de pituca en suspensión acuosa según temperatura.
- Determinar la viscosidad de las suspensiones de los almidones de pituca según aumento de las concentraciones y de las temperaturas.
- Establecer las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables elaboradas con almidón, afrecho y cascara de pituca.

Hipótesis de la investigación

- Conforme aumenta la temperatura, no se modifican los valores de las características fisicoquímicas de los almidones de pituca en suspensión acuosa.
- Al incrementar la concentración y temperatura de los almidones de pituca en suspensión acuosa según los valores de viscosidad e índice de flujo presentan el comportamiento de un fluido pseudoplástico.
- A medida que aumenta la concentración de los almidones de pituca en el proceso de elaboración de bandejas biodegradables, las propiedades mecánicas de estas bandejas como la dureza (D), fuerza de ruptura (N) y esfuerzo de tensión (MPa) manifiestan tener diferencias significativas.

Justificación e importancia

El estudio busca dar valor agregado y mayor utilidad a la pituca, a través de su aprovechamiento integral, debido al alto contenido de carbohidratos, como almidón y fibra que contiene la raíz y que pueden ser empleados como insumos básicos en la elaboración de envases biodegradables.

Por otro lado, será relevante para la sociedad, en razón que con los resultados se fomentará el manejo tecnificado de este cultivo, a fin de incrementar su producción y garantizar una raíz con la calidad aceptable que exige el proceso industrial, con ello, se generará empleos directos e indirectos de manera sostenible.

Igualmente, con esta alternativa, se beneficiarán todos los que participan en la cadena de producción y distribución, intermediarios y distribuidores finales, tanto de la raíz, puesto en planta, así como, de los envases biodegradables.

Asimismo, la aplicación de la pituca como insumo para obtener un envase biodegradable, se estará contribuyendo con la merma de la contaminación e impacto ambiental, debido al desplazamiento de los envases de material tipo plástico y tecnopor, usados masivamente en la población.

Finalmente, con el presente estudio, se contrastarán las características fisicoquímicas y comportamiento reológico medidos con respecto a lo reportado por otros investigadores según variación de la temperatura y concentración, así como la influencia que tienen estos almidones, en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Las harinas de dos variedades de pituca, conocido también como taro, se caracterizaron por contener más amilopectina que amilosa (89,17% y 89,29%), lo que explica su alta capacidad de absorción de agua y la alta cristalinidad de 33% y 28% (Boahemaa et al., 2024).

La *Colocasia esculenta*, contiene entre un 70 % y un 80 % de almidón, sus gránulos son pequeños, asimismo, es rico en mucilagos (Kaushal et al., 2015). Los almidones, conforme se fue madurando este tubérculo, aumentó la capacidad de absorción de agua de 140.11 a 304.48 %, índice de solubilidad de 17.50 a 29.42 % e índice de hinchamiento de 115 a 135 % (Himeda et al., 2012).

Por otro lado, los almidones de *Colocasia esculenta* en suspensiones al 3, 4 y 5%, se gelatinizaron a 75°C, con calentamiento de 1.5 °C/min, de 75 hasta 95 °C, en tanto, a 35 °C, la viscosidad del almidón de *Colocasia* fue baja (Moorthy et al., 2008). Los almidones de las variedades blanca y morada de *Colocasia esculenta*, resultaron tener morfologías semejantes, gránulos poliédricos irregulares con cavidades centrales, así también, se ha demostrado que los gránulos de almidón de mayor tamaño, causaron mayor capacidad de absorción de agua ($139\pm0,53\%$), propiedad que conduce a tener mayor temperatura de gelatinización ($76,1\pm0,3$ °C), el cual es muy favorable para los almidones, en razón que permite usar en procesos alimentarios a mayores temperaturas (Trujillo-Ccanahuire et al., 2024).

La *Colocasia esculenta* contiene 82.35% de almidones, cuyos gránulos son pequeños ($<8\ \mu\text{m}$), estos se caracterizan por su cristalinidad relativa alrededor de 36.91% y viscosidad de 46.2 mPa.s (Syed et al., 2021).

Por microscopía se evidenció que los gránulos de almidón de pituca fueron más pequeños comparado con los de la yuca, así también, se determinó que el tubérculo

contiene más amilosa (33.3%) que la raíz (29.3%), que la gelatinización de los almidones de yuca se manifestó a temperatura de 60.11–72.67 °C y de la pituca de 72.96–80.25 °C (Nwokocha et al., 2009).

El almidón es una alternativa para elaborar bandejas biodegradables y así reducir los residuos sólidos originados por el uso de bandejas de poliestireno expandido, difíciles de biodegradarse, este polímero lo encontramos en diferentes fuentes naturales, como tal, se reporta que para obtener bandeja biodegradables, una alternativa es el almidón de papa, mezclado con fibra de tocones de espárrago y glicerina, mediante proceso de termoformado con presión de 24 bar a 150 °C por un tiempo de 20 minutos, llegando a establecer que la mezcla óptima fue con 85% de tocones de espárrago, 6,89 de almidón de papa y 13,11% de glicerina, cuyas bandejas presentaron como máximos valores de 19.19kg de dureza, 9.09 mm de fracturabilidad, 0.133 MPa de resistencia a la tracción y 2.998 mm de elongación (Díaz-Díaz et al., 2023).

En tanto, se evidencia que con almidón de la fruta de Umarí (*Poraqueiba sericea*) y harina de la tusa de maíz amarillo duro (*Zea mays*), se puede elaborar bandejas biodegradables, a través de termoformado a temperaturas que varían de 135°C a 145 °C y por tiempos de 6.30 min a 6.40 min, tales bandejas biodegradables mostraron que al aumentar en proporción de harina de tusa, disminuye su resistencia mecánica, asimismo, se vieron afectadas la tensión, elongación, dureza y fracturabilidad debido a que disminuyeron a 2.84 ± 0.24 a 3.43 ± 0.11 *M*, 1.54 ± 0.08 a 2.04 ± 0.12 %, 67.70 ± 7.31 a 90.97 ± 11.7 *N* y 1.43 ± 0.6 a 3.19 ± 1.87 *m* respectivamente comparado con el control, concluyendo que la bandeja con almidón al 87.5% y fibra 12.5%, reflejó tener las mejores propiedades físicas y mecánicas (Barrios & Huertas, 2023).

Mediante la técnica de termoformado a temperaturas de 165°C a 175°C y tiempo de 5 min a 5.20 min determinaron la formulación de la mezcla de almidón de semilla de mango, fibra de residuos de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar para la elaboración de bandejas biodegradables, donde estas, mostraron que al incrementar la concentración de fibras la capacidad de absorción de agua disminuyeron a niveles entre 9.989 ± 1.836 a 27.312 ± 1.408 %, de igual forma la adición de fibras influyó en la disminución de la resistencia mecánica, alcanzando valores de resistencia a la tracción de 1.999 ± 0.469 a 3.356 ± 0.203 MPa, elongación de 1.329 ± 0.19 a 2.544 ± 0.421 %, dureza de 72.079 ± 16.601 a 94.765 ± 10.664 N y fracturabilidad de 1.77 ± 0.704 a 3.993 ± 2.043 mm, en tanto, en base a la Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR), se evidenció que las fibras, bagazo y cascarilla provocaron un decaimiento de la intensidad en las bandas de 500 a 3343 cm^{-1} , finalmente, concluyeron que las bandejas con 85% almidón, 10% cascarilla y 5% bagazo presentaron mayor resistencia mecánica, baja humedad y baja CAA (Corpus & Bocanegra, 2024).

La disponibilidad de cascarilla de arroz permitió investigar en el campo de elaboración de bandejas biodegradables mediante termo prensado, como oportunidad para reemplazar a los desechables de solo un uso, del estudio, determinaron que los parámetros óptimos fueron una composición de cascarilla de arroz y almidón de 20/80 % (p/p), con una duración de prensado de 3 minutos a 150 °C, dichas bandejas presentaron una dureza de $5,26 \pm 0,22$ kgF, grosor y densidad de $2,05 \pm 0,01$ mm y $0,97 \pm 0,004$ g/cm³ respectivamente (Hoang & Tran, 2023).

Con la finalidad de determinar la formulación de almidón, fibra de semilla de palta y almidón de semilla de mango para elaborar bandejas biodegradables mediante termoformado a 200°C durante 85 segundos, estas fueron caracterizadas mediante

propiedades físicas y mecánicas, como resultado, las bandejas con mayor porcentaje de almidón de semilla de palta presentaron menor espesor, asimismo, que la densidad, tensión y resistencia a la perforación no fueron influenciadas por las formulaciones cuyos valores fueron de 0.200 ± 0.033 a 0.292 ± 0.027 g/cm³; 0.07 ± 0.02 y 0.22 ± 0.1 MPa; y de 19.71 ± 11.62 y 34.00 ± 3.83 N, respectivamente, por su parte, la humedad y CAA decrecieron al aumentar la proporción de fibra, conforme a los valores de 11.59 ± 0.25 a $12.20\pm0.03\%$ y de 56.0725 ± 0.2828 y $114.132\pm0.4311\%$, respectivamente, de igual comportamiento presentaron la elongación que varió de 0.33 ± 0.10 a $0.91\pm0.11\%$, concluyendo, que las bandejas con 90 % almidón de semilla de mango y 10% de fibra de semilla de palta presentaron mayor resistencia mecánica, menor humedad y menor CAA (Matos & Díaz, 2022).

Mediante morfología, propiedades funcionales y térmica se caracterizaron a los almidones de las variedades de pituca (*Colocasia esculenta* L. Schott) morada y blanca, los resultados mostraron que los polímeros de ambas, presentaron forma poligonal con cavidades céntricas, de ellos, los gránulos de tamaño mayor fue para la pituca morada con 2,58 μ m y menor para la blanca con 2,31 μ m, en tanto, que ambos tuvieron similar capacidad de retención de agua, sin embargo la variedad blanca presentó mayor solubilidad de 3,20% comparado con la morada que tuvo 1,33% y por su parte los análisis de calorimetría diferencial de barrido mostraron que los almidones en promedio presentaron una estabilidad térmica de 80.03°C (Trujillo, 2022).

En base a los fundamentos de reología, fueron caracterizados dispersiones de almidón de maíz, papa y chinchayote, dichos resultados, evidenciaron que a las concentraciones de 5 y 9 % (p/v), el almidón de maíz manifestó tener comportamiento de fluido newtoniano, en tanto, los almidones de papa y chinchayote reflejaron pseudoplásticos. (Arias Balderas et al., 2020).

Con el objetivo formular y caracterizar bandejas biodegradables a base de almidón de yuca (*Manihota sculenta*) y harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) mediante termo prensado de 195°C a 200°C y tiempo de 1.67min a 1.75min, evaluaron propiedades físicas y mecánicas, cuyos resultados, mostraron que conforme aumenta la concentración de harina de brácteas de alcachofa, disminuyó su espesor de 2.88 ± 0.09 a 2.37 ± 0.19 mm, aumentó la densidad de 0.16 ± 0.03 a 0.24 ± 0.01 g/cm³, la solubilidad de 20.85 ± 0.01 a $22.59\pm0.10\%$ y la capacidad de absorción de agua de 64.16 ± 0.78 a $99.20\pm0.65\%$ y comportamiento contrario mostraron las propiedades mecánicas, como debilitamiento de la resistencia mecánica, debido a una baja dureza (13.74 ± 0.25 a 21.69 ± 3.91 N), deformación (6.43 ± 0.25 a 8.06 ± 0.68), tensión (0.01 ± 0.8 a 0.03 ± 0.63 Mpa) y elongación (0.48 ± 0.07 a $1.90\pm0.11\%$) y por otro lado, el análisis de Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR) confirmó que la harina de brácteas de alcachofa, influenció en el decrecimiento de la intensidad de las bandejas, finalmente concluyeron que las bandejas con 95% almidón de yuca y 5% harina de bráctea de alcachofa, presentaron las mejores propiedades físicas y mecánicas (Ponce Ramirez & Horna Menacho, 2023).

Con el propósito de evaluar el efecto de las fibras naturales obtenidas de residuos agroindustriales en la densidad, el gramaje y las propiedades mecánicas de las espumas termoprensadas elaboradas con almidones de camote, oca y arracacha a temperatura de 145 °C, presión de 60 bar y tiempo de horneado de 10-15 min, dichas bandejas fueron caracterizadas, donde evidenciaron que aquellas elaboradas con almidón de camote-fibra de bagazo de caña al 15%, y de almidón de arracacha-fibra de espárrago al 30% su resistencia a la flexión fueron mayores, asimismo, la dureza de dichas bandejas se vieron favorecidas por la adición de fibras, por lo contrario, la fracturabilidad decreció (Espina et al., 2016).

El almidón, polímero biológico que abunda en la naturaleza, complejo de ser procesado, debido a las interacciones de enlaces de hidrógeno y fuerzas intermoleculares que presenta, siendo una alternativa, primeramente plastificarlo con acción del calor y fuerzas de cizalla, sin embargo, cabe mencionar, que en diferentes reportes, también lo denominan termoplástico, cuando este ha sido mezclado con otro polímero de naturaleza dura, con agua y plastificantes, conversión que conduce a mejorar las propiedades de flexibilidad y de proceso (Surendren et al., 2022).

Con fines de facilitar el proceso y de mejorar sus propiedades funcionales, el almidón nativo es convertido a termoplástico al mezclarse con materiales plastificantes y polímeros a altas temperaturas y presiones elevadas, dicha mezcla con baja humedad, al ser sometido a moldeo por compresión, se calienta en tiempos cortos, lo que da como resultado una masa fundida viscoelástica que, al enfriarse, forma diversos productos, como láminas o bandejas para embalaje (Parulekar & Mohanty, 2007).

La lignina presente en las paredes celulares, puede ser usado para reforzar el proceso de producción de bioplásticos, en razón, que podría actuar como plastificante y fácil de acoplarse a una mezcla, esta, es modificada para poder mezclarse de manera homogénea con otros biopolímeros, mediante la sustitución de un grupo orgánico por el grupo funcional $-OH$, por otro lado, mezclas de fibras lignocelulósicas, son alternativas para generar un mayor número de grupos funcionales con capacidad de interactuar con otros biopolímeros (Yang et al., 2019).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Pituca (*Colocasia esculenta*)

La pituca mostrada en la Figura 1, es una planta tropical que requiere precipitaciones altas y tiene subespecies blanca y morada, se adapta a climas calientes, brinda buen rendimiento desde los 12°C hasta 30°C, por otro lado, tiene un gran significado en

la alimentación humana, es muy usado en panificación, contiene escasa proteína y grasa, sus gránulos de almidón son de 4 a 11 micras, siendo fáciles de digerir y asimilar, conforme se muestra en el Cuadro 1, la composición química de las variedades de pituca blanca y pituca morada (Morales, 2012).

Figura 1

Planta de pituca (*Colocasia esculenta*)



Cuadro 1

Composición química de la pituca por 100g en base húmeda

Componente	Pituca blanca	Pituca morada
Humedad	66.00	68.00
Proteínas	0.91	0.95
Grasas	0.15	0.13
Carbohidratos	29.00	31.00
Fibra	0.30	0.35
Cenizas	1.20	1.30

Nota. El cuadro describe los componentes químicos de la pituca tomado del artículo de revista académica Espacio y Desarrollo N° 24 (2012), titulado Fitogeografía e Industrialización del almidón de pituca, reportado por Morales (2012).

2.2.2 Almidón

El almidón es un polisacárido que se encuentra en el reino vegetal en diferentes partes de una planta como tubérculos, raíces, granos, frutas y tallos, tales como la mandioca, papas, zanahorias, trigo, maíz, guisantes, plátano, calabaza, sagú y tabaco (Ai y Jane, 2018). El almidón consta de dos polímeros mostrados en las Figuras 2 y 3, la amilosa, compuesta de largas cadenas lineales con enlaces α -1,4 y amilopectina, que comprende cadenas de glucosa con enlaces α -1,4 unidas por puntos de ramificación con enlaces α -1,6 (Tapia-Blácido et al., 2022).

