

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

Physicochemical and rheological characterization of taro (Colocasia esculenta) starches and their application in biodegradable trays

Jose Francisco Moro Pisco ^a 

✉ jmoro@unfv.edu.pe

Marcial Ibo Silva-Jaimes ^b 

Edward José Flores Masías ^a 

^a Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú

^b Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú

Resumen

Palabras clave: Bandejas, Biodegradable, Pituca, Almidones

Keywords:

Trays, Biodegradable, Pituca, Starches

Cómo citar: Moro Pisco JF, Silva-Jaimes MI, Flores Masías EJ. Caracterización fisicoquímica y reológica de almidones de pituca (*colocasia esculenta*) y su aplicación en bandejas biodegradables. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):01-17
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.487>

Contexto: La búsqueda de materiales biodegradables a partir de recursos vegetales constituye una alternativa frente al uso de envases plásticos convencionales. La pituca (*Colocasia esculenta*) representa una fuente potencial de almidón y fibra con aplicaciones agroindustriales. **Objetivo:** Evaluar las características fisicoquímicas y el comportamiento reológico del almidón de pituca y su influencia en las propiedades mecánicas de bandejas biodegradables. **Metodología:** Se realizó una investigación cuantitativa, aplicada y experimental. El almidón fue extraído de tubérculos de pituca y caracterizado mediante índice de absorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento y temperatura de gelatinización. Se evaluó su comportamiento reológico a diferentes concentraciones y temperaturas. Posteriormente, se elaboraron bandejas con almidón, afrecho y cáscara de pituca y se determinaron sus propiedades mecánicas y características estructurales mediante FTIR. **Resultados:** El rendimiento de extracción fue $24.6 \pm 0.4\%$. El almidón alcanzó un índice de absorción de agua de $0.13 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, solubilidad de 0.02–0.10 y temperatura de gelatinización de 92.47°C . Las suspensiones presentaron comportamiento pseudoplástico. La formulación seleccionada alcanzó una resistencia a la tracción de 3.72 MPa. **Conclusiones:** El almidón de pituca presenta propiedades funcionales y reológicas favorables para su aplicación en bandejas biodegradables reforzadas con afrecho y cáscara.

Abstract

Context: The development of biodegradable materials from plant resources represents an alternative to conventional plastic packaging. Pituca (*Colocasia esculenta*) is a potential source of starch and fiber for agro-industrial applications. **Objective:** To evaluate the physicochemical characteristics and rheological behavior of pituca starch and its influence on the mechanical properties of biodegradable trays. **Methodology:** A quantitative, applied, and experimental study was conducted. Starch was extracted from pituca tubers and characterized by water absorption index, solubility, swelling power, and gelatinization temperature. Its rheological behavior was evaluated at different concentrations and temperatures. Biodegradable trays were subsequently produced using pituca starch, bran, and peel, and their mechanical properties and structural characteristics were assessed by FTIR. **Results:** Starch extraction yield was $24.6 \pm 0.4\%$. The starch showed a water absorption index of up to $0.13 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, solubility values of 0.02–0.10, and a gelatinization temperature of 92.47°C . The suspensions exhibited pseudoplastic behavior. The selected formulation



reached a tensile strength of 3.72 MPa. **Conclusions:** Pituca starch showed favorable functional and rheological properties for the development of biodegradable trays reinforced with bran and peel.

Introducción

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 ⁽¹⁾, también se reportó un 27% en almidón sobre la parte central del cormo ⁽²⁾ asimismo,⁽³⁾ Pajar 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% ⁽⁴⁾. También se reporta que la composición química de la harina de pituca secada a 60 °C durante 6 horas, 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 ⁽⁵⁾. Algunos investigadores 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 ⁽⁶⁾.

Por su parte, Huamani ⁽⁷⁾, 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 ⁽⁸⁾.

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 ⁽⁹⁾.

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 ± 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 ⁽¹⁰⁾. En otra experiencia,

demonstraron 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 ⁽¹¹⁾.

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 ⁽¹²⁾. 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) ⁽¹³⁾.

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 ⁽¹²⁾.

El objetivo de la investigación, consistió en evaluar las características fisicoquímicas, el comportamiento reológico de los almidones de pituca y su influencia en las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables según concentraciones. Así mismo, se tuvo como 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.

La Justificación e importancia del 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.

Materiales y Métodos

La investigación fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con alcance explicativo y diseño experimental, debido a que se manipularon de manera controlada las variables relacionadas con la concentración y la temperatura para evaluar su efecto sobre las características fisicoquímicas y el comportamiento reológico del almidón de pituca (*Colocasia esculenta*), así como sobre las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables elaboradas a partir de este material.

Por su temporalidad, el estudio fue de corte transversal, debido a que la obtención de los datos experimentales se realizó durante un periodo definido, comprendido entre el año 2023 y el primer trimestre de 2024.

La fase correspondiente a la evaluación reológica se desarrolló mediante un diseño factorial 3×3 bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), considerando como factores independientes la concentración de almidón (factor A) y la temperatura (factor B). Las variables de respuesta fueron la viscosidad y el índice de comportamiento de flujo.

El estudio se desarrolló en los laboratorios especializados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa (UNS), donde se instalaron y utilizaron los equipos e instrumentos requeridos para las diferentes etapas experimentales.

La materia prima estuvo constituida por 90 kg de tubérculos de pituca (*Colocasia esculenta*), procedentes de la zona agrícola de Tingo María, región Huánuco, Perú. Los tubérculos maduros fueron recolectados manualmente, lavados, desinfectados, acondicionados en cajas de cartón corrugado y transportados por vía terrestre hasta los laboratorios de la Universidad Nacional del Santa.

