



Scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

5.2

ABRIL - JUNIO
2026

Artículo Original
37 - 45



ARTÍCULO
Original

Evaluación de Propiedades Mecánicas de Bioplásticos Elaborados con Cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) en Tacna, Perú

Evaluation of the Mechanical Properties of Bioplastic Films Produced from Potato Peel (*Solanum tuberosum*) in Tacna, Peru

<https://doi.org/10.61325/t9gkzr68>

Alesandra del Rosario Guillermo Apaza (autor correspondiente)

adrguillermoa@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0007-9016-8550

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Thania Julisa Serrano Yucra

tjserranoy@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0007-4336-8103

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Jean Franco Yendo Zeballos

jynadoz@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0009-6816-7978

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Recepción

18 de abril de 2026

Aceptación

29 de mayo de 2026

Publicación

30 de junio de 2026

Resumen

La generación de residuos de papa y el uso continuo de los plásticos convencionales motivan la búsqueda de materiales de origen renovable. El estudio tuvo como objetivo elaborar y evaluar películas bioplásticas obtenidas de una fracción seca rica en almidón recuperada de cáscaras de papa recolectadas en establecimientos gastronómicos. Se empleó un enfoque cuantitativo, experimental y aplicado, a través de un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Se procesaron 12 kg de cáscaras y se elaboraron nueve láminas con 9 g de material seco por unidad. La masa, el espesor nominal y la carga de rotura se registraron mediante instrumentos de laboratorio; el comportamiento mecánico se determinó con un procedimiento manual adaptado