Figura 2
Segmento de la estructura de amilosa

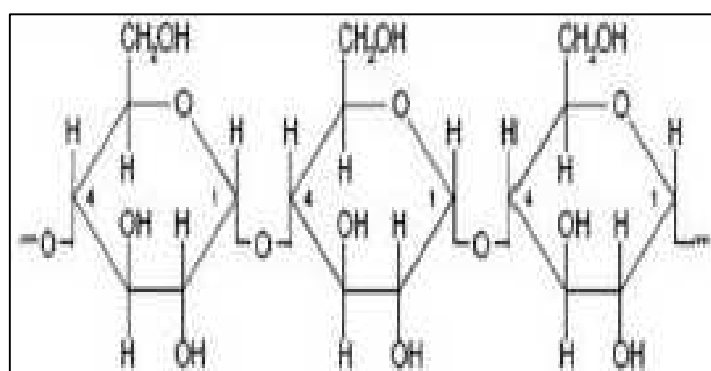
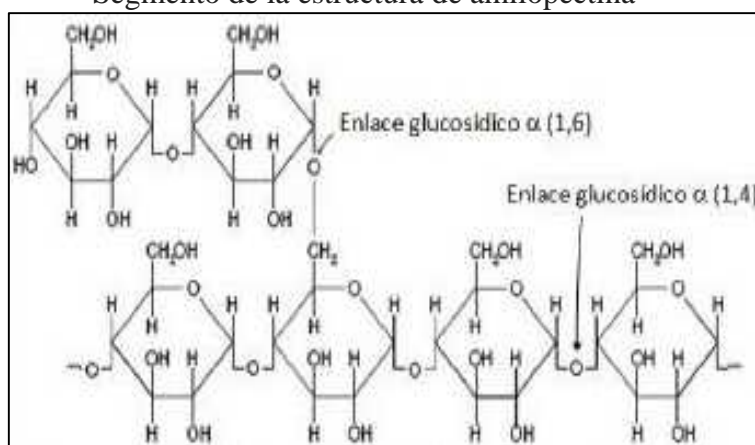


Figura 3
Segmento de la estructura de amilopectina



Nota. Estas figuras representan las estructuras químicas de la amilosa y amilopectina, ambos componentes del almidón. Tomado del artículo Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos (Peñaranda Contreras et al., 2008).

Por ser renovable, tener alta disponibilidad y bajo costo, el almidón es el más usado en la elaboración de materiales biodegradables, sin embargo, permite obtener bioplásticos, con propiedades insatisfactorias al ser aplicado en los servicios comerciales, como empaque o envasado de alimentos, asimismo, se conoce que estos materiales a base de almidón, en contraste con los plásticos convencionales poseen desventajas como poca estabilidad frente a la humedad y se descomponen fácilmente a bajas temperaturas, afectando todo esto a las propiedades mecánicas, como a la resistencia a la tracción y alargamiento (Francisco Ponce et al., 2021).

2.2.2 Contenido de amilosa y amilopectina en alimentos

Los almidones contienen amilosa y amilopectina, que son dos polímeros, presentes en los cereales, tubérculos y raíces en diferentes tamaños y proporciones, conforme se observa en el Cuadro 2, demostrando que el almidón no posee uniformidad.

Cuadro 2.

Características de los gránulos de almidón según fuente

Alimento	% Almidón	% Amilosa	% Amilopectina	Diámetro de granulo (micras)	Tipo
Maíz	71	28	72	3 - 26	cereal
Papa	82	21	79	5 - 100	tubérculo
Trigo	74	28	72	2 - 35	cereal
Yuca	77	17	83	4 - 35	raíz
Sorgo	75	28	72	3 - 8	cereal
Arroz	89	17	83	3 - 8	cereal
Pituca	77	25	75	4 - 11	tubérculo

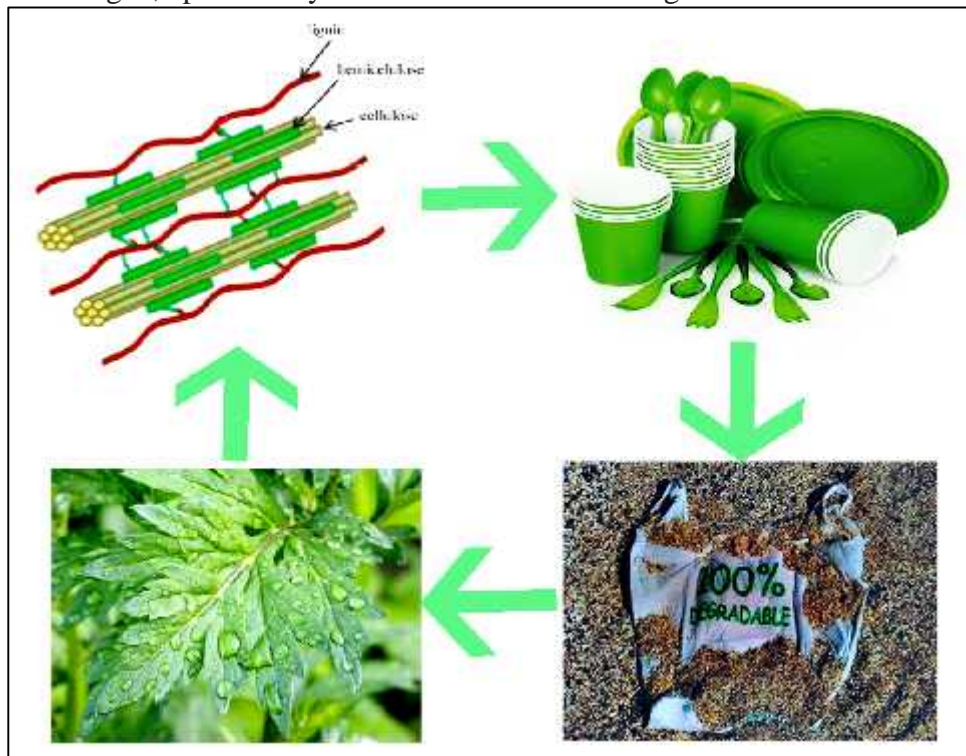
Nota. Este cuadro adaptado muestra las características clásicas de los gránulos de almidones de diversos alimentos. Tomado de los artículos de Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano (Martínez & Velasco, 2016) y de Fitogeografía e Industrialización del almidón de pituca (Morales, 2012).

2.2.3 Fibras vegetales

Con la finalidad de mejorar las propiedades de los bioplásticos elaborados a base de almidón, se viene reforzando con la incorporación de fibras vegetales que son recursos naturales como la celulosa, hemicelulosa y lignina mostrado en la Figura 4, por ofrecer mejor ductilidad y resistencia a la fractura (Francisco Ponce et al., 2021). Una alternativa tecnológica para disminuir la contaminación y mejorar la biodegradabilidad es reemplazar las fibras sintéticas en los bioplásticos por fibras naturales como lignocelulósicas y la lignina (Yang et al., 2019).

Figura 4

Origen, aplicación y naturaleza de las fibras vegetales



Nota. La figura representa el origen de las fibras vegetales como celulosa, hemicelulosa y lignina, su aplicación en la elaboración de envases y la biodegradación a que están inmersos. Tomado del artículo Applications of Lignocellulosic Fibers and Lignin in Bioplastics: A Review publicado por Yang et al (2019).

2.2.3 Envases biodegradables

Las principales aplicaciones de los plásticos biodegradables se encuentran actualmente en envases (alimentarios), artículos para el servicio de alimentos, bolsas (de la compra), fibras/no tejidos y aplicaciones agrícolas, esto puede explicarse, por la historia de muchos plásticos biodegradables y de base biológica, por otra parte, para la producción de bioplásticos, las principales contribuciones se dan en Asia (45 %), Europa (25 %), América del Norte (18 %) y América del Sur (12 %) (Salman et al. 2021). Los plásticos biodegradables incluyen PLA (ácido poliláctico), PHA (polihidroxicanoatos), mezclas de almidón, PBS (succinato de polibutileno), PBAT (adipato – co – tereftalato de polibutileno) y otros que constituyen más del 55,5 % de la producción mundial de bioplásticos (Mercado, 2020).

2.2.3 Plásticos Biodegradables a base de almidón

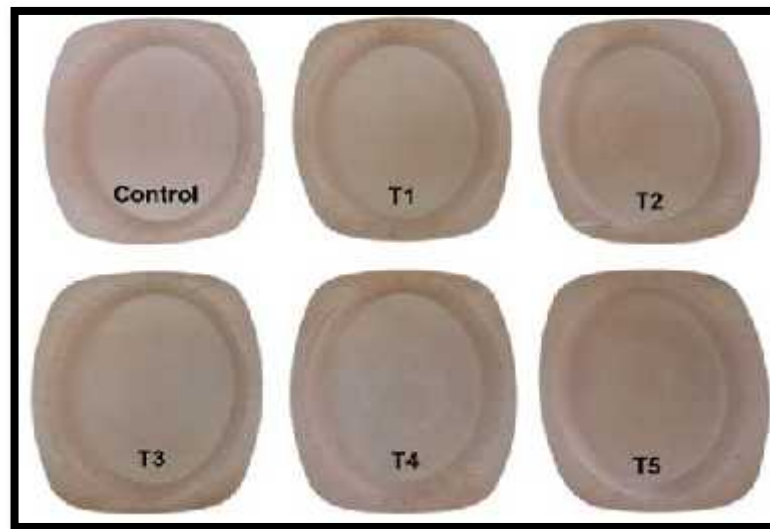
La mayoría de polímeros de almidón se utilizan para elaborar envases y embalajes, estos están constituidos por mezclas de almidón con otros polímeros, como poliésteres alifáticos que mejoran su procesamiento y biodegradación, para esto, los poliésteres más idóneos son la policaprolactona y los alifáticos aromáticos, asimismo, estas mezclas son usadas para elaborar láminas y películas para embalaje, complementariamente se menciona que la elasticidad del sistema policaprolactona/almidón aumentó con el incremento del almidón en las mezclas (Valero-Valdivieso et al., 2013).

2.2.4 Bandejas a base de almidón y otros productos termoformados

Las bandejas a base de almidón (rígidas o espumadas) como las mostradas en la Figura 5, se pueden utilizar para envasar frutas y verduras, dichas bandejas no son transparentes, asimismo, las propiedades de barrera no son importantes en esta aplicación, por lo que la funcionalidad se basa en las propiedades mecánicas y las opciones de fin de vida útil, por otro lado, debido a que los materiales a ser usados

para los termoformados deben ser rígidos, por ellos, es posible en las mezclas usar como componente al ácido poliláctico (PLA) en razón que este es 100 % de base biológica (Van den Oever et al., 2017).

Figura 5
Bandejas biodegradables a base de almidón



Nota: La figura muestra bandejas biodegradables elaboradas a partir de almidón de semillas de umari y harina de mazorca de maíz en diferentes formulaciones (Huertas et al., 2025), tomada del artículo de la Scientia Agropecuaria vol.16 no.1 Trujillo ene./mar. 2025.

El almidón es la alternativa para ser usado en la síntesis de materiales biodegradables, no obstante, es limitada su aplicación, por ser poco resistente a la humedad, complejos de ser procesado e incompatible con otros polímeros hidrofóbicos, por ello, se presentan alternativas como modificar las estructuras del polímero, realizar mezclas, hacer uso de sustancias que permitan compatibilizar entre polímeros y así mejorar las adhesiones interfaciales entre los almidones, otros polímeros y la adición de fibras, es decir, los almidones termoplásticos son esencialmente almidones modificados, que se logran obtener con la incorporación de sustancias plastificantes sometidos a procesos bajo presiones y temperaturas

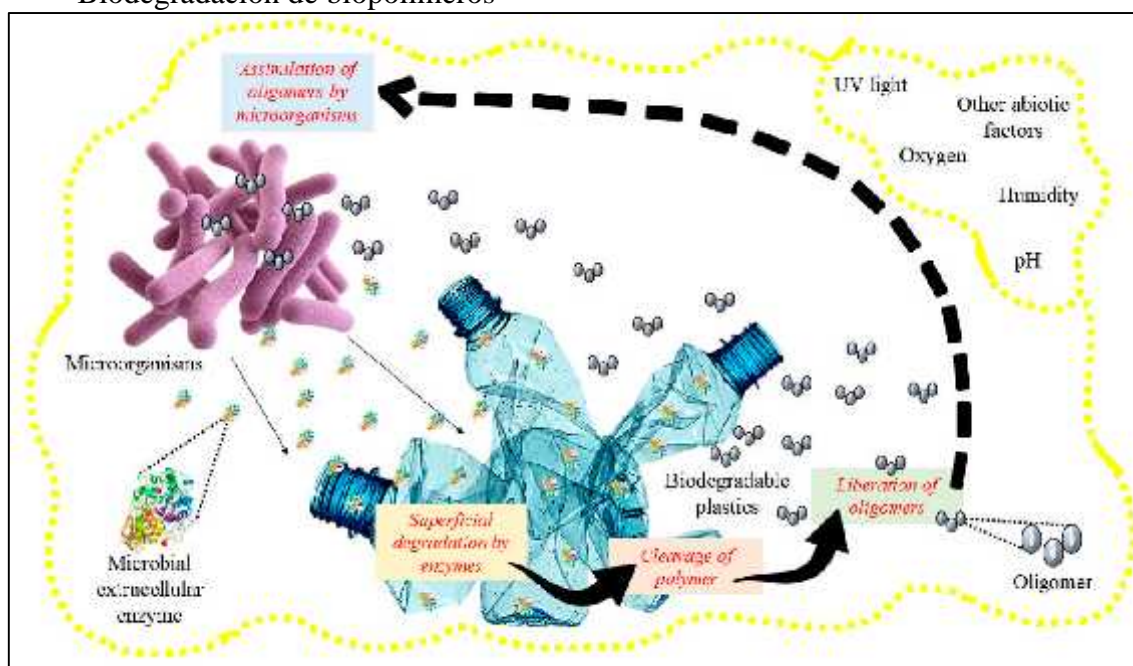
altas, hasta lograr que el almidón pierda su estructura cristalina y permita obtener un almidón termoplástico amorfo, sin embargo, los resultados demuestran que los almidones termoplásticos por ser solubles en agua, por altamente higroscópicos y envejecer rápidamente, limitan a ser usado como empaque, situación que se viene solucionando con la incorporación de fibras celulósicas, que van a reforzar y mejorar las propiedades mecánicas (Valero-Valdivieso et al., 2013).

2.2.5 Biodegradación

Biodegradación según la Figura 6, es la descomposición de materiales de forma aeróbica o anaeróbica por enzimas de microorganismos como bacterias, hongos y algas bajo determinadas condiciones que se presenta en el medio ambiente, hasta convertirse los componentes hasta CO_2 , sales inorgánicas, componentes celulares y micelas correspondientes de las materias naturales, en tanto, que en condiciones aerobias, los productos que se obtienen de la biodegradación son el CO_2 y H_2O , que son dispuestos a la naturaleza (Portella, 2019).

Asimismo, se entiende que la biodegradación de un producto como una descomposición natural, no contaminante, originado agentes biológicos (Francisco Ponce et al., 2021).

Figura 6
Biodegradación de biopolímeros



Nota. La figura representa el proceso general de la biodegradación de polímeros. Tomado del artículo Biodegradation of polymers: stages, measurement, standards and prospects (Silva et al., 2023).

Proceso de degradación biológica-química llevada a cabo por acciones enzimáticas producidas por microbios, frente a sustratos como polímeros naturales y sintéticos, los cuales serán transformados a CO_2 y el hidrogeno en moléculas de agua (Hernandez, 2013).

Según el Cuadro 3, en relación al proceso de biodegradación de envases bioplásticos como vasos, platos, cucharas y cubiertos elaborados a base de almidones con fibras de celulosa de diversas fuentes de vegetales expuestos a diferentes condiciones, mostraron tiempos de degradación cortos que fluctuaron de 80 a 90 días (Hernández, 2013).

Cuadro 3
Tiempo y condiciones de degradación de envases bioplásticos

Producto	Tiempo de degradación	Condiciones
Plato, caña de azúcar	90 días	Ambiente
Vaso, almidón de maíz	180 días	Composta
Bolsa, almidón de maíz	180 días	Composta
Cubiertos, maíz y caña de azúcar	180 días	Composta

2.2.6 Termoformado

Según Moreno (2013), es el proceso por el cual se le da forma a una lámina de plástico por medio de calor, utilizando un molde a temperaturas entre 120 y 180 °C, asimismo, menciona que los principales métodos de termoformado son al vacío, a presión, mecánico, y mecánico molde macho – hembra.

El proceso de termoformado se inicia con un calentamiento donde la lámina de plástico es blanda, luego, esta es estirada hacia un molde frío, donde la lámina adquiere la forma del molde y es retirada, es decir, este es un conjunto de procesos de formación de láminas, por drapeado, ondulación de burbujas libres, doblado mecánico, por moldes emparejados y por presión (Throne, 2024).

El proceso térmico de los almidones conlleva a varias reacciones químicas y físicas, como la difusión de agua, expansión de gránulos, gelatinización, descomposición, de estas, de las cuales, la reacción más importante es la gelatinización, puesto que es base para la conversión del almidón en termoplástico, el cual es referido a la pérdida de la estructura cristalina de los gránulos de manera irreversible, terminando con hinchazón granular, pérdida de birrefringencia y solubilización molecular (Liu et al., 2009).