Para el desarrollo experimental se utilizaron los siguientes insumos:

- Glicerina ($C_3H_8O_3$), P.A. 99.5 %.
- Goma guar USP, grado alimentario.
- Estearato de magnesio P.A. $[Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2]$.
- Agua destilada.

Para la obtención, caracterización y evaluación del almidón y de las bandejas biodegradables se utilizaron los siguientes equipos e instrumentos:

- Estufa Poleko-Aparatura.
- Balanza analítica Gravimetrics AG, con sensibilidad de 0.0001 g.
- Balanza de precisión Precisa XB 320M.
- Termómetro con rango de 0 a 100 °C.
- Centrífuga refrigerada.
- Molino ultracentrífugo Retsch ZM200.
- Vibrador de tamices Retsch AS 200 Basic.
- Termoprensa Reles PHECL-D 10.
- Espectrómetro Thermo Fisher Scientific Nicolet™ iS50.
- Vernier análogo de acero inoxidable DC051.
- Analizador de textura Brookfield CT3.

- Viscoamilógrafo Brabender.

La investigación se desarrolló en tres etapas experimentales, conforme al esquema general presentado en la Figura 1.

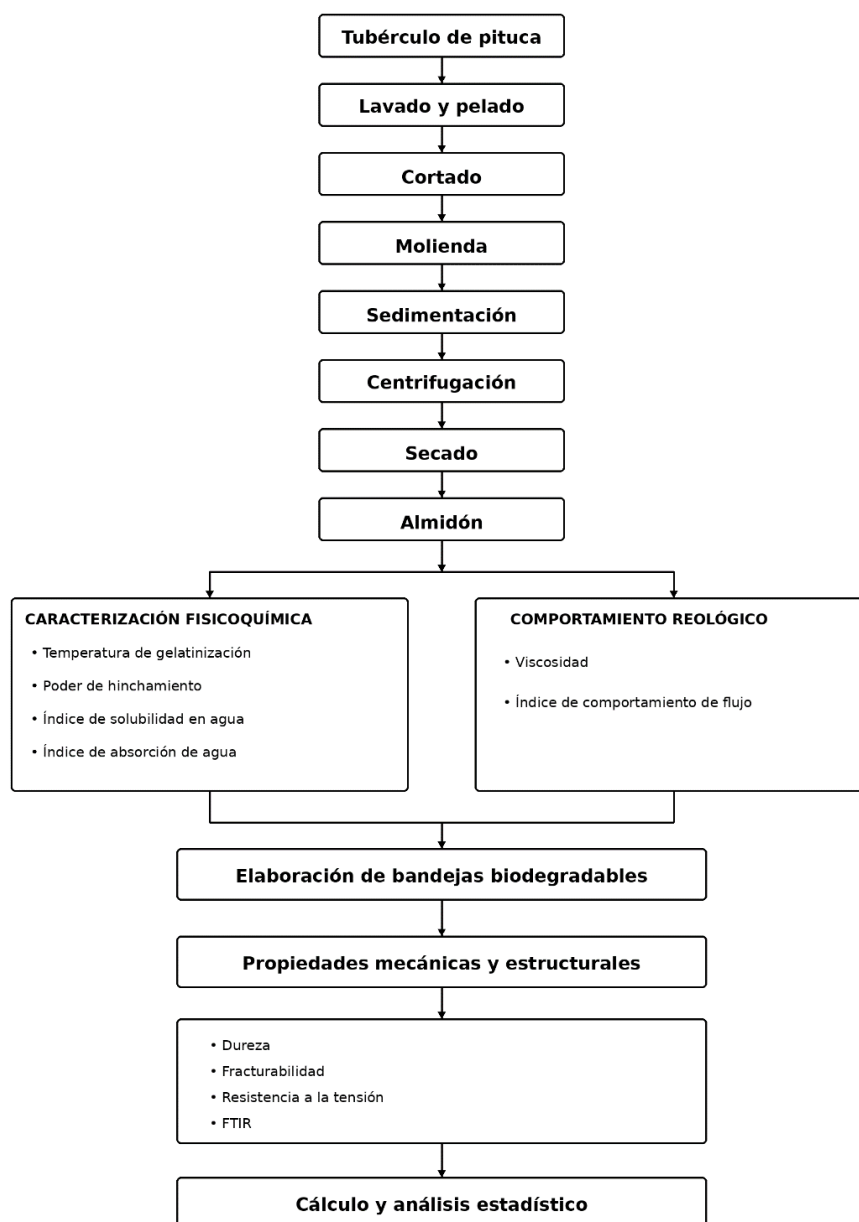


Figura 1. Diagrama de flujo general de la investigación.

En la primera etapa se realizó la extracción del almidón a partir de los tubérculos de pituca. La materia prima fue sometida sucesivamente a operaciones de lavado y pelado, cortado, molienda, sedimentación, centrifugación y secado hasta la obtención del almidón. El rendimiento de extracción se determinó mediante balance de masa.

En la segunda etapa se efectuó la caracterización fisicoquímica del almidón obtenido. Se determinaron la temperatura de gelatinización, el poder de hinchamiento, el índice de solubilidad en agua y el índice de absorción de agua. Paralelamente, se evaluó su comportamiento reológico considerando diferentes concentraciones y temperaturas.

En la tercera etapa se elaboraron las bandejas biodegradables empleando almidón, afrecho y cáscara de pituca, conjuntamente con los agentes complementarios de formulación. Posteriormente, las bandejas obtenidas fueron evaluadas en función de sus propiedades mecánicas, particularmente perfil de textura, tensión, resistencia a la tracción, elongación, dureza y fracturabilidad, además del análisis de vibración molecular mediante espectroscopia infrarroja.

Para determinar el efecto de la concentración de almidón y la temperatura sobre las propiedades reológicas se utilizó un diseño factorial 3×3 , bajo un Diseño Completamente al Azar. El factor A correspondió a la concentración de almidón, con tres niveles: 1.5, 3.0 y 4.5 % p/p; mientras que el factor B correspondió a la temperatura, con niveles de 55, 65 y 75 °C. La combinación de ambos factores originó nueve tratamientos experimentales, según se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental para la evaluación reológica del almidón de pituca.

Tratamiento	Concentración de almidón (% p/p)	Temperatura (°C)
T1	1.5	55
T2	1.5	65
T3	1.5	75
T4	3.0	55
T5	3.0	65
T6	3.0	75
T7	4.5	55
T8	4.5	65
T9	4.5	75

El comportamiento de las variables de respuesta se representó mediante el modelo lineal propuesto por Montgomery ⁽¹⁴⁾:

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

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% p/p; 3.0% p/p; 4.5% p/p)

B_j = Efecto de la temperatura: b_0 ; b_1 ; b_2 (55°C; 65°C; 75°C)

$(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción Concentración-Temperatura

E_{ijk} = Efecto del error experimental

Para evaluar los efectos de los factores estudiados se plantearon las siguientes hipótesis:

Factor A: concentración de almidón

H_0 : no existen diferencias entre los niveles de concentración de almidón.

H_1 : al menos uno de los niveles de concentración produce un efecto diferente.

Factor B: temperatura

H_0 : no existen diferencias entre los niveles de temperatura evaluados.

H_1 : al menos uno de los niveles de temperatura produce un efecto diferente.

Interacción A $\times$ B

H_0 : no existe interacción significativa entre la concentración de almidón y la temperatura.

H_1 : existe interacción significativa entre ambos factores.

Los datos obtenidos experimentalmente fueron organizados y analizados mediante estadística descriptiva e inferencial. Para determinar el efecto de la concentración de almidón, la temperatura y su interacción sobre la viscosidad y el índice de comportamiento de flujo se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) mediante la prueba F, considerando un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, de acuerdo con Montgomery ⁽¹⁴⁾.

La estructura del análisis de varianza correspondiente al diseño factorial se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Estructura del análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración y la temperatura sobre las propiedades reológicas.

Fuente de variación	GI
Concentración de almidón (A)	$a - 1 = 2$
Temperatura (B)	$b - 1 = 2$
Interacción A $\times$ B	$(a - 1)(b - 1) = 4$
Error experimental	18
Total	$abr - 1 = 26$

La población estuvo constituida por tubérculos de pituca procedentes de plantas cultivadas en las zonas agrícolas de Tingo María, región Huánuco, Perú.

La muestra experimental estuvo conformada por 90 kg de tubérculos maduros de pituca, seleccionados y recolectados manualmente para su posterior procesamiento.

La técnica de recolección de datos fue la observación directa experimental, mediante la cual se registraron sistemáticamente las mediciones obtenidas durante las diferentes etapas del experimento bajo condiciones controladas y de acuerdo con las variables establecidas en el diseño de investigación.

Resultados

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 la Tabla 3.

Tabla 3. 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

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 Morales ⁽¹⁾ y Trujillo ⁽²⁾, con diferencias mínimas, debido posiblemente al lugar de procedencia o al grado de madurez del tubérculo.

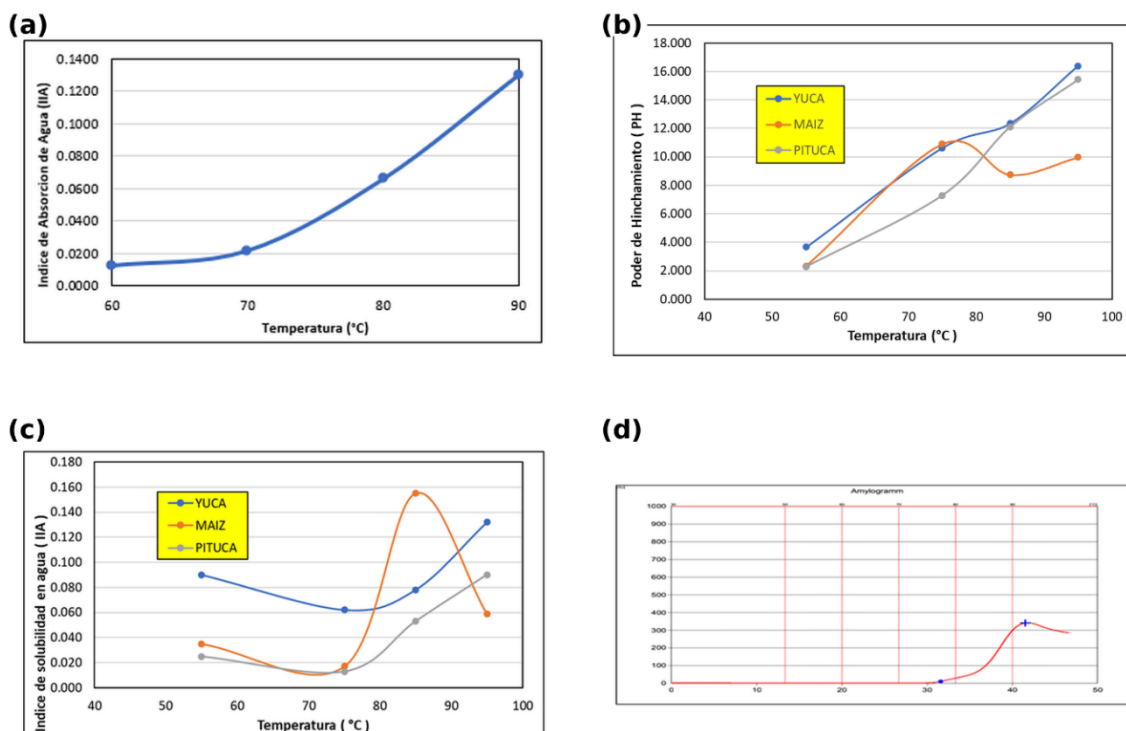


Figura 2. Propiedades fisicoquímicas y térmicas del almidón de pituca: (a) índice de absorción de agua; (b) poder de hinchamiento; (c) índice de solubilidad en agua; y (d) comportamiento de gelatinización.