2.2.7 Propiedades mecánicas de los envases biodegradables

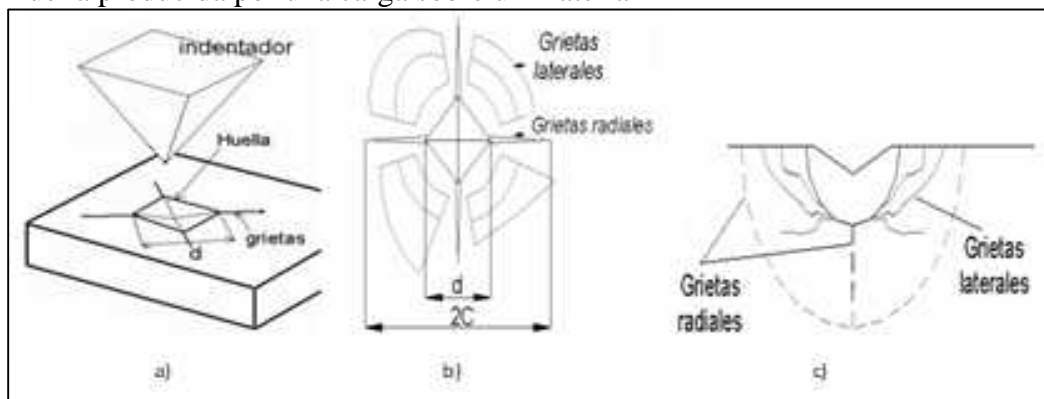
Es el comportamiento de los materiales bajo la acción de estímulos externos que se establecen mediante ensayos o pruebas en el laboratorio y se pueden medir mediante ensayos de tracción, compresión, flexión, torsión, dureza e impacto (Rojas, 2019).

▪ Dureza

Desde el punto de vista microscópico, la dureza es definida como la resistencia de un material a una deformación o indentación lograda a través de la combinación de enlaces químicos y es medida en función de la relación entre la fuerza del penetrador y el área penetrada o indentada, donde los resultados de dureza, van a depender de la forma del indentador, fuerza y velocidad de carga, así como del tamaño y tiempo de indentación, orientación de la muestra y en qué condiciones se encuentre la superficie (Tian et al., 2012).

De acuerdo a la Figura 7, el ensayo para medir la dureza por indentación, consiste en que un indentador ejerza una presión sobre una superficie, el cual deja grabada o impresa una huella sobre el material, la forma o magnitud de dicha huella va a depender de la carga máxima aplicada y geometría de la huella generada, es decir, que la medida de la dureza es la presión de contacto media durante la carga máxima, en relación por el área de la deformación (Meza et al., 2006).

Figura 7
Huella producida por una carga sobre un material



Nota. La figura representa una huella en forma piramidal producida al aplicar una carga sobre un material a través de un indentador. a) Grietas radiales b) Grietas y radiales visto en planta. c) Grietas vistas en corte diagonal, tomado del artículo titulado Técnicas de indentación: medición de propiedades mecánicas de cerámicas, reportado por Meza et al. (2006).

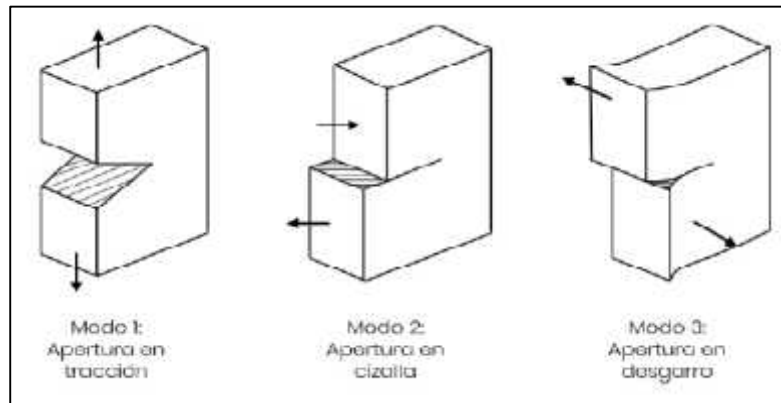
- **Fractura**

Esta propiedad mecánica se define como la desintegración parcial de un material por esfuerzo, debido a la formación de una nueva superficie en el mismo cuerpo, asimismo, es sinónimo de rotura o acción de quebrar (Acosta & Martínez, 2001).

Es un fenómeno crítico en la ciencia de materiales e ingeniería, toda vez, que la resistencia y durabilidad son aspectos determinantes para el correcto funcionamiento de sus componentes y sus respectivas estructuras, asimismo, es considerado como un aspecto esencial en la ingeniería de materiales, donde se logra entender los mecanismos de fractura y como mitigar para obtener mejor resistencia y durabilidad, desde el punto de vista de fractura, se pueden distinguir materiales frágiles y dúctiles, donde los primeros, son de baja tenacidad y se fracturan sin deformación significativa, mientras que los materiales dúctiles se deforman en real magnitud antes de fracturarse, lo que los conlleva a tener mayor capacidad de absorción de energía (Toledo et al., 2023).

En tanto, se sostiene que un material sólido puede estar sujeto a ser sometida a tensiones bajo tres modos diferentes, conforme se muestra en la Figura 8, donde el modo I, de apertura en tracción, se manifiesta cuando la tensión es perpendicular al plano de la grieta, el II, de apertura por cizalla o corte plano, se presenta cuando las superficies de la grieta se desplazan paralelamente al plano de la grieta en sentidos opuestos y el modo III, conocido como apertura en desgarro, donde las superficies de la grieta se encuentran paralelo al plano de la grieta pero estas se mueven en dirección paralela al modo de crecimiento (Cervantes, 2022).

Figura 8
Modos de fractura de un material



Nota. La figura representa los tres modos simples de apertura de una grieta o fractura. Tomado del repositorio institucional de la UAQMX publicado por Martínez (2022).

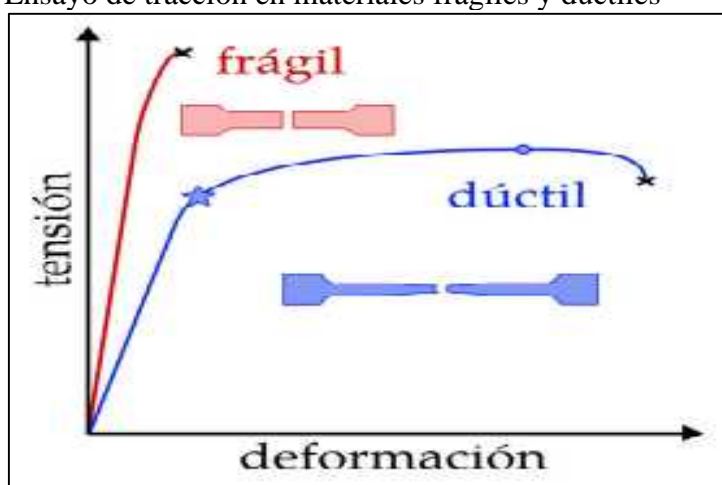
▪ Resistencia a la tensión

Es el ensayo que se realiza para determinar propiedades de materiales, el cual, al aplicar una fuerza unidireccional al material mediante un cabezal o celda móvil, la información que se obtiene, son las propiedades físicas y mecánicas como resistencia, ductilidad, tenacidad, módulo elástico, endurecimiento por deformación, entre otras, tal es el caso, que en investigaciones se ha demostrado que con compuestos ricos en fibras, a medida que se aumenta el porcentaje de fibra, la resistencia se mejora muy significativamente (Correa & Fontecha, 2014).

Esta propiedad es definida como la reacción manifestada desde el interior de un sólido al que se aplicó cargas axiales y tienden a alargarlo, esta tiene la misma magnitud y es de sentido contrario a la carga aplicada, asimismo, durante la prueba la muestra es deformada hasta producir fractura incrementando gradualmente una tensión (Granda & Ramos, 2019).

El resultado de la aplicación de un esfuerzo y la deformación que se produzca, es una de las pruebas que permite conocer, el comportamiento de un polímero cuando este es sometido a un esfuerzo uniaxial perpendicular a la cara de aplicación (León, 2011). Los ensayos de tracción, de acuerdo a la Figura 9, revela dos comportamientos de los materiales frágil y dúctil.

Figura 9.
Ensayo de tracción en materiales frágiles y dúctiles



Nota. Esquema que muestra un material frágil (elástico) y un dúctil (plástico) al ser sometido a una tensión. Tomado del trabajo Materia Blanda bajo Condiciones Extremas de Tensión-Deformación (Ortellado, 2024).

2.2.8 Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

La Transformada de Fourier Infrarroja (FTIR) permite representar la estructura molecular a través de las vibraciones atómicas, este denota propiedades específicas de los enlaces químico y estructuras moléculas de materiales, como el caso de análisis de muestras de plásticos, polímeros y componentes orgánicos, donde cada pico y el espectro de FTIR son huellas digitales de estructuras moleculares, enlaces químicos específicos, que tiene datos suficientes para identificarlos (Nandiyanto et al., 2023).

La espectroscopia FTIR mide la radiación infrarroja (IR) absorbida por un polímero, y así, se estudia su composición molecular, es decir, que es espectro infrarrojo generado es la huella que deja la muestra de polímero, donde la absorción denota a picos que relacionan a las frecuencias de vibración entre enlaces de átomos que lo conforman, debido a que los materiales se diferencian por las combinaciones únicas de átomos, por lo tanto, no existen compuestos que produzcan los mismos espectro infrarrojo, como tal, las estructuras químicas de una molécula de polímero es determinada mediante FTIR (Veerasingam et al., 2021).

.III. METODOLOGÍA

3.1 Método

- **Según su finalidad:** Aplicada

Se utilizó los conocimientos para determinar las características fisicoquímicas y reológicas de los almidones extraídos a partir de la pituca y establecer las concentraciones de almidón, afrecho y cascara para elaborar bandejas biodegradables con propiedades mecánicas aceptables.

- **Según su objetivo gnoseológico:** Cuantitativa – explicativa

Los datos recopilados fueron procesados y examinados a través de la estadística, donde se interpretaron en base a la correlación de las variables dependientes e independientes para arribar a las conclusiones según los objetivos planteados.

- **Según el control de variables:** Experimental

Consistió en manipular bajo un estricto control las variables de la investigación de acuerdo al diseño experimental, tanto en la caracterización y comportamiento reológico de almidones de pituca, así como, en la aplicación de los almidones en envases biodegradables.

- **Según su contexto:** De laboratorio

El experimento se realizó en laboratorios especializados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, donde se instaló y puso en marcha los equipos e instrumentos utilizados en cada una de las etapas de la investigación.

- **Según la temporalidad:** Transversal

Se recolectaron datos de la experimentación durante todos los meses del 2023 y el primer trimestre del 2024, conforme a la planificación, concerniente a las características fisicoquímicas y comportamiento reológico de los almidones de pituca y las propiedades mecánicas de envases biodegradables según concentraciones.

3.2 Diseño de investigación

3.2.1 Descripción del flujo general de investigación

La investigación comprendió tres etapas según el diagrama de bloque mostrado en la figura 10 y que a continuación se describe:

En la primera etapa se efectuaron las operaciones unitarias para extraer los almidones a partir de pitucas procedentes de la ciudad de Tingo María. En la segunda, se determinaron las características fisicoquímicas y comportamiento reológico de los almidones y en la tercera etapa, se elaboraron los envases biodegradables con la aplicación de los almidones, afrecho y cascara extraídos de la pituca, donde se establecieron las concentraciones de cada uno de estos componentes en función a las propiedades mecánicas aceptables.

3.2.2 Diseño experimental

▪ En el comportamiento reológico de almidones de pituca

Los almidones extraídos y caracterizados fisicoquímicamente, fueron dispuestos a evaluación reológica, el cual fue conducido por un experimento factorial 3 x 3 en Diseño Completo al Azar (DCA), donde las variables independientes fueron la concentración de almidón (A) y temperatura (B), conforme se muestra en la figura 11.

El experimento a desarrollar se adecuó a un modelo matemático lineal propuesto por Montgomery (2004), mostrado a continuación.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Viscosidad e Índice de Comportamiento de Flujo
- μ = Media general
- A_i = Efecto de la concentración: a_0 ; a_1 ; a_2 (1.5; 3.0; 4.5% p/p)
- B_j = Efecto de la temperatura: b_0 ; b_1 ; b_2 (55; 65; 75°C)
- $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción Concentración-Temperatura
- E_{ijk} = Efecto del error experimental

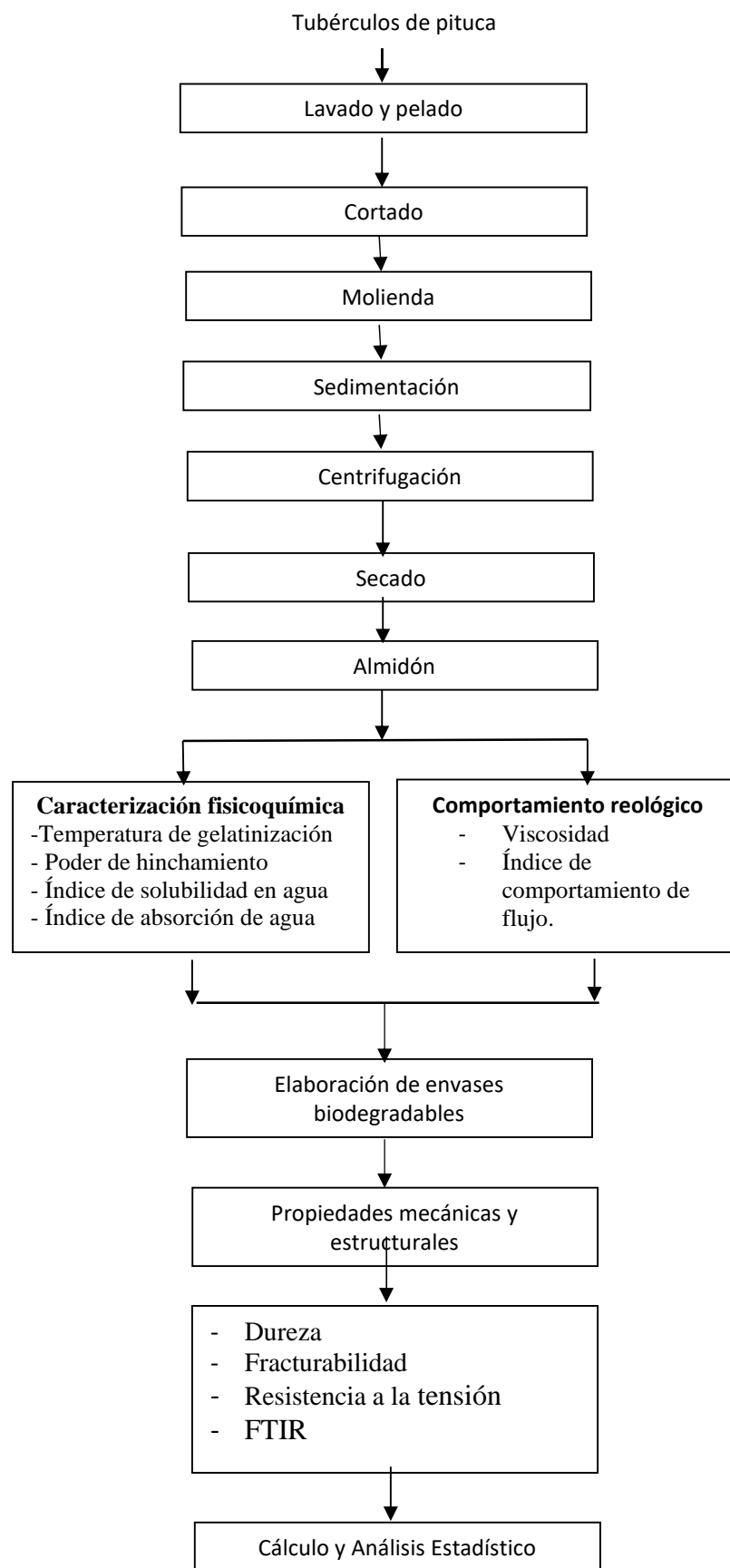


Figura 10. Diagrama de flujo general de la investigación

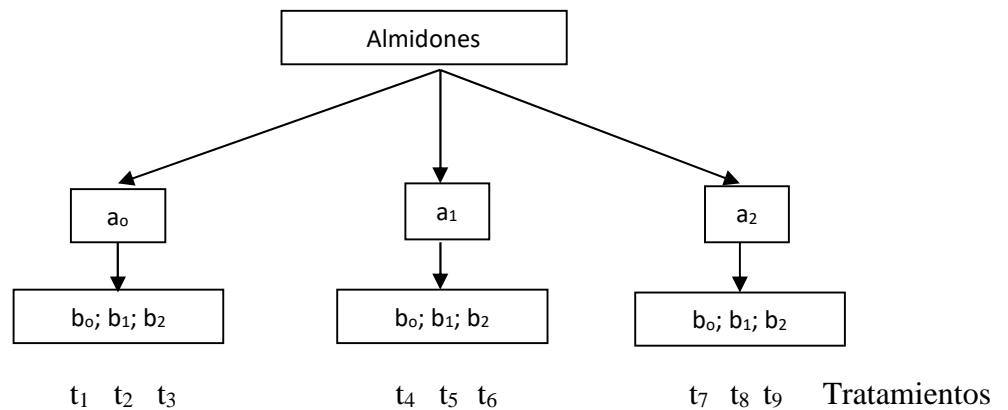


Figura 11. Disposición experimental de tratamientos para la evaluación reológica de almidones de pituca

Prueba de Hipótesis según Montgomery (2004), en la evaluación reológica e índice de comportamiento de flujo es:

1. Para el factor A:

$$H_0: a_0 = a_1 = a_2$$

$$H_a: a_0 \quad a_1 \quad a_2$$

2. Para el factor B:

$$H_0: b_0 = b_1 = b_2$$

$$H_a: b_0 \quad b_1 \quad b_2$$

3. Para la interacción AB:

$$H_0: a_0 b_0 = a_0 b_1 = a_1 b_0 = a_1 b_1 = a_2 b_0 = a_2 b_1 \dots$$

$$H_a: a_0 b_0 \quad a_0 b_1 \quad a_1 b_0 \quad a_1 b_1 \quad a_2 b_0 \quad a_2 b_1 \dots$$

- Según Montgomery (2004), se aplicó la prueba F, con 95% de confianza, para evaluar el efecto de la concentración y temperatura en la viscosidad e índice de comportamiento de flujo, según el cuadro 4.