Con respecto a las características fisicoquímicas, según la Figura 2a, 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 0.099-0.273 g.g⁻¹, reportado por Trujillo-Ccanahuire y colaboradores ⁽¹⁵⁾, Himeda ⁽¹⁶⁾ y Corpus & Bocanegra ⁽¹⁷⁾, 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 ⁽¹⁸⁾.

Con respecto al poder de hinchamiento del almidón de pituca comparado con los almidones de yuca y maíz, se observa en la Figura 2b, 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 ⁽¹⁹⁾.

Los valores de Índice de solubilidad en agua mostrado en la Figura 2c, 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.

El almidón de pituca, según la Figura 2d, 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.

Comportamiento reológico del almidón de pituca según temperatura y concentración

La Figura 3 muestra el comportamiento reológico del almidón de pituca en suspensiones acuosas a concentraciones de 5 %, 7.5 % y 10 %, evaluadas a 25, 40, 60 y 80 °C (Figura 3a–d). 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 con el aumento de la temperatura, disminuyeron su viscosidad hasta valores de 5 mPa.s, por debajo de 46.2 mPa.s, reportado por Syed y colaboradores ⁽²⁰⁾, 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 ⁽⁷⁾, 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.

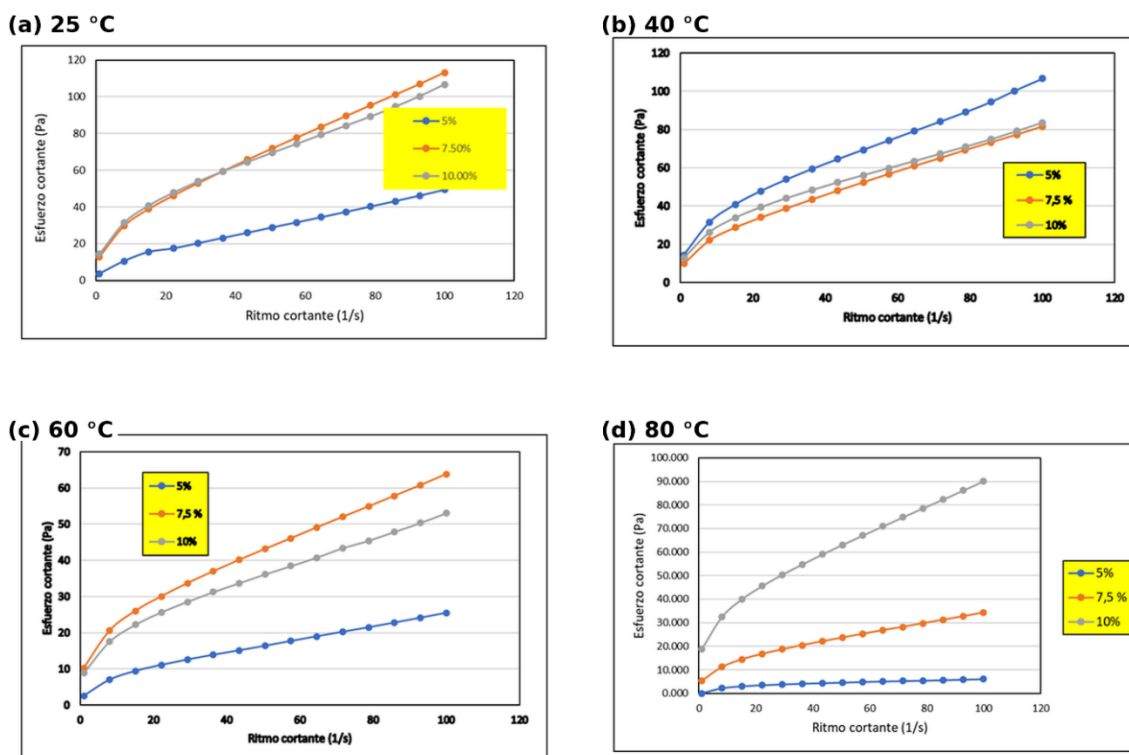


Figura 3. Comportamiento reológico del almidón de pituca según concentración y temperatura: (a) 25 °C, (b) 40 °C, (c) 60 °C y (d) 80 °C.

Parámetros del proceso de elaboración de bandejas biodegradables

A partir de las pruebas preliminares realizadas, se estandarizaron las condiciones y parámetros de control del proceso de elaboración de las bandejas biodegradables, los cuales se presentan en la Tabla 4., 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 esta 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.

Tabla 4. Parámetros del proceso de elaboración de bandejas biodegradables de pituca.