Cuadro 4

ANAVA para evaluar el efecto de concentración y temperatura en la viscosidad e índice de comportamiento de flujo

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F _{exp}	F _{tab}	SIGN
Efecto de A	a-1=2					
Efecto de B	b-1=2					
Efecto de Int. AB	(a-1)(b-1)=4					
Error experimental	18					
Total	abr-1=26					

- Según Montgomery (2004), para los casos que mediante la prueba F, las fuentes de variación mostraron ser significativos, se aplicó la Prueba de Comparación de medias o Tukey, con 95% de confianza a fin de detectar diferencias entre cada una de ellas.

▪ En las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables

Las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables fueron evaluadas estadísticamente, a través del Diseño Completo al Azar simple propuesto por Montgomery (2004), con 10 tratamientos definidos en base a ensayos preliminares, con combinaciones de porcentajes de los tres componentes derivados de la pituca, como almidón, afrecho y cascara, conforme se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5

Distribución de los tratamientos aplicados en la elaboración de bandejas biodegradables y las medidas de las propiedades mecánicas

Tratamiento	% Almidón	% Afrecho	% Cascara	Dureza N/mm2	Fractura N	Resistencia mP
T1	100	0	0			
T2	90	5	5			
T3	80	10	10			
T4	70	10	20			
T5	67	6	27			
T6	60	20	20			
T7	60	10	30			
T8	53	13	34			
T9	53	20	27			
T10	50	20	30			

Se efectuó la Prueba de Hipótesis según Montgomery (2004), en la evaluación de las propiedades mecánicas conforme a:

$$\begin{aligned}
 H_0: & T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = T_7 = T_8 = T_9 = T_{10} \\
 H_a: & T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4 \neq T_5 \neq T_6 \neq T_7 \neq T_8 \neq T_9 \neq T_{10}
 \end{aligned}$$

Para la contrastación de dichas hipótesis, se aplicó la prueba F, con 95% de confianza, para evaluar el efecto de la concentración y temperatura en la viscosidad e índice de comportamiento de flujo, según el cuadro 6.

Cuadro 6

ANAVA para evaluar el efecto de tratamientos en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Fexp	Ftab	SIGN
Efecto de tratamientos	a-1=9					
Error experimental	20					
Total	abr-1=29					

3.3 Población

La población en estudio fueron los tubérculos de pituca que fueron recolectados a partir de las plantas ubicadas en la zona agrícolas de la ciudad de Tingo María, ubicado en la Región de Huánuco, Perú.

3.4 Muestra

La muestra en estudio estuvo conformada por 90 kg de tubérculos de pituca maduros, recolectadas manualmente, lavadas, desinfectadas y envasadas en cajas de cartón corrugadas, para ser transportadas vía terrestre hasta las instalaciones de los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNS.

3.5 Operacionalización de variables

El presente estudio se ha desarrollado en el marco de dos etapas, conforme se describen en la operacionalización de variables mostrados en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7

Operacionalización de variables en la caracterización fisicoquímica y reológica de almidones de pituca

VARIABLES		DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDADES	VALORES FINALES
Independientes	Concentración de la suspensión de almidón de pituca.	% Peso a peso	Peso de soluto/peso de suspensión multiplicado por 100.	%	1.5 - 3.0 - 4.5
	Calor de la suspensión de almidón de pituca.	Grado Celsius	temperatura	°C	55 – 65 - 75
Dependientes	Viscosidad	Dinámica	Esfuerzo de corte/velocidad de deformación	mPa.s	Alto Medio Bajo

	Tipo de fluido	Índice de comportamiento de flujo	>1 < 1 = 1	Adimensional	Dilatante Pseudoplástico Newtoniano
	Calor de gelatinización de almidón	Grados Celsius	Temperatura	°C	50 - 70
	Poder de hinchamiento	Absorción de agua	Peso de gel (g)/peso de muestra (g) – peso soluble (g) multiplicado por 100	%	0 - 100
	Grado de asociación entre los polímeros del almidón	Índice de solubilidad en agua	Peso del almidón soluble/peso de la muestra seca	Adimensional	< 1
	Absorción de agua	Cantidad de agua retenida por gramos de muestra seca	Peso del gel/peso de la muestra seca	Adimensional	>1

Cuadro 8

Operacionalización de variables en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables elaborados a base de almidón de pituca

VARIABLES		DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDADES	VALORES FINALES
Independientes	Concentración de almidón de pituca.	% peso a peso	Peso de almidón/Peso total de la mezcla.	%	50 - 70
	Concentración de afrecho de pituca	% peso a peso	Peso de afrecho de pituca/Peso total de la mezcla.	%	10 – 30
	Concentración de cascara de pituca.	% peso a peso	Peso de cascara de pituca/Peso total de la mezcla.	%	10 - 30

Dependientes	Resistencia	Dureza	Fuerza/Área	N/mm ²	Alto Medio Bajo
		Fracturabilidad	Fuerza	N	Alto Medio Bajo
		Tensión	Fuerza/Área	mPa	Alto Medio Bajo

3.6 Técnica e instrumento de recolección de datos

3.6.1 Técnica

La técnica a emplear para la recolección de datos fue la observación directa experimental, el cual consistió en registrar datos conforme se realizó el experimento, bajo condiciones controladas según las variables planteadas.

3.6.2 Instrumentos

- Estufa. Poleko-aparatura.
- Balanza Analítica. Precisa Gravimetrics AG. Con sensibilidad de 0.0001g.
- Balanza de precisión. Precisa XB 320M.
- Termómetro de 0-100°C.
- Centrifuga refrigerada.
- Molino ultracentrifugo. Retsch ZM200.
- Vibrador de Tamices. Retsch AS 200 basic.
- Termoprensa
- Thermo Fisher Scientific, modelo Nicolet™ iS50
- Vernier análogo endurecido de acero inoxidable DC051
- Analizador de textura. Marca Brookfield. Modelo CT3.
- Viscoamilografo Marca Brabender.

3.6.3 Procedimiento

3.6.3.1 Extracción de almidón, afrecho y cascara de pituca

La pituca, procedente del distrito de Tingo María (Huánuco, Perú). Los tubérculos fueron lavados, pelados y cortados en trozos de 3 a 5 cm, seguido, con adición de agua se pasó por molienda hasta reducir a partículas finas, que después de 2 horas, por sedimentación y centrifugación a 3000 rpm, se logró separar el almidón, afrecho y cascara, los mismos que mediante estufa (modelo POL-EKO-APPARATUS) a 60°C por 24 horas, se secaron hasta 8.0% de humedad, luego molidos y tamizados con malla N° 100, fueron envasados en bolsas de polietileno de alta densidad y almacenados a temperatura ambiente.

3.6.3.2 Caracterización química proximal de la pituca

Se determinó el contenido (%) de humedad, proteínas, grasa, cenizas (AOAC, 1995) y el contenido de carbohidratos por diferencia. El rendimiento expresado en % (p/p) fue cuantificado mediante la relación de peso seco de almidón obtenido y peso del tubérculo ingresado.

3.6.3.3 Caracterización fisicoquímica del almidón de pituca

- Índice de absorción de agua (IAA)

Se determinó por el método de Anderson et al. (1969), citado por Hernández-Medina (2008) y consistió en preparar 40 ml de una suspensión de almidón al 1% (b.s.), en agua destilada a 30 °C, luego se hizo el calentado a una velocidad de 1,5 °C/minuto hasta alcanzar 60°C, 70°C, 80°C ó 90°C, manteniendo dichas temperaturas por 30 minutos con agitación constante, en seguida se hizo el enfriado a temperatura ambiente y centrifugado a 2500 rpm, durante 15 minutos, en una centrífuga refrigerada, de esta marcha, se hizo el pesado del gel resultante, finalmente, la capacidad de absorción de agua para cada temperatura se calculó según la siguiente expresión:

$$I_s = \frac{P_{d\ g} (g)}{P_{d\ l\ m} \quad s \quad (g)}$$

- Poder de hinchamiento (PH) e Índice de Solubilidad en agua (ISA)

Se realizó según la metodología de Anderson (1982), citado por Correa et al. (2014), en un intervalo de 55°C a 95°C, conforme se detalla a continuación: en tubos de centrifuga se colocaron 0,2 g de almidón con 10 ml de agua, luego, se calentó a 55°C durante 30 min, en seguida se sacaron del baño para ser enfriados y centrifugados a 6.000 rpm durante 20 min. De esto, el sobrenadante se trasladó en cápsulas de aluminio previamente taradas, las mismas que fueron secadas mediante estufa. Se registró la masa que contienen los tubos de centrifuga con el sedimento y la masa de las cápsulas con el residuo seco. De la misma manera se realizó con las temperaturas de 75°C, 85°C y 95°C. Para el cálculo del índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) se realizaron los siguientes cálculos, mediante:

$$P = \frac{P_{d\ g} (g)}{P_{d\ m} \quad (g) - P_{d\ s} (g)}$$

$$I_s = \frac{P_{d\ s} (g)}{P_{d\ m} (g)}$$

- Temperatura de gelatinización (°C)

Se determinó mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB), utilizando un viscoamilografo de marca Brabender, a una velocidad de calentamiento de 1.5 °C/minuto, desde 30 a 120 °C. La Temperatura Inicial (Ti), Temperatura Pico (Tp), Temperatura Final (Tf) se obtuvieron a partir del termograma construido, de acuerdo a la Norma ICC 169; Método AACC 61-01.

3.6.3.4 Comportamiento reológico de los almidones

Se utilizó la metodología descrita en el protocolo del Reómetro Brookfield, Se prepararon muestras de dispersiones homogéneas de almidones 5.0, 7.5 y 10% (p/v) en volúmenes de 100 ml. Mediante el Software Rheo3000 del reómetro, se programó las rampas de ida y vuelta con 20 puntos, y velocidades de corte de 40 a 100s^{-1} a temperaturas de 25, 40, 60 y 80°C . Como resultados se obtuvo el Esfuerzo de corte (), Razón de corte (s^{-1}) y Viscosidad.

3.6.3.5 Elaboración de bandejas biodegradables

A partir de 10 formulaciones mostrado en el Cuadro 5 y complementado con los demás insumos (goma aguar, estearato, glicerina y agua), se elaboraron las bandejas biodegradables, las que a través de propiedades mecánicas, se determinó la formulación óptima, conformado por los tres componentes de la pituca: almidón, afrecho y cascara conforme se observa el Cuadro 9, los mismos que fueron pesados, seguido se mezclaron (15 min) y amasaron (10min) por medio de una batidora mecánica a 1500 rpm hasta obtener una masa homogénea. De la masa obtenida, se dividieron en tres partes con 95g cada una, las mismas que fueron boleadas y aplanadas manualmente, luego se sometieron al termoprensado, cuyo molde tuvo como dimensiones de 270 mm de largo, 200 mm de ancho, 25 mm de profundidad, a temperatura del plato superior 145°C y del plato inferior a 140°C por un tiempo de 5 minutos y 30 segundos. Terminado el termoprensado, las bandejas fueron desmoldadas, enfriadas y almacenadas en bolsas de polipropileno, a temperatura ambiente y humedad relativa promedio de 24°C y 80% respectivamente.

Cuadro 9
Formulaciones y parámetros de proceso para elaborar bandejas biodegradables

Tratamiento	Base (gr)	Almidón		Afrecho		Cascara		Goma Aguar (1 %)	Estearato (6 %)	Glicerina (7 %)	Agua (ml)	Masa (gr)	Tiempo	Numero de Bandejas
T1	86	100 %	86 gr	0 %	0 gr	0%	0 gr	0,86 gr	5,16 gr	6,02 gr	100	86	4' 20''	3
T2	150	90 %	130,5 gr	5 %	7,25 gr	5 %	7,25 gr	1,5 gr	9 gr	10,5 gr	135	90	4' 20''	3
T3	145	80 %	116 gr	10 %	14,5 gr	10 %	14,5 gr	1,45 gr	8,7 gr	10,15 gr	140	93	5' 00'	3
T4	145	70 %	101,5 gr	10 %	14,5 gr	20 %	29 gr	1,45 gr	8,7 gr	10,15 gr	150	95	5' 30''	3
T5	145	67 %	97,15 gr	6 %	8,7 gr	27 %	39,15 gr	1,45 gr	8,7 gr	10,15 gr	150	95	5' 30''	3
T6	145	60 %	87 gr	20 %	29 gr	20 %	29 gr	1,45 gr	8,7 gr	10,15 gr	150	95	5' 30''	3
T7	150	60 %	90 gr	10 %	15 gr	30 %	45 gr	1,5 gr	9 gr	10,5 gr	160	98	5' 30''	3
T8	150	53 %	79,5 gr	13 %	19,5 gr	34 %	51 gr	1,5 gr	9 gr	10,5 gr	175	104	6' 40''	3
T9	150	53 %	79,5 gr	20 %	30 gr	27 %	40,5 gr	1,5 gr	9 gr	10,5 gr	175	104	6' 40''	3
T10	150	50 %	75 gr	20 %	30 gr	30 %	45 gr	1,5 gr	9 gr	10,5 gr	165	104	6' 40''	3

3.6.3.6 Métodos de análisis para bandejas biodegradables

- Dureza y fracturabilidad

Las pruebas a las bandejas con almidón, fibra y cascara de pituca fueron se realizaron mediante un analizador de textura Brookfield CT3, usando una célula de carga de 4500 g, con soporte circular hueco y una probeta esférica de acero inoxidable TA18 de diámetro 12.7mm. La velocidad de la prueba fue de 1 mm/s. Para las pruebas se cortaron láminas de 50mm x 50mm a partir de cada bandeja según tratamiento por triplicado. Con los datos registrados, se logró construir una gráfica fuerza (g) vs tiempo (s), tomando como dureza el punto más alto de la curva. Y para la prueba de fracturabilidad se obtuvo una gráfica distancia (mm) vs tiempo (s).

- Resistencia a la tensión (mPa)

Mediante esfuerzos mecánicos a las bandejas producidos por el analizador de textura CT3, de célula de carga de 4500g, durante la extensión que se produjeron, fueron registrados, las mismas que sirvieron para construir curvas tensión - deformación, precisando que la resistencia a la tensión (MPa), según Glenn y Hsu (1997) citado por Cruz (2021), el esfuerzo máximo de tensión previo a la rotura del material nos logró expresar la resistencia a la tensión, conforme se observa en la ecuación siguiente:

$$R \quad a \quad l \quad T \quad ó n = \frac{F}{A}$$

- **Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)**

Los exámenes de las vibraciones moleculares de los compuestos químicos dentro de las bandejas se realizaron mediante un instrumento FTIR (Thermo Scientific, Nicolet™ iS20, EE. UU.) acoplado a un único accesorio de reflectancia total atenuada (ATR). Las muestras de bandejas con 1 cm de lado, fueron evaluadas en el espectro infrarrojo medio, de 4000 a 500 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} .