Etapa / componente	Condición o cantidad
Almidón	100.50 g
Afrecho	9.00 g
Cáscara	40.50 g
Goma guar	1.50 g
Estearato	9.00 g
Glicerina	10.50 g
Agua	150.00 mL
Mezclado manual	15 min
Amasado semimanual	10 min
Pesado de la masa	95 g
Homogeneizado manual	5 min
Termoprensado	TS: 145 °C; TI: 140 °C
Tiempo de termoprensado	5.30 min
Enfriado	Temperatura ambiente
Almacenaje	Temperatura ambiente

Caracterización de las bandejas biodegradables

Propiedades mecánicas

a) 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 4a, 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 ⁽²¹⁾, explican que es el momento en que el material es fracturado o destruido, durante la primera compresión.

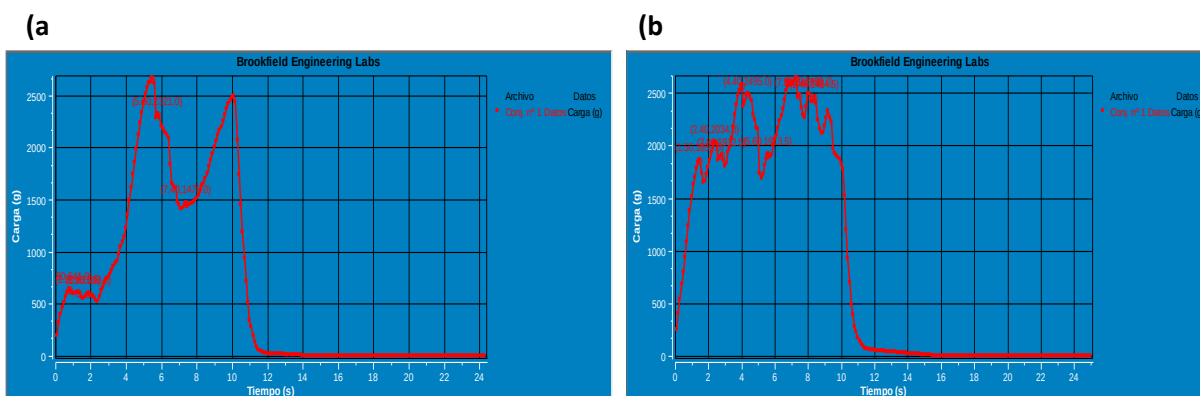


Figura 4. Perfil de textura de las bandejas biodegradables elaboradas con: (a) 100 % de almidón y (b) almidón (100.5 %), afrecho (9.0 %) y cáscara (40.5 %).

Por otro lado, en la figura 4b, 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.

b) Tensión

En la Tabla 5, 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.

Tabla 5. 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 la Tabla 6, 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.

Tabla 6. 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

Vibración molecular

El espectro de infrarrojo mostrado en la Figura 5, 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, juntamente 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.

Discusión

La caracterización química proximal de la harina de pituca mostró un predominio de carbohidratos (79.75%), resultado coherente con su contenido de almidón, estimado en 23.3% por Huamani ⁽⁷⁾. Esta composición confirma el potencial de la pituca como materia prima para aplicaciones agroindustriales, aunque sus valores pueden variar en función del grado de madurez del tubérculo y de las condiciones de procesamiento.

El contenido de proteínas alcanzó 8.3%, mientras que la humedad, la grasa y la ceniza se presentaron en menores proporciones. En conjunto, los valores observados en la Tabla 3 fueron cercanos a los reportados por Pajar ⁽³⁾, Reyes y colaboradores ⁽⁴⁾ y Cubas y Sempertegui ⁽⁵⁾, lo que respalda la consistencia de la composición proximal obtenida.

En relación con las propiedades fisicoquímicas, el comportamiento observado en la Figura 2a evidencia que el índice de absorción de agua aumentó con la temperatura. Esta capacidad resulta relevante para el empleo del almidón en la formación de películas o barreras biodegradables, aunque el uso de almidón sin refuerzo presenta limitaciones mecánicas frente a esfuerzos de tensión, compresión o impacto. Por ello, la incorporación de otros componentes puede contribuir a mejorar la estabilidad y resistencia del material, como señalan Enríquez y colaboradores ⁽²²⁾.

De manera complementaria, la Figura 2b muestra un incremento del poder de hinchamiento con el aumento de la temperatura. Este comportamiento puede relacionarse con la mayor proporción de amilopectina respecto de la amilosa, lo que favorece la hidratación y expansión de los gránulos. La composición relativa de amilosa y amilopectina influye directamente en las propiedades físicas y químicas del almidón y en su comportamiento durante la cocción y el almacenamiento; la amilosa tiende a formar estructuras más rígidas y cristalinas, mientras que la amilopectina presenta mayor flexibilidad e hidratación ⁽²³⁾.

El índice de solubilidad en agua, representado en la Figura 2c, también presentó variaciones con la temperatura. Durante la gelatinización, la interacción entre amilosa y amilopectina puede favorecer la formación de complejos de distinta solubilidad. En el caso del almidón de pituca, los valores relativamente bajos de solubilidad pueden asociarse con el tamaño reducido de los gránulos y con su resistencia a la hidrólisis en el intervalo de temperatura evaluado.

Este comportamiento difiere de lo descrito para almidones sometidos a temperaturas superiores, como los de quinua, en los cuales la hidrólisis térmica incrementa la solubilidad ⁽²⁴⁾. Asimismo, la Figura 2d muestra una temperatura de gelatinización de 92.47 °C, superior a la informada para almidones de ñame, cuya gelatinización se sitúa aproximadamente entre 80 y 84 °C ⁽²⁵⁾, y a la reportada por Moorthy y colaboradores ⁽²⁶⁾ para almidón de pituca en otras condiciones experimentales. Estas diferencias pueden atribuirse al tiempo, la presión, la humedad, la concentración y las características propias del almidón.