3.7 Técnicas de análisis de resultados

Los resultados fueron registrados y procesados mediante software de hoja de cálculo (EXCEL) y para los cálculos y análisis estadístico se hizo uso del Statgraphics Centurión XVI.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización química proximal de la harina de pituca

La composición química de la harina de pituca (*Colocasia esculenta*) tanto en base húmeda (bh) como en base seca (bs) se muestra en el Cuadro 10. Dicha harina mostró ser rica en carbohidratos (79.75%), debido principalmente al contenido de almidón (23.3%) según reportado por Huamani (2018), pudiendo variar estos valores, según el grado de madurez del tubérculo. En menor proporción con 8.3% le sigue el contenido de proteínas, luego la humedad, que se alcanzó durante el secado, a fin de dar mayor estabilidad y vida útil a la harina. Por otro lado, en menor contenido, se tiene grasa y ceniza con 0.35 y 3.6%, Dichos resultados fueron muy cercanos a los reportados por Pajar (2008), Reyes et al. (2017) y Cubas & Sempertegui (2024).

Cuadro 10

Composición química proximal de la harina de pituca

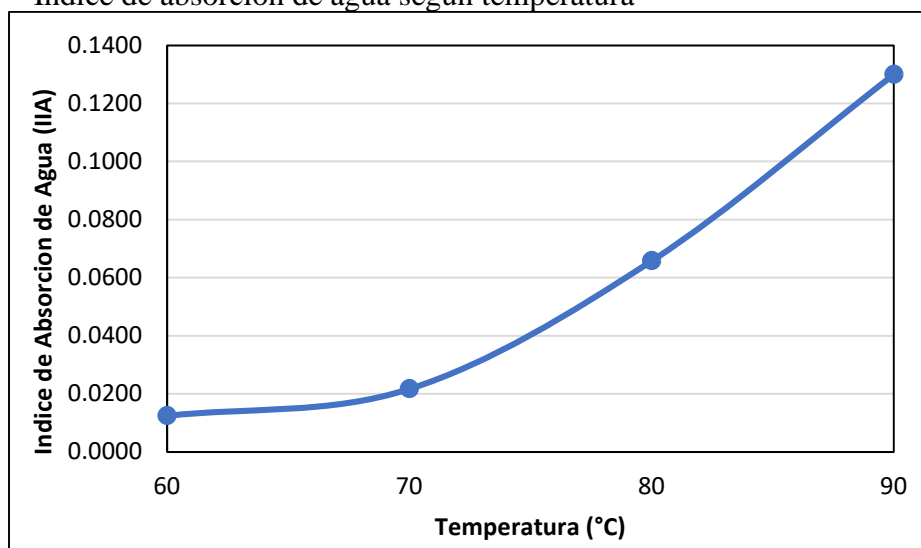
Componentes	% (bh)	% (bs)
Humedad	8.0	---
Proteínas	8.3	9.02
Grasa	0.35	0.38
Ceniza	3.6	3.91
Carbohidratos	79.75	86.68

4.2 Caracterización fisicoquímica del almidón de pituca

De la pituca de variedad blanca en fresco con un peso de 10kg, se extrajo almidón con rendimiento del $24.6 \pm 0.4\%$, valor cercano a los reportados por Orccottoma (2012) y Trujillo (2022), con diferencias mínimas, debido posiblemente al lugar de procedencia o al grado de madurez del tubérculo. Con respecto a las características fisicoquímicas, según la Figura 12, se observó un perfil de incremento del Índice de Absorción de Agua (IAA) de 0.016 a 0.13 g.g^{-1} , en respuesta al aumento de temperatura para el almidón de pituca, sin embargo están muy por debajo a 1.139; 1.40-3.04 y $0.099\text{-}0.273 \text{ g.g}^{-1}$, reportado por Trujillo-Ccanahuire et al. (2024),

Himeda et al. (2012) y Corpus & Bocanegra (2024), quienes atribuyen que las diferencias sean posiblemente al grado de madurez del tubérculo, tamaño de gránulos de almidón y a la adición de fibras, sin embargo, el incremento, se presenta en razón que, en su estructura química, se encuentran un alto número de grupos hidroxilo y por ello, poseen alta hidrofiliidad, asimismo, estos grupos funcionales por contener un átomo de oxígeno unido a un átomo de hidrógeno, atraen a moléculas de agua, que les confiere a los almidones, la capacidad de hincharse (Salgado-Ordosgoitia et al., 2019a). Este comportamiento resalta una característica fisicoquímica y una propiedad funcional favorable para el almidón, para emplearse como parte de una formulación para formar películas o barreras, que puedan sustituir a los materiales de empaque tradicionales por ser económicos, estar disponibles y por obtenerse de la naturaleza, pero, las películas al ser formadas con únicamente almidón, en contraste con las películas sintéticas, presentan limitaciones como incapacidad para resistir a tensiones, compresiones o impactos, como tal, este material tiende a romperse fácilmente, por esta razón, es necesario mezclar el almidón con diversas sustancias que puedan contrarrestar o evitar dichas limitaciones (Enríquez et al., 2012).

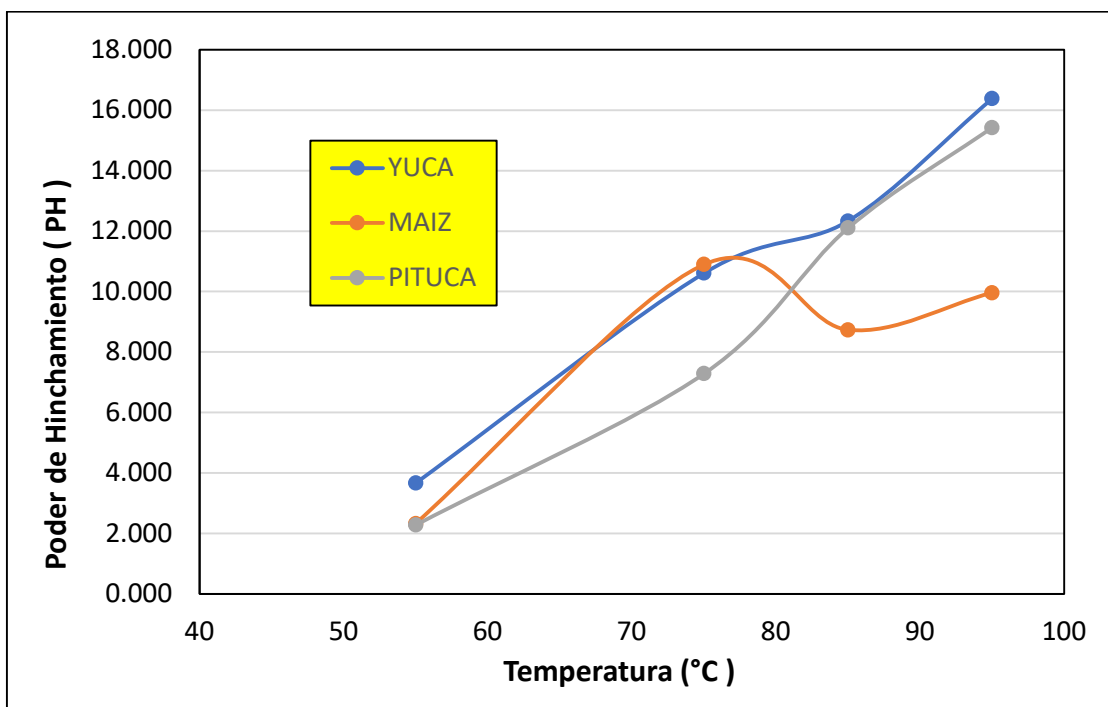
Figura 12
Índice de absorción de agua según temperatura



Con respecto al poder de hinchamiento del almidón de pituca comparado con los almidones de yuca y maíz, se observa en la Figura 13, que todos mostraron aumento frente al incremento de la temperatura, sin embargo, los almidones de pituca ligeramente presentaron mayor hinchamiento, de 2.2 a 15.8 g gel/g de almidón, cuando la temperatura aumentó desde 55 a 95°C, demostrando ser más resistente que los almidones de yuca y maíz, que conforme lo menciona Boahemaa et al. (2024), esta resistencia, es debido, a que el almidón contiene más amilopectina que amilosa (89,17% y 89,29%), lo que explica su alta capacidad de absorción de agua y la alta cristalinidad de 33% y 28%.

Por otro lado, debido a la composición química diferente y a las proporciones de amilosa y amilopectina o la presencia de lípidos, se impide las interacciones con las moléculas de agua, y por tanto disminuye su capacidad de hinchamiento y solubilidad, por tanto, de continuar con el calentamiento, la dispersión del almidón podría perder su conformación provocada por la absorción de agua y el incremento de tamaño del gránulo conllevaría a la pérdida de estabilidad del gel, por cuanto la proporción de amilosa y amilopectina en el almidón, afecta a sus propiedades físicas, químicas y su comportamiento durante la cocción y almacenamiento, en razón que la amilosa es cadena lineal de glucosa y la amilopectina es ramificada, como tal, la amilosa tiende a formar estructuras más rígidas y cristalinas, mientras que la amilopectina es más flexible y tiende a hidratarse más (Villaruel et al., 2018).

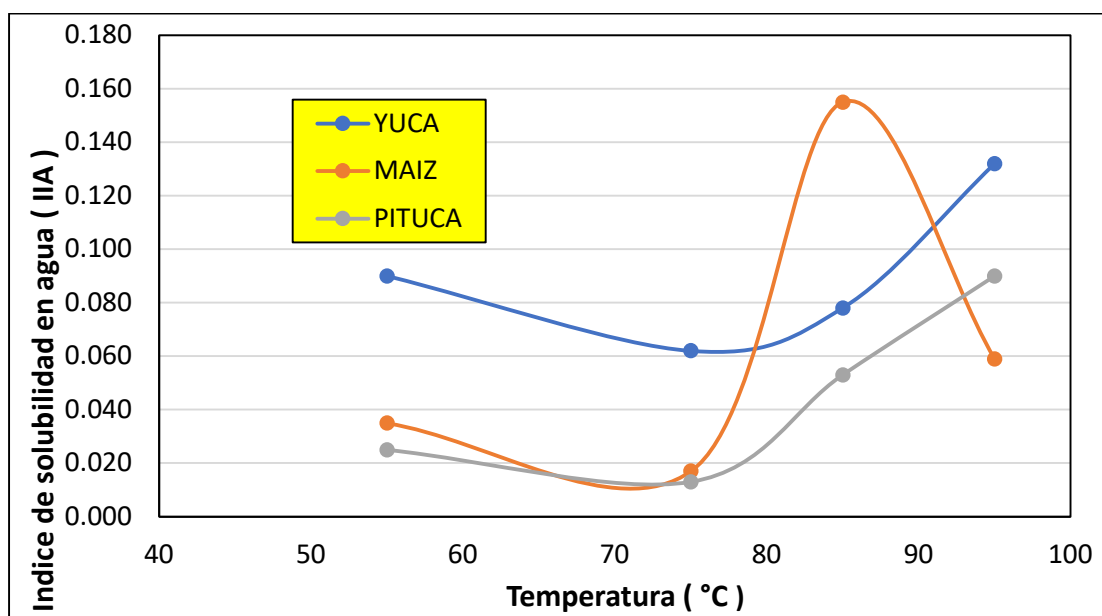
Figura 13
Poder de hinchamiento según temperatura



Los valores de Índice de solubilidad en agua mostrado en la Figura 14, muestran una variación aproximada de 0.02 a 0.1 (2-10%) de los almidones de pituca, conforme aumenta la temperatura por arriba de 50°C, muy semejante a los almidones de yuca, y maíz, los cuales confirman lo observado en el poder de hinchamiento de los gránulos, en donde a mayor temperatura se produjo mayor hinchamiento. Este comportamiento indica que los almidones al gelatinizar, la amilosa y la amilopectina del almidón, interactúan llegando a formar complejos insolubles, los cuales precipitan y por tanto la solubilidad disminuye, caso típico que se observa en el maíz en el rango de 55 a 95°C, mas no así, con los almidones de yuca y pituca, demostrando que estos, son más resistentes a la temperatura, razón que se mantienen dispersos, sin formar complejos insolubles, como tal, su Índice de solubilidad al agua aumenta. Sin embargo, los valores relativamente bajos de índice de solubilidad de los almidones de pituca, están asociados al tamaño de gránulo de almidón ($< 4 \mu\text{m}$) y a la resistencia que tienen para hidrolizarse a los niveles de temperatura evaluados (55 – 95°C), muy

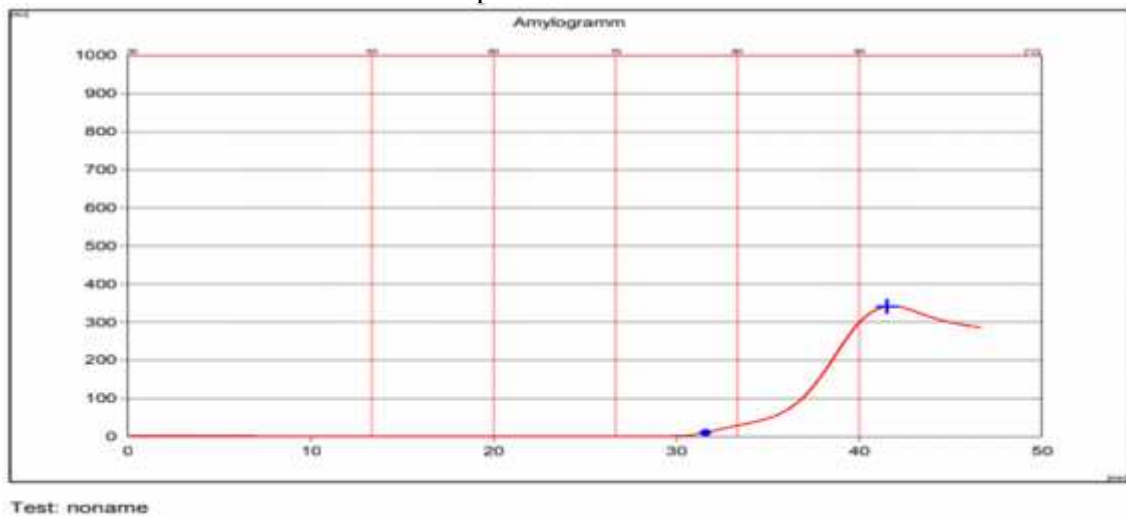
debajo a otras condiciones, como es el caso de los almidones de quinua, que por arriba de 100°C, presentaron mayor solubilidad, debido a la hidrólisis térmica (Huamani-H et al., 2020).

Figura 14
Índice de solubilidad en agua, según tipo de almidón y temperatura



El almidón de pituca, según la Figura 15, mostró tener una temperatura alta de gelificación (92.47°C), fenómeno que se presenta, debido a una alta resistencia a la ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas, frente a altas temperaturas, que le permitieron absorción irreversible y progresiva del agua, corroborado con la mayor capacidad de absorción de agua y poder hinchamiento, sin embargo, comparado con otros tubérculos similares como el ñame, que su grado de gelatinización aproximada fue de 80 a 84°C (Salgado-Ordosgoitia et al., 2019), asimismo, Moorthy et al. (2008), reportó para gránulos de almidón de pituca a concentraciones de 3, 4 y 5% alrededor de 75°C, diferencias que pueden variar según las condiciones de proceso como el tiempo, presión, humedad, concentración y el tipo de almidón.

Figura 15
Gelatinización del almidón de pituca



4.3 Comportamiento reológico del almidón de pituca según temperatura y concentración

En las Figuras 16, 17, 18 y 19, se muestran el comportamiento reológico del almidón de pituca en su forma nativa, al estar suspendido en solución acuosa a concentraciones de 5%, 7.5% y 10% y al ser sometido a temperaturas de 25°C, 40°C, 60°C y 80°C. La viscosidad de los almidones de pituca a 25°C, manifestaron viscosidades más altas, la misma que aumentó de 50 a 110 mPa.s, conforme aumentaron sus concentraciones, no obstante, de acuerdo al aumento la temperatura, disminuyeron su viscosidad hasta valores de 5 mPa.s, por debajo de 46.2 mPa.s, reportado por Syed at al. (2021), diferencia que puede ser atribuido a la especie, tamaños de gránulos, pesos moleculares, proporciones de amilosa y amilopectina y a las condiciones del ensayo reológico. Se observa que manteniéndose constante la temperatura y al incrementarse las concentraciones de almidón de pituca, se requiere mayor esfuerzo cortante para producir una misma velocidad de deformación, fenómeno que se presenta en razón que el almidón disuelto en agua, las moléculas de amilosa y amilopectina pierden su estructura cristalina y se hidratan, formando un

gel, como consecuencia aumentan de tamaño y como tal también aumenta la viscosidad, estos resultados corroboran a lo vertido por Huamani (2018), el cual sustenta que va a depender de las concentraciones en el almidón de pituca, en cuya estructura se encuentra que contiene de 17 a 28% de amilosa y el resto es amilopectina. Como tal, es importante estos resultados, debido a que nos permite conocer y establecer según su comportamiento reológico al variar sus concentraciones, en qué tipo de producto y bajo qué función podría emplearse como estabilizante, emulsificante, espesante y adhesivo, es decir, que los almidones según sus concentraciones podrían utilizarse en la elaboración de un amplio grupo de productos de repostería, como es el caso de la fabricación de galletas, panes, pudines, tortas entre otros. Así mismo, en las mismas figuras, se observa que los almidones al ser sometidos a altas temperaturas causan la gelatinización con mayor intensidad y luego al enfriarse se retrogradan, en almacenamiento, fenómeno que van a influenciar en la calidad final de los productos. Asimismo, el comportamiento observado de los almidones según temperaturas expuestas, se puede atribuir a que al estar en agua y al recibir un nivel de energía, sufren un proceso de gelatinización donde se van a romper las estructuras cristalinas pasando de gránulos insolubles a una solución de moléculas, originando pastas viscosas. Este fenómeno transicional de ordenamiento y desorden que presentan los polímeros de almidón al calentarse son las que van a influenciar en el procesamiento, calidad y estabilidad de los productos en cuya formulación contengan almidón.

Figura 16

Comportamiento reológico del almidón de pituca a 25°C según concentraciones

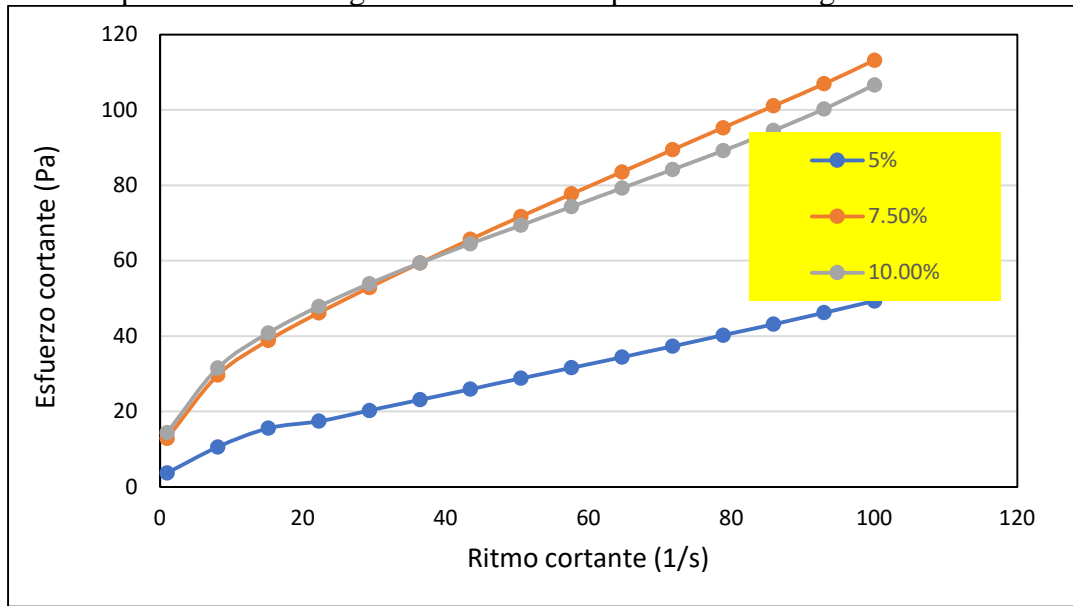


Figura 17

Comportamiento reológico del almidón de pituca a 40°C según concentraciones

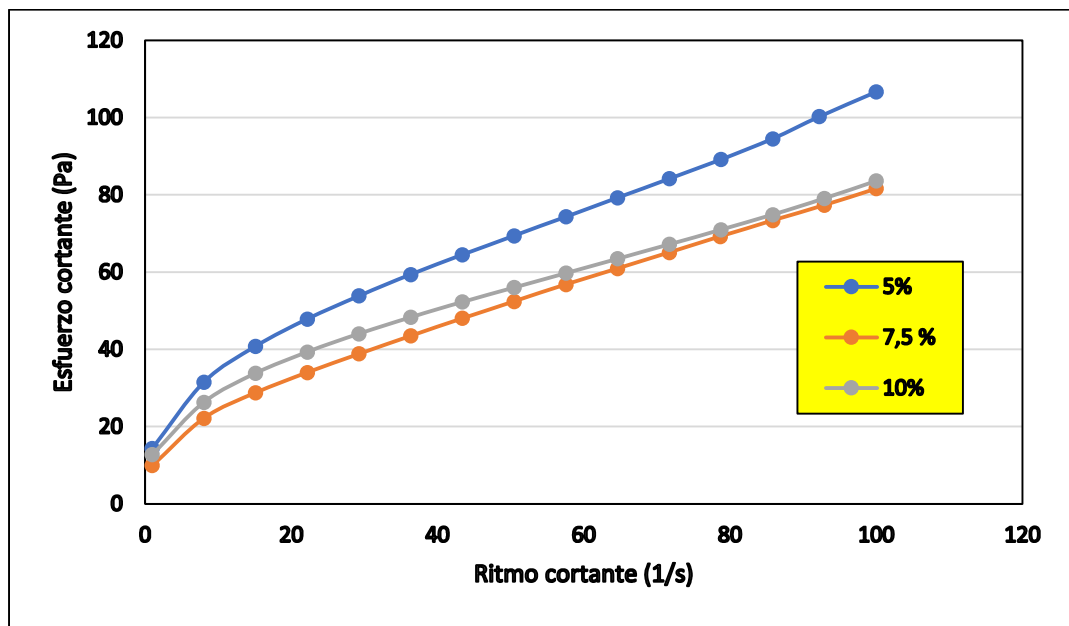


Figura 18

Comportamiento reológico del almidón de pituca a 60°C según concentraciones

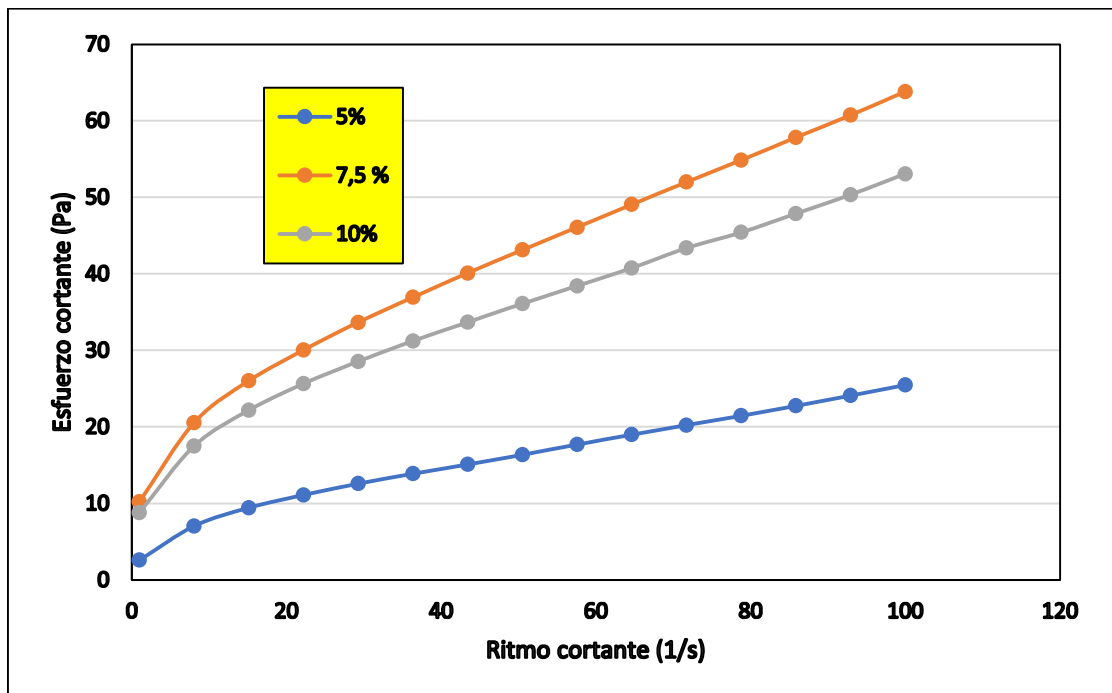
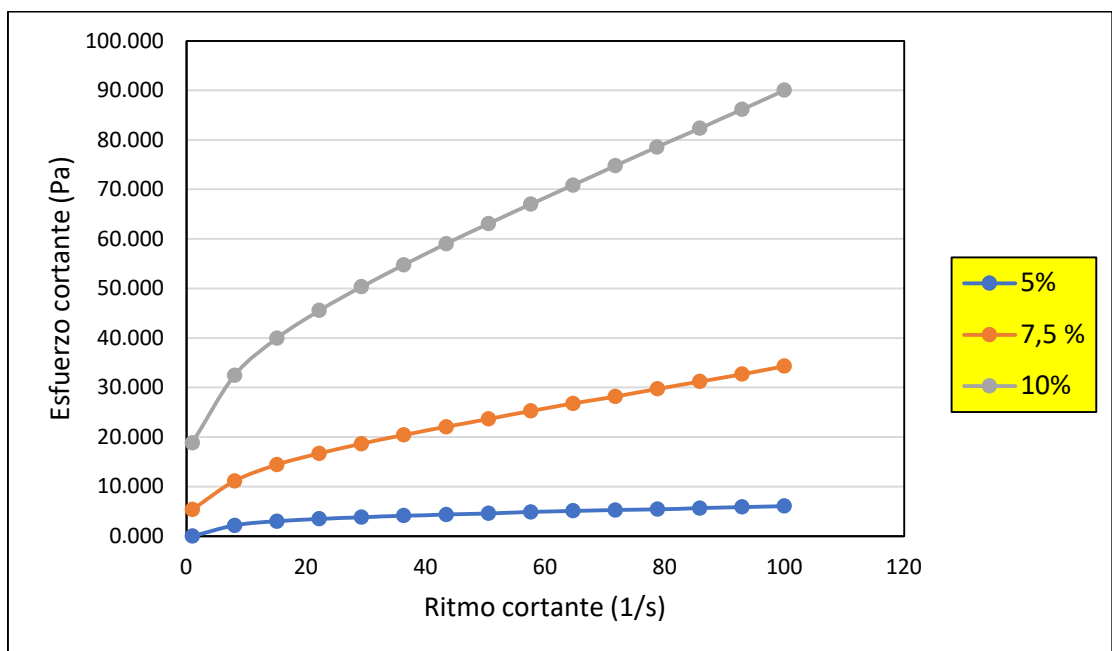


Figura 19

Comportamiento reológico del almidón de pituca a 80°C según concentraciones

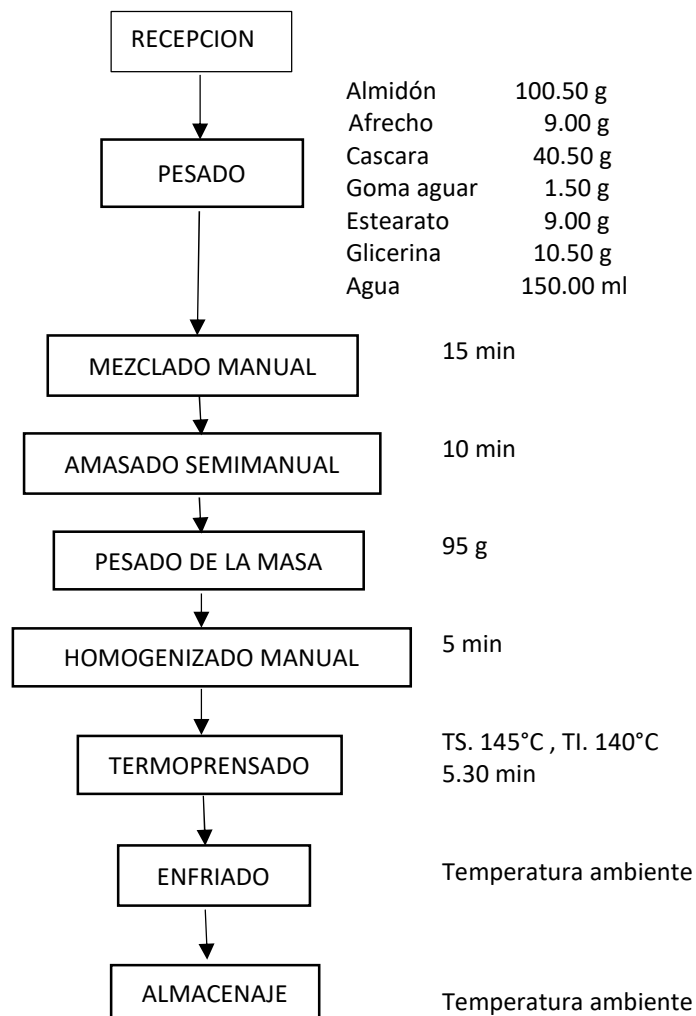


4.4 Parámetros del proceso de elaboración de bandejas biodegradables

A partir de diversas pruebas preliminares que se realizaron, se logró estandarizar el flujograma y parámetros de control del proceso de elaboración de bandejas biodegradables, el mismo que se muestra en la Figura 20, asimismo, se resalta, que, durante estos ensayos, de acuerdo a los resultados se observó y tomó la decisión de emplear tanto el afrecho como la cascara de la pituca. En dicha figura, se resalta la formulación óptima, es decir, la incorporación del almidón, afrecho y cascara de pituca con 100.50g, 9.00g y 40.5g respectivamente, en tanto, la masa final que ingresó al termoformado fue de 95g, que se realizó con temperaturas superior de 145°C e inferior de 140°C de los platos o moldes, calor aplicado durante 5.30 min, para luego ser retiradas las bandejas y expuestas a temperatura ambiente y finalmente a almacenaje hasta que el momento de realizar los análisis respectivos. Estos parámetros que conducen a la elaboración de bandejas biodegradables con características físicas y mecánicas, fueron muy similares a lo aplicado por Huertas et al. (2025), donde aproximadamente utilizaron 93 g de masa homogénea para ingresar al termoprensado, a temperaturas de 145 °C y 135 °C de sus placas superior e inferior respectivamente, por 6,5 min pero diferente a lo reportado por Aguirre et al. (2023), que con masa preparada a base de almidón de yuca y hojas de mazorcas de maíz, entre 60 y 80 g., sometieron al termoprensado a temperaturas de 170 °C y 200 °C de sus placas inferior y superior respectivamente por 2 min, debido a la naturaleza y composición de las fuentes de insumos empleados.

Figura 20

Parámetros de control durante la elaboración de bandejas biodegradables



4.5 Caracterización de las bandejas biodegradables

4.5.1 Propiedades mecánicas

▪ Perfil de textura

Las figuras que a continuación se presentan y analizan, representan el comportamiento de la textura de las bandejas frente a una celda de carga de 100 kg. La figura 21, describe la curva registrada en los dos procesos de compresión, por parte de la muestra de la bandeja elaborada con 100% de almidón, en ella, antes de los 2 segundos, se observan un primer pico, producido cuando la celda de carga alcanzó alrededor de 650g, el cual Acosta & Martínez (2001), explican que es el momento en que el material es fracturado o destruido, durante la primera compresión, este fenómeno, ocurre debido a que los almidones tienen muy baja resistencia mecánica, es decir, no tienen la capacidad de formar estructuras sólidas que resistan a la tensión y el impacto, porque en su estado puro, no forman redes de enlaces fuertes, como los tienen los plásticos o metales (Solarte-Montúfar et al., 2019). Asimismo, se observan dos picos máximos uno con más producido en la primera compresión y el otro con menos altura de la segunda compresión, este último, manifestado así, porque el material fue debilitado y no recupera su estado original luego de una compresión. Por otro lado, en la Figura 22, a en las muestras de bandejas elaboradas con almidón (100.5%) afrecho (9%) y cascara (40.5%), que la fractura se evidenció entre se presentaron entre los 2 y 3 segundos, cuando la celda de carga fue por arriba de 1500g, diferencias mostradas, debido a que las primeras bandejas a base íntegramente por almidones, durante el termoprensado adsorben alta humedad que al enfriarse, son fáciles de deformarse frente a una fuerza externa, mientras que las otras bandejas, por tener alrededor del 50% de fibras celulósicas en el afrecho y cascara le dan más resistencia, tal como lo afirman Ponce et al. (2021), que los materiales son reforzados al ser incorporados fibras vegetales como

celulosa, hemicelulosa y lignina mostrado que le confieren mayor ductilidad y resistencia a la fractura. Asimismo, se observa un segundo pico, muy similar al primero, que indica que el material no fue deformada ni debilitada durante la primera compresión.