El comportamiento reológico presentado en la Figura 3a–d permitió observar el efecto combinado de la concentración y la temperatura sobre las suspensiones de almidón de pituca. A concentraciones mayores se requirió un esfuerzo cortante superior para alcanzar una misma velocidad de deformación, mientras que el incremento de la temperatura produjo una disminución de la viscosidad. Este comportamiento es compatible con un fluido pseudoplástico y puede explicarse por los cambios estructurales que experimentan los gránulos durante la hidratación y gelatinización. La ruptura progresiva de las regiones cristalinas y la dispersión de las macromoléculas favorecen la formación de pastas viscosas, cuya respuesta depende de la concentración y de las condiciones térmicas aplicadas. Estos resultados permiten considerar al almidón de pituca como un ingrediente con potencial funcional como espesante, estabilizante, emulsificante o adhesivo.

Los parámetros de elaboración consignados en la Tabla 4 permitieron establecer una formulación y condiciones de termoprensado adecuadas para la obtención de bandejas biodegradables. La masa empleada y las temperaturas de las placas fueron similares a las utilizadas por Huertas y colaboradores ⁽²⁷⁾, quienes

trabajaron con aproximadamente 93 g de masa y temperaturas de 145 °C y 135 °C durante 6.5 min. En contraste, Aguirre y colaboradores (28) emplearon masas de 60 a 80 g y temperaturas de 170 °C y 200 °C durante 2 min. Estas diferencias evidencian que las condiciones de termoformado dependen de la naturaleza y proporción de los componentes utilizados.

En cuanto a las propiedades mecánicas, la Figura 4a muestra que las bandejas elaboradas con 100% de almidón presentaron menor resistencia frente a la compresión, comportamiento atribuible a la limitada capacidad del almidón puro para formar redes estructurales resistentes a la tensión y al impacto (29). En cambio, la Figura 4b evidencia una mayor resistencia en las bandejas formuladas con almidón, afrecho y cáscara de pituca, lo que puede relacionarse con el aporte de fibras celulósicas. La incorporación de celulosa, hemicelulosa y lignina contribuye al refuerzo del material y puede mejorar su ductilidad y resistencia a la fractura, como señalan Ponce y colaboradores (30).

Los resultados de tensión presentados en la Tabla 5 muestran resistencias a la tracción de 2.96 MPa para las bandejas elaboradas con 100% de almidón y de 3.72 MPa para aquellas formuladas con almidón, afrecho y cáscara. Estos valores son cercanos a los 2.84 MPa reportados por Barrios y Huertas (31), y las diferencias pueden atribuirse a la composición, estructura, homogeneidad interna y presencia de defectos en los materiales (32). Por su parte, la Tabla 6 muestra que la dureza y la fracturabilidad variaron según la formulación. Barrios y Huertas (31) registraron valores superiores en bandejas elaboradas con almidón de yuca y fibra de alcachofa, mientras que López y colaboradores (32) señalan que estas propiedades dependen de la naturaleza y proporción de las fibras y del empleo de agentes ligantes. Asimismo, las diferencias respecto de bandejas formuladas con tocones de espárrago, almidón de papa y glicerina (33) confirman que las propiedades mecánicas están estrechamente relacionadas con la composición y las condiciones del termoformado.

Finalmente, el espectro FTIR de la Figura 5 evidenció bandas asociadas con los principales grupos funcionales presentes en las bandejas. Los intervalos entre 4000 y 600 cm^{-1} mostraron señales atribuibles a agua, lípidos, carbohidratos y proteínas (34). La banda ancha alrededor de 3331 cm^{-1} se relacionó con el estiramiento O-H de los enlaces de hidrógeno, en concordancia con Huertas y colaboradores (27); las señales en 2921 y 2853 cm^{-1} se asociaron con estiramientos C-H vinculados a lípidos (35). También se observaron bandas correspondientes a grupos carbonilo y a vibraciones C-H y C-O, compatibles con la presencia de carbohidratos y otros componentes de la matriz, como señalan Reyes y colaboradores (4), Muñoz y Ricardo (36) y Ruvalcaba-Silva (37). En conjunto, estos resultados confirman la interacción de los componentes de la formulación y sustentan la obtención de un material biodegradable con propiedades fisicoquímicas, reológicas, mecánicas y estructurales adecuadas para su aplicación en bandejas.

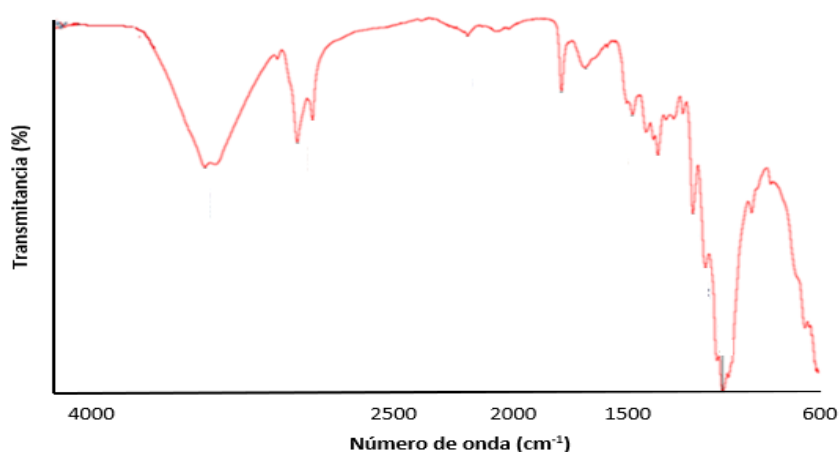


Figura 5. Espectro FTIR de bandeja biodegradable para formulación de 100.5% almidón, 9.0 % afrecho y 40.5% de cáscara de pituca.