Figura 21
Perfil de textura de las bandejas al 100% de almidón

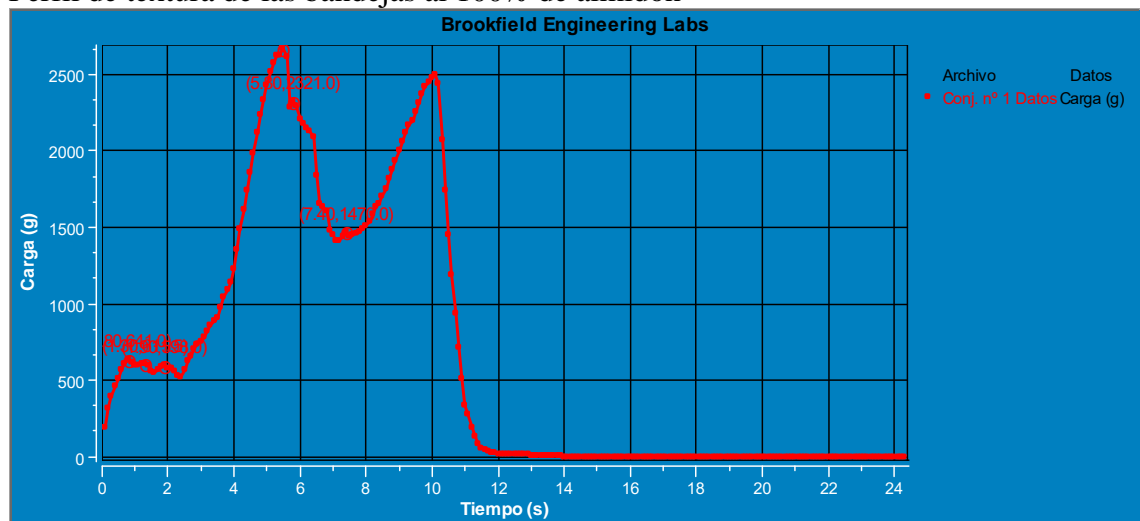
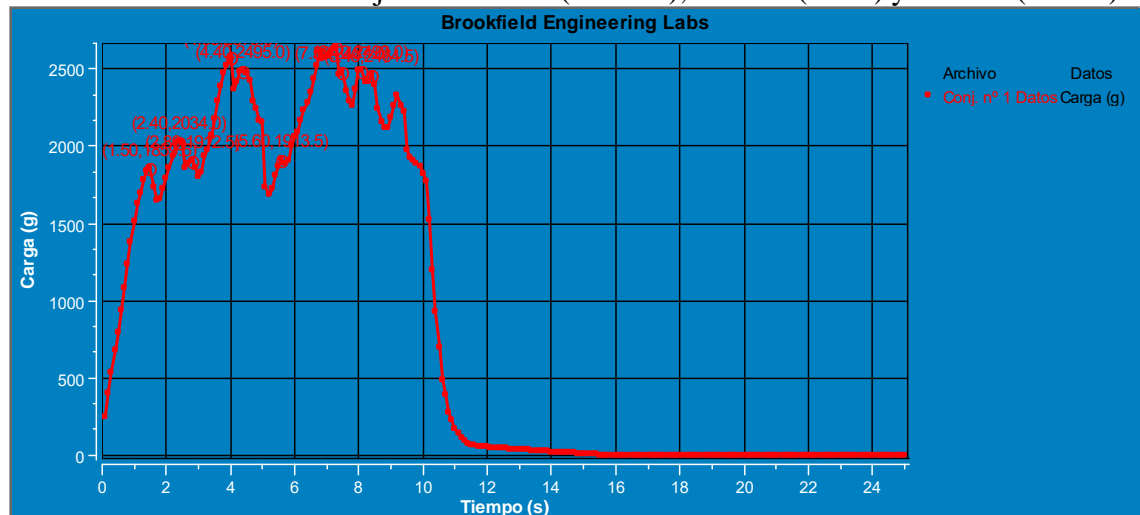


Figura 22
Perfil de textura de las bandejas al almidón (100.5%), afrecho (9.0%) y cascara (40.5%)



▪ Tensión

En el cuadro 11, se muestran los parámetros de tensión que mostraron las bandejas. Se observa que las bandejas biodegradables a base almidón, afrecho y cascara de pituca, presentaron mayores valores de fuerza de tensión, distancia de tensión, resistencia a la tracción y % de elongación, que las bandejas elaboradas a base íntegramente con almidón, es decir, que las bandejas se observa que fueron favorecidas por la aplicación de los compuestos celulósicos presentes en el afrecho y cascara, el cual, al parecer permitió tener una matriz más homogénea y compacta. Resistencias a la tracción de las bandejas elaboradas con 100% de almidón de pituca y bandejas donde se incorporó el afrecho y cascara de pituca, mostraron tener valores de 2.96 y 3.72 MPa respectivamente, muy cercanos (2.84 MPa) a lo determinado por Barrios & Huertas (2023), diferencias debido a la composición de los materiales, de su estructura y homogeneidad interna, así como de posibles defectos (López et al., 2018).

Cuadro 11
Parámetros de tensión en las bandejas biodegradables

Tratamiento	Fuerza de tensión (Kgf)	Distancia de tensión (mm)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)
Almidón (100%)	18.85 ± 0.68	1.31 ± 0.06	2.96 ± 0.11	1.64 ± 0.08
Almidón (100.5%), afrecho (9.0%) y cascara (40.5%)	23.72 ± 0.83	1.83 ± 0.23	3.72 ± 0.13	2.28 ± 0.28

▪ Dureza y fracturabilidad

En el cuadro 12, se presenta los parámetros de dureza y fracturabilidad que presentaron las bandejas biodegradables. Se muestra que aquellas bandejas elaboradas con 100% de almidón ligeramente presente mayor dureza que las que en su formulación base se

les incorporó la harina de afrecho y cascara, resultado que corrobora a lo manifestado en el análisis del perfil de textura, es decir, diferencias notables por el comportamiento de los almidones, cuando son modificados y convertidos a termoplásticos por el calentamiento húmedo y cambios durante el enfriamiento, conocido como el fenómeno de retrogradación. A esto, se tiene que Barrios & Huertas (2023), evidenciaron en materiales de bandejas a base de almidón de yuca 87.5% y fibra de alcachofa 12.5%, reflejó propiedades físicas y mecánicas, como es el caso de la dureza que fluctuó de 67.70 ± 7.31 a 90.97 ± 11.7 N y de fracturabilidad de 1.43 ± 0.6 a 3.19 ± 1.87 m , valores muy por arriba (43.9 N de dureza y fracturabilidad 0.81 N) de las bandejas elaboradas a base de los componentes de la pituca, que según Lopez et al. (2018), la variación pueda deberse a la naturaleza e incorporación en proporciones variadas de fibras de origen vegetal, así como, al uso de agentes ligantes para mejorar la interacción entre las fibras y los polímeros. En tanto, bandejas elaboradas con 85% de tocones de espárrago, 6,89 de almidón de papa y 13,11% de glicerina, presentaron valores de 19.19kg de dureza y 9.09 mm de fracturabilidad, 0.133 MPa (Díaz-Díaz et al., 2023), por tanto, con las evidencias de diferentes estudios, las variaciones entre los valores de dureza y fracturabilidad, conlleva a inferir que estas propiedades, están en relación directa con la naturaleza de materiales y de la composición de la formulación que se obtenga durante el proceso de termoformado.

Cuadro 12
Dureza y fracturabilidad de las bandejas

Tratamiento	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)
Almidón (100%)	48.6 ± 0.43	1.94 ± 0.51
Almidón (100.5%), afrecho (9.0%) y cascara (40.5%)	43.9 ± 0.40	0.81 ± 0.32

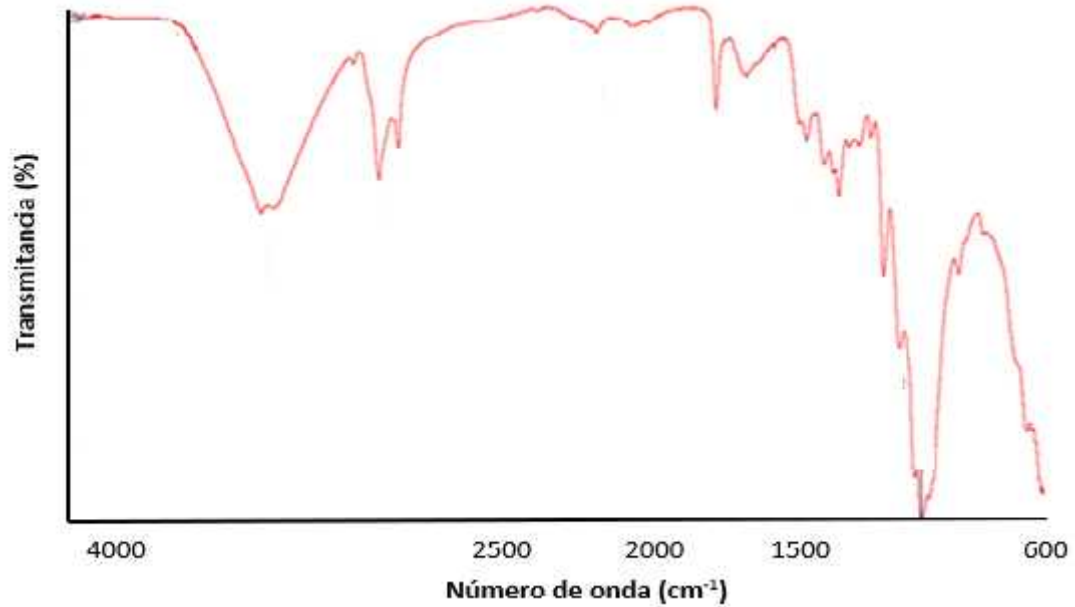
4.5.2 Vibración molecular

El espectro de infrarrojo mostrado en la Figura 23, revela las bandas características de las sustancias presentes en las bandejas, elaboradas con almidón (100.5%), afrecho (9.0%) y cascara (40.5%) de pituca, conjuntamente con sustancias plastificantes como goma aguar (1.0%), estearato (6%) y glicerina (7.0%) y complementado con agua, las cuales según el número de onda (cm^{-1}), manifestaron vibraciones moleculares y la energía no absorbida fue transmitida. Al respecto, el espectro muestra cuatro de intervalos de frecuencia, tales como 4000–2500; 2500-2000; 2000-1500 y 1500-600 cm^{-1} , en ellos, se ubican bandas de absorción (mínimas de transmitancia), correspondientes a las vibraciones moleculares del agua, lípidos, carbohidratos y proteínas (Cortez, 2020). Con 3331 cm^{-1} se detectó una banda ancha e intensa, el cual según Huertas et al. (2025), estaría asociado al estiramiento O-H, dentro de los enlaces de hidrógeno de las moléculas de agua. Asimismo, se ubican bandas, una con 2921 y otra con 2853 cm^{-1} , ligadas a enlaces de estiramiento C-H, correspondiente a lípidos (Barraza-Garza, 2013). Una banda con 2163 cm^{-1} , manifiesta una vibración de estiramiento de enlaces tipo C O, está asociada a un grupo funcional de un aldehído. Con números de onda de 1744 y 1636 cm^{-1} en correspondería a la vibración de estiramiento de un grupo carbonilo (C=O), pudiendo ser un aldehído o una cetona. Con frecuencias alrededor de 1428 cm^{-1} , se produjo bandas de absorción relacionadas con vibraciones de estiramientos o flexiones de enlaces C-H, C-O, los cuales estarían relacionados según Sánchez et al. (2017), a la presencia de ciertos lípidos y carbohidratos, por último, de detectaron frecuencias entre 1000 a 1160 cm^{-1} , valores cercanos a lo reportado por Pozo et al. (2018), los cuales pudieran corresponder a vibraciones moleculares de tensión o estiramiento de enlaces, asociados a los grupos funcionales C-O de alcoholes y cetonas, o enlaces C-H de hidrocarburos, dichas vibraciones producidos entre 3100 y 2700 cm^{-1} , se encuentra la región de vibraciones más energéticas, que producen estiramientos C-H entre carbono e hidrógeno, de 1800 a 1500

cm^{-1} estarían los estiramientos de los enlaces dobles $\text{C}=\text{O}$ y $\text{C}=\text{C}$, con mayor energía absorbida (Ruvalcaba et al., 2022).

Figura 23

Espectro FTIR de bandeja biodegradable para formulación de 100.5% almidón, 9.0 % afrecho y 40.5% de cascara de pituca



V. CONCLUSIONES

- De las características fisicoquímicas, en respuesta al incremento de la temperatura de 55 a 95 °C, los almidones de pituca, demostraron tener un Índice de Absorción de Agua de 0.016-0.13 g.g⁻¹, Índice de Solubilidad en agua de 0.02 a 0.1 y Grado de Gelatinización de 92.47 °C.
- El almidón nativo de pituca en suspensiones acuosas al 5%, 7.5% y 10% p/v y dispuestos a temperaturas 25°C, 40°C, 60°C y 80°C, mediante análisis de reología, mostró disminución de su viscosidad frente a incrementos de esfuerzos cortante, característico a un fluido pseudoplástico.
- La formulación óptima para elaborar bandejas biodegradables a partir de los insumos presentes en la pituca fue almidón (100.5%), afrecho (9.0%) y cascara (40.5%) y las temperaturas en el termoprensado fueron de 145°C y 140°C para los platôs superior e inferior respectivamente por 5.30 minutos.
- Las bandejas biodegradables elaboradas con almidón, afrecho y cascara de pituca se caracterizaron por tener un buen perfil de textura con alta resistencia a la compresión, muy dúctil y baja elongación, las cuales favorecen a su aplicación.

VI. RECOMENDACIONES

- Con los parámetros óptimos del proceso elaborar las bandejas biodegradables y hacer el estudio de degradación.
- Con los resultados de ingeniería y con el fin de aplicar los resultados y cumpla con la solución integral, se recomienda realizar el estudio de factibilidad para implementar y poner en marcha una Planta Industrial que aproveche la disponibilidad de la pituca como materia prima para elaborar bandejas biodegradables.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. A., & Martínez, A. (2001). *Fractura de materiales poliméricos a altas velocidades de sollicitación* [Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-93348>
- Aguirre, E., Domínguez, J., Villanueva, E., Ponce-Ramírez, J. A., de Fátima Arevalo-Oliva, M., Siche, R., González-Cabeza, J., & Rodríguez, G. (2023). Biodegradable trays based on *Manihot esculenta* Crantz starch and *Zea mays* husk flour. *Food Packaging and Shelf Life*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101129>
- Arias Balderas, W. M., Aguilar Méndez, M., Ramírez Ortiz, M. E., & Quintana Zavala, D. (2020). El papel de la reología en la caracterización de fluidos: Análisis reológico de dispersiones de almidón de distintas fuentes. *Latin-American Journal of Physics Education*, 14(4), 10.
- Barraza-Garza, G. (2013). *LA MICROESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIRM) EN EL ESTUDIO DE SISTEMAS BIOLÓGICOS*.
- Barrios Muñoz, P. R., & Huertas Rodríguez, A. M. (2023). Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Seríceea T.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays). *Repositorio Institucional - UNS*.
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4437>
- Boahemaa, L. V., Dzandu, B., Amissah, J. G. N., Akonor, P. T., & Saalia, F. K. (2024). Caracterización físico-química y funcional de harina y almidón de taro (*Colocasia esculenta*) para aplicaciones alimentarias. *Food and Humanity*, 2, 100245.
<https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100245>
- Cervantes. (2022). *Desarrollo y caracterización a fractura de polímeros reforzados*.
<https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3602>

- Corpus Gomez, A. D., & Bocanegra Felix, R. C. (2024). Bandejas biodegradables a partir de semilla de mango y residuos de la industria azucarera y molinera de arroz. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4720>
- Correa, J. A. A., & Fontecha, C. A. B. (2014). *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y TENACIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR Y ALMIDON DE YUCA, A TRAVÉS DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN Y DE IMPACTO CHARPY*.
- Cortez, P. (2020). *Principios y Aplicaciones de La Espectroscopia de Infrarrojo / PDF / Química analítica / Cromatografía*. Scribd. <https://es.scribd.com/presentation/705355951/PRINCIPIOS-Y-APLICACIONES-DE-LA-ESPECTROSCOPIA-DE-INFRRARROJO>
- Cubas, B. C., & Sempertegui, J. A. (2024). Influencia de la temperatura y velocidad de aire empleado sobre el proceso de secado de pituca (*Colocasia esculenta*) y la calidad sensorial de la harina. *Universidad Nacional de Jaén//Repositorio Institucional - UNJ*. <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/609>
- Diaz-Diaz, E., Cabrera-Guevara, C., Diaz-Idrogo, Y., Chumacero-Acosta, J. S., & Gamboa-Alarcon, P. W. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>
- Enríquez C, M., Velasco M, R., & Ortiz G, V. (2012). PELÍCULAS BIODEGRADABLES BASADAS EN ALMIDÓN. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182-192.
- Espina, M., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2016). Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos

agroindustriales. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 133-143.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>

Francisco Ponce, B. A., Vidal Silva, I. M., Maldonado Astudillo, Y. I., Jiménez Hernández,

J., Flores Casamayor, V., Arámbula Villa, G., Salazar, R., Francisco Ponce, B. A.,

Vidal Silva, I. M., Maldonado Astudillo, Y. I., Jiménez Hernández, J., Flores

Casamayor, V., Arámbula Villa, G., & Salazar, R. (2021). Efecto de la adición de

subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un bioplástico almidón-

gelatina. *Biotecnia*, 23(1), 52-61. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1324>

Granda, J., & Ramos, Y. (2019). *Estudio de la Resistencia a la tracción y deformación de*

bioplásticos obtenidos a partir de almidón de solanum tuberosum a diferentes

porcentajes de plastificante.