Conclusiones

La caracterización fisicoquímica del almidón de pituca (*Colocasia esculenta*) evidenció una respuesta dependiente de la temperatura. Entre 55 y 95 °C, el índice de absorción de agua aumentó de 0.016 a 0.13 g·g⁻¹ y el índice de solubilidad en agua presentó valores entre 0.02 y 0.10. Asimismo, el almidón registró una temperatura de gelatinización de 92.47 °C y un incremento progresivo del poder de hinchamiento, características que evidencian su capacidad de hidratación y estabilidad frente al calentamiento.

El comportamiento reológico de las suspensiones de almidón de pituca estuvo condicionado por la concentración y la temperatura. En concentraciones de 5, 7.5 y 10 %, evaluadas a 25, 40, 60 y 80 °C, se observó que el aumento de la concentración incrementó la resistencia al flujo, mientras que el aumento de la temperatura redujo la viscosidad. En conjunto, las suspensiones presentaron un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico.

La formulación seleccionada para la elaboración de bandejas biodegradables estuvo constituida por 100.5 g de almidón, 9.0 g de afrecho y 40.5 g de cáscara de pituca. El proceso de termoprensado se realizó a 145 °C en la placa superior y 140 °C en la placa inferior durante 5.30 min, condiciones que permitieron obtener bandejas con características físicas y mecánicas diferenciadas respecto de las elaboradas únicamente con almidón.

La incorporación de afrecho y cáscara de pituca mejoró el desempeño mecánico de las bandejas biodegradables. La resistencia a la tracción aumentó de 2.96 MPa en las bandejas elaboradas con 100 % de almidón a 3.72 MPa en las formuladas con almidón, afrecho y cáscara, mientras que el perfil de textura evidenció una mayor resistencia a la compresión. El análisis FTIR confirmó, además, la presencia de grupos funcionales asociados con los principales componentes de la matriz biodegradable.

Acerca de

Financiamiento: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: La investigación no requirió la aprobación de un Comité de Ética en Investigación, debido a que no involucró participantes humanos, animales vertebrados ni material biológico de origen humano. El estudio se realizó exclusivamente con materiales de origen vegetal.

Historia del artículo: Artículo recibido 05 de mayo 2026 | Aceptado 08 de junio 2026 | Publicado 21 de julio 2026

Referencias

1. Morales Orccottoma AF. Fitogeografía e industrialización del almidón de pituca (*Colocasia esculenta*). *Espac Desarro.* 2012;(24):97-117. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espaciodesarrollo/article/view/7587>
2. Trujillo Ccanahuire JL. Caracterización morfológica, color, propiedades funcional y térmica de dos variedades de pituca (*Colocasia esculenta* L. Schott) en Tingo María [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2119>
3. Pajar Muñoz ML. Elaboración de hojuelas fritas de pituca (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional del Centro del Perú; 2008. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2633>
4. Reyes García M, Gómez-Sánchez Prieto I, Espinoza Barrientos C, Instituto Nacional de Salud (Perú). Tablas peruanas de composición de alimentos [Internet]. Perú: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud;

2017. p. 142. <https://repositorio.ins.gob.pe/server/api/core/bitstreams/e0e90fb5-52ee-4f90-8b29-4a29efed8e6b/content>
5. Cubas Vicente BC, Sempertegui Silva JA. 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 [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Jaén.; 2024. <https://hdl.handle.net/20.500.14689/609>
 6. Hernández Tomás K. Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables [Tesis de licenciatura]. [México D.F.]: Universidad Nacional Autónoma de México; 2013. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000693542>
 7. Huamani Roca E. Extracción y caracterización del almidón de dos variedades de pituca (*Colocasia esculenta*) de la región de Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2018. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/d3dabe5c-1183-42d6-a1a2-da17cfd67fb>
 8. Velásquez-Barreto F, Velezmoro C. Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Sci Agropecu.* 2018;9(2):189-97. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>
 9. Arias Balderas WM, Aguilar Méndez M, Ramírez Ortiz ME, Quintana Zavala D. El papel de la reología en la caracterización de fluidos: análisis reológico de dispersiones de almidón de distintas fuentes. *Lat-Am J Phys Educ.* 2020;14(4):10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7840899>
 10. Matos Medina IY, Díaz Milla JB. Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de persea americana y almidón de mangifera indica [Tesis de licenciatura]. [Nuevo Chimbote, Perú]: Universidad Nacional del Santa; 2022. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_826c573dc2358c3da96a948a607ac51e/Details
 11. Hoang NTT, Tran ATK, Faculty of Chemical and Food Technology, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, 1 Vo Van Ngan Street, Linh Chieu Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam. Biodegradable containers from rice husk as substitutes for single-use plastic products. *Vietnam J Sci Technol Eng.* 2023;65(4):71-6. [https://doi.org/10.31276/VJSTE.65\(4\).71-76](https://doi.org/10.31276/VJSTE.65(4).71-76)
 12. Surendren A, K. Mohanty A, Liu Q, Misra M. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. *Green Chem.* 2022;24(22):8606-36. <https://doi.org/10.1039/D2GC02169B>
 13. Riera MA, Palma RR. Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Av En Quím.* 2018;13(3):69-78. <https://www.redalyc.org/journal/933/93368279005/html/>
 14. Montgomery DC. Control estadístico de la calidad. Tercera edición. México: Limusa Wiley; 2004. <https://search.worldcat.org/title/503421134>
 15. Trujillo- Ccanahuire J, Ordoñez ES, Reategui D, Iturri MS. Starch from *Colocasia esculenta* (L.) Schott of purple and white *esculenta* varieties: Thermal, technological properties, and morphological study. *Rev Fac Nac Agron Medellín.* 2024;77(3):10887-97. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n3.111574>
 16. Himeda M, Yanou Njintang N, Nguimbou RM, Gaiani C. Physicochemical and thermal properties of taro (*Colocasia esculenta* sp) powders as affected by state of maturity and drying method. *International Journal of Biosciences (IJB).* 2012;2(3):14-27. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0697-9>
 17. Corpus Gomez AD, Bocanegra Felix RC. Bandejas biodegradables a partir de semilla de mango y residuos de la industria azucarera y molinera de arroz [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional del Santa; 2024. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_488c8ef3b045f221682f64d3841ed77d
 18. Salgado-Ordosgoitia RD, Paternina-Contreras AL, Cohen-Manrique CS, Rodríguez-Manrique JA, Salgado-Ordosgoitia RD, Paternina-Contreras AL, et al. Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Inf Tecnológica.* 2019;30(4):93-102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>

19. Boahemaa LV, Dzandu B, Amissah JGN, Akonor PT, Saalia FK. Physico-chemical and functional characterization of flour and starch of taro (*Colocasia esculenta*) for food applications. *Food Humanity*. 2024;2:100245. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100245>
20. Syed FNN, Zakaria MH, Bujang JS, Christianus A. Characterization, Functional Properties, and Resistant Starch of Freshwater Macrophytes. Salmeron I, editor. *Int J Food Sci*. 2021;2021(1):1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/8825970>
21. Acosta Sullcahuamán JA. Fractura de materiales poliméricos a altas velocidades de sollicitación [Tesis de doctorado]. [Barcelona]: Universitat Politècnica de Catalunya; 2001. <https://hdl.handle.net/2117/93348> <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-93348>
22. Enríquez C M, Velasco M R, Ortiz G V. COMPOSICIÓN Y PROCESAMIENTO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES BASADAS EN ALMIDÓN. *Biotechnol En El Sect Agropecu Agroindustrial*. 2012;10(1):182-92. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000100021
23. Villarroel P, Gómez C, Vera C, Torres J. Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Rev Chil Nutr*. 2018;45(3):271-8. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
24. Huamani-H A, Ponce-Ramírez J, Málaga-Juárez J. 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. *Sci Agropecu*. 2020;11(3):381-90. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>
25. Salgado-Ordosgoitia RD, Paternina-Contreras AL, Cohen-Manrique CS, Rodríguez-Manrique JA. Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Inf Tecnológica*. 2019;30(4):93-102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>
26. Moorthy SN, Larsson H, Eliasson A. Rheological Characteristics of Different Tropical Root Starches. *Starch - Stärke*. 2008;60(5):233-47. <https://doi.org/10.1002/star.200700708>
27. Huertas A, Barrios P, Arevalo-Oliva M de F, Córdova-Chang A, Hurtado-Soria BZ, Villanueva E, et al. Biodegradable trays made from Poraqueiba serícea Tulasne seed starch and Zea Mays cob flour. *Sci Agropecu*. 2024;16(1):17-26. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.002>
28. Aguirre E, Domínguez J, Villanueva E, Ponce-Ramírez JA, de Fátima Arevalo-Oliva M, Siche R, et al. Biodegradable trays based on Manihot esculenta Crantz starch and Zea mays husk flour. *Food Packag Shelf Life*. 2023;38:101129. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101129>
29. Solarte-Montúfar JG, Díaz-Murangal AE, Osorio-Mora O, Mejía-España DF, Solarte-Montúfar JG, Díaz-Murangal AE, et al. Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Inf Tecnológica*. 2019;30(6):35-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
30. Ponce Ramirez JA, Horna Menacho NR. Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de Manihot Sculenta y fibras de Cynara Scolymus [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional del Santa; 2023. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_605bda7376f202b7a920ece46516ea8d/Details
31. Barrios Muñoz PR, Huertas Rodríguez AM. Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Serícea T.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays) [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional del Santa; 2023. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_3cdf5187d50f22d9dd2188bba5235dfd/Details
32. López Rodríguez DF, Rojas González AF. Factores que influncian las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos. *Entre Cienc E Ing*. 2018;12(23):93-102. <https://doi.org/10.31908/19098367.3708>

33. Diaz-Diaz E, Cabrera-Guevara C, Diaz-Ildrogo Y, Chumacero-Acosta JS, Gamboa-Alarcon PW. Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Rev Agrotecnológica Amaz.* 2023;3(1):e429-e429. <https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>
34. Mondragón Cortez P. La química analítica. En: Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas. Primera edición. México: CIATEJ; 2020. <https://es.scribd.com/presentation/705355951/PRINCIPIOS-Y-APLICACIONES-DE-LA-ESPECTROSCOPIA-DE-INFRAIRROJO>
35. Barraza-Garza G, De la Rosa LA, Martínez-Martínez A, Castillo-Michel H, Cotte M, Alvarez-Parrilla E. La microespectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIRM) en el estudio de sistemas biológicos | Paperity. *Revista Latinoamericana de Química.* 2013;41(3):125-48. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-59432013000300001
36. Muñoz Pozo BA, Ricardo Rodríguez AW. Evaluación de propiedades mecánicas de mezclas asfálticas incluyendo fibra de gabazo de caña de azúcar, mediante metodología Marshall. [Tesis de licenciatura]. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2025.; 2025. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12681>
37. Ruvalcaba-Silva BU. Mejoramiento de las características bromatológicas (proteína) del aquafaba en SESAJAL [Tesis de licenciatura]. ITESO; 2022. <https://hdl.handle.net/11117/9046>