Hernandez, T. (2013). *Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa,*

caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables.

<https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000693542>

Himeda, M., Nicolas, Y. N., Richard, M. N., & Claire, G. (2012). (PDF) *Physicochemical,*

rheological and thermal properties of taro (Colocasia esculenta) starch harvested at

different maturity stages. ResearchGate.

[https://www.researchgate.net/publication/227962555_Physicochemical_rheological_a](https://www.researchgate.net/publication/227962555_Physicochemical_rheological_and_thermal_properties_of_taro_Colocasia_esculenta_starch_harvested_at_different_maturity_stages)

[nd_thermal_properties_of_taro_Colocasia_esculenta_starch_harvested_at_different_](https://www.researchgate.net/publication/227962555_Physicochemical_rheological_and_thermal_properties_of_taro_Colocasia_esculenta_starch_harvested_at_different_maturity_stages)

[maturity_stages](https://www.researchgate.net/publication/227962555_Physicochemical_rheological_and_thermal_properties_of_taro_Colocasia_esculenta_starch_harvested_at_different_maturity_stages)

Hoang, N. T.-T., & Tran, A. T.-K. (2023). Biodegradable containers from rice husk as

substitutes for single-use plastic products. *Vietnam Journal of Science, Technology*

and Engineering, 65(4), Article 4. [https://doi.org/10.31276/VJSTE.65\(4\).71-76](https://doi.org/10.31276/VJSTE.65(4).71-76)

Huamani-H, A. L., Ponce-Ramírez, J. C., Málaga-Juárez, J., Huamani-H, A. L., Ponce-

Ramírez, J. C., & Málaga-Juárez, J. (2020). Optimización del proceso de cocción de

- quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y desprendimiento de cotiledones. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381-390.
- <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>
- Huertas, A., Barrios, P., Arevalo-Oliva, M. de F., Córdova-Chang, A., Hurtado-Soria, B. Z., Villanueva, E., González-Cabeza, J., Rodríguez, G., Aguirre, E., Huertas, A., Barrios, P., Arevalo-Oliva, M. de F., Córdova-Chang, A., Hurtado-Soria, B. Z., Villanueva, E., González-Cabeza, J., Rodríguez, G., & Aguirre, E. (2025). Biodegradable trays made from Poraqueiba serícea Tulasne seed starch and Zea Mays cob flour. *Scientia Agropecuaria*, 16(1), 17-26. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.002>
- Kaushal, P., Kumar, V., & Sharma, H. K. (2015). Utilization of taro (*Colocasia esculenta*): A review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 27-40.
- <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0933-y>
- León, H. B. L. (2011). *Caracterización térmica, morfológica y determinación de las propiedades de resistencia a la tensión de mezclas de polivinil alcohol (PVOH) y almidón de yuca.*
- Liu, H., Xie, F., Yu, L., Chen, L., & Li, L. (2009). Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*, 34(12), 1348-1368.
- <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001>
- López, D. F., Rojas, A. F., López, D. F., & Rojas, A. F. (2018). Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(23), 93-102. <https://doi.org/10.31908/19098367.3708>
- Martínez, G. D. M., & Velasco, R. R. (2016). *ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO.*
- Matos Medina, I. Y., & Díaz Milla, J. B. (2022). Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de persea americana y almidón de mangifera indica.

Repositorio Institucional - UNS.

<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3939>

Meza, Ju. M., Chaves, C., A., & Vélez, J. N. (2006). *TÉCNICAS DE INDENTACIÓN:*

MEDICIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE CERÁMICAS.

<http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012->

[73532006000200007&script=sci_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532006000200007&script=sci_abstract&tlng=en)

MIDAGRI, M. d. (2021). Producción mensual de pituca, según región. Obtenido de

[https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-](https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-diarios?download=1639:agricola-2021)

[diarios?download=1639:agricola-2021](https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-diarios?download=1639:agricola-2021)

Moorthy, S. N., Larsson, H., & Eliasson, A.-C. (2008). Rheological Characteristics of

Different Tropical Root Starches. *Starch - Stärke*, 60(5), 233-247.

<https://doi.org/10.1002/star.200700708>

Morales, A. F. M. (2012). Fitogeografía e industrialización del almidón de pituca (*Colocasia*

esculenta). *Espacio y Desarrollo*, 24, 97-117.

Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). Interpretation of Fourier

Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic

Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(1), Article

1.

Nwokocha, L. M., Aviara, N. A., Senan, C., & Williams, P. A. (2009). Estudio comparativo

de algunas propiedades de los almidones de yuca (*Manihot esculenta* , Crantz) y de

malanga (*Colocasia esculenta*, Linn). *Carbohydrate Polymers*, 76(3), 362-367.

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.034>

Ortellado, L. (2024). *TESIS DE DOCTOR EN FÍSICA.*

Parulekar, Y., & Mohanty, A. K. (2007). Extruded Biodegradable Cast Films from

Polyhydroxyalkanoate and Thermoplastic Starch Blends: Fabrication and

- Characterization. *Macromolecular Materials and Engineering*, 292(12), 1218-1228.
<https://doi.org/10.1002/mame.200700125>
- Peñaranda Contreras, O. I., Perilla Perilla, J. E., & Algecira Enciso, N. A. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Ingeniería e Investigación*, 28(3), 47-52.
- Ponce Ramirez, J. A., & Horna Menacho, N. R. (2023). Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de *Manihota Sculenta* y fibras de *Cynara Scolymus*. *Repositorio Institucional - UNS*.
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4336>
- Portella. (2019). *Degradación de Plástico Por 5 Especies de Hongos Del Botadero Muyuna, Tingo María, Perú* / PDF / Biodegradación / Polímeros. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/470164825/Degradacion-de-plastico-por-5-especies-de-hongos-del-Botadero-Muyuna-Tingo-Maria-Peru>
- Reyes, M. R., Prieto, I. G.-S., & Barrientos, C. E. (2017). Tablas peruanas de Composición de alimentos. Instituto Nacional de Salud. 2017.
- Riera, M. A., & Palma, R. R. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química*, 13(3), 69-78.
- Salgado-Ordosgoitia, R. D., Paternina-Contreras, A. L., Cohen-Manrique, C. S., Rodríguez-Manrique, J. A., Salgado-Ordosgoitia, R. D., Paternina-Contreras, A. L., Cohen-Manrique, C. S., & Rodríguez-Manrique, J. A. (2019a). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Información tecnológica*, 30(4), 93-102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>

- Salgado-Ordosgoitia, R. D., Paternina-Contreras, A. L., Cohen-Manrique, C. S., Rodríguez-Manrique, J. A., Salgado-Ordosgoitia, R. D., Paternina-Contreras, A. L., Cohen-Manrique, C. S., & Rodríguez-Manrique, J. A. (2019b). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Información tecnológica*, 30(4), 93-102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>
- Silva, R. R. A., Marques, C. S., Arruda, T. R., Teixeira, S. C., & de Oliveira, T. V. (2023). Biodegradation of Polymers: Stages, Measurement, Standards and Prospects. *Macromol*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/macromol3020023>
- Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., Mejía-España, D. F., Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., & Mejía-España, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30(6), 35-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Surendren, A., K. Mohanty, A., Liu, Q., & Misra, M. (2022). A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: Recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. *Green Chemistry*, 24(22), 8606-8636. <https://doi.org/10.1039/D2GC02169B>
- Syed, F. N. N., Zakaria, M. H., Bujang, J. S., & Christianus, A. (2021). Characterization, Functional Properties, and Resistant Starch of Freshwater Macrophytes. *International Journal of Food Science*, 2021(1), 8825970. <https://doi.org/10.1155/2021/8825970>
- Tapia-Blácido, D. R., Aguilar, G. J., de Andrade, M. T., Rodrigues-Júnior, M. F., & Guareschi-Martins, F. C. (2022). Trends and challenges of starch-based foams for use as food packaging and food container. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 257-271. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.005>

- Throne, J. (2024). 19—Thermoforming. En M. Kutz (Ed.), *Applied Plastics Engineering Handbook (Third Edition)* (pp. 449-480). William Andrew Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88667-3.00001-1>
- Tian, Y., Xu, B., & Zhao, Z. (2012). Microscopic theory of hardness and design of novel superhard crystals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2012.02.021>
- Toledo, F. P. G., Torres, F. F. L., & Espín, T. K. B. (2023). Revisión del estado del arte de las Fracturas de Materiales. *AlfaPublicaciones*, 5(3), Article 3.
<https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.397>
- Trujillo, J. L. (2022). *Caracterización morfológica, color, propiedades funcional y térmica de dos variedades de pituca (Colocasia esculenta L. Schott) en Tingo María*.
<https://hdl.handle.net/20.500.14292/2119>
- Trujillo-Ccanahuire, J., Ordoñez, E. S., Reategui, D., Iturri, M. S., Trujillo-Ccanahuire, J., Ordoñez, E. S., Reategui, D., & Iturri, M. S. (2024). Starch from Colocasia esculenta (L.) Schott of purple and white esculenta varieties: Thermal, technological properties, and morphological study. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 77(3), 10887-10897. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.111574>
- Valero-Valdivieso, M. F., Ortégón, Y., & Uscategui, Y. (2013). *BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS BIOPOLYMERS: PROGRESS AND PROSPECTS*.
- Van den Oever, Molenveld, & Bos. (2017). (PDF) *Bio-based and biodegradable plastics – Facts and Figures. Focus on food packaging in the Netherlands*. ResearchGate.
<https://doi.org/10.18174/408350>
- Veerasingham, S., Ranjani ,M., Venkatachalapathy ,R., Bagaev ,Andrei, Mukhanov ,Vladimir, Litvinyuk ,Daria, Mugilarasan ,M., Gurumoorthi ,K., Gunganathan ,L., Aboobacker ,V. M., & and Vethamony, P. (2021). Contributions of Fourier transform infrared

spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(22), 2681-2743.

<https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1807450>

Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189-197.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>

Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., Torres, J., Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45(3), 271-278. [https://doi.org/10.4067/s0717-](https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271)

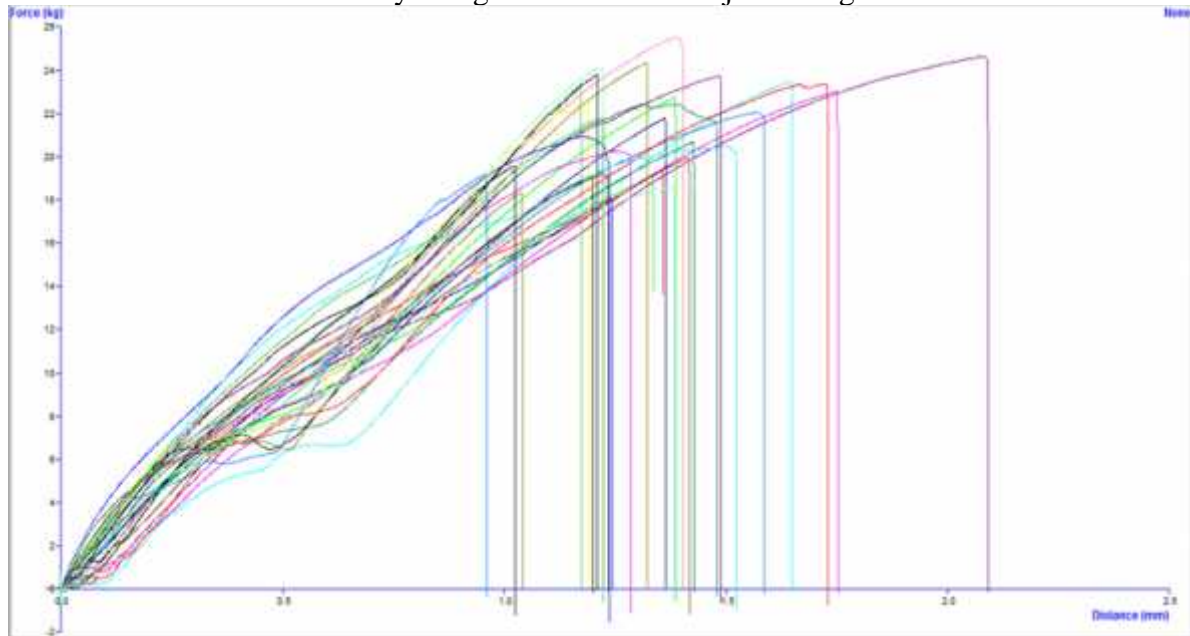
[75182018000400271](https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271)

Yang, J., Ching, Y. C., & Chuah, C. H. (2019). Applications of Lignocellulosic Fibers and Lignin in Bioplastics: A Review. *Polymers*, 11(5), Article 5.

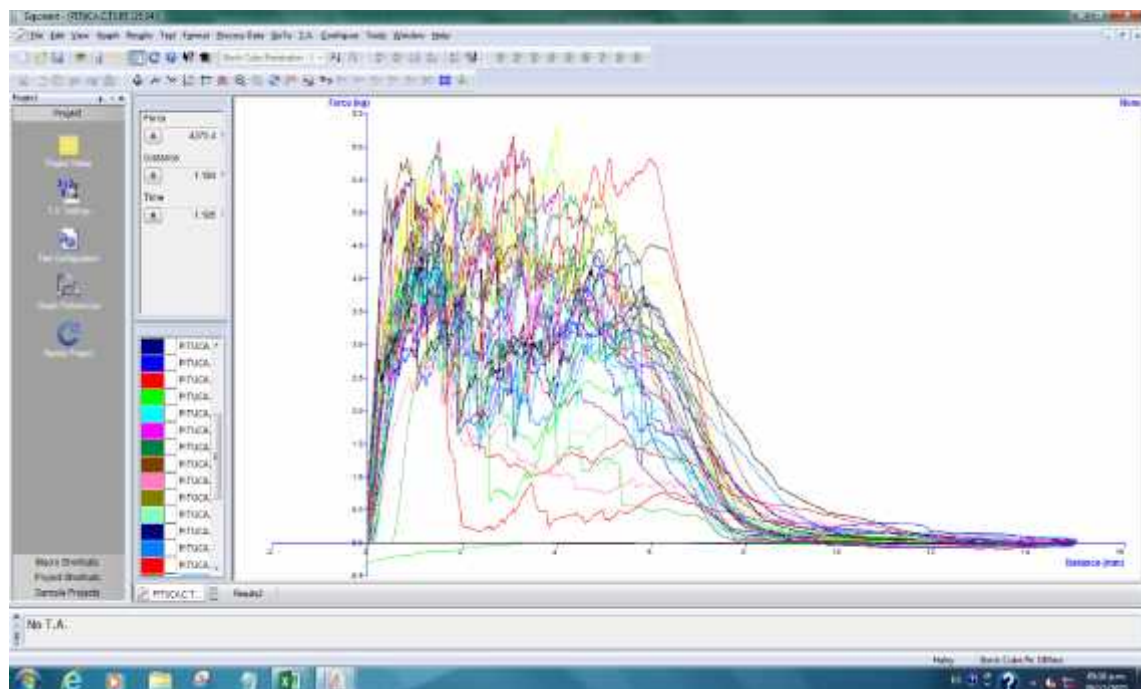
<https://doi.org/10.3390/polym11050751>

ANEXO

Anexo 1. Resistencia y elongación de las bandejas biodegradables



Anexo 2. Dureza y fracturabilidad de las bandejas biodegradables



Anexo 3.
Ilustraciones del proceso de elaboración de bandejas biodegradables



RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA



OBTENCIÓN DE LECHADA DE PITUCA



ACONDICIONAMIENTO DE LECHADA PARA CENTRIFUGAR



CENTRIFUGADO



ALMIDÓN HÚMEDO



SECADO



TERMOFORMADO



BANDEJAS BIODEGRADABLES



ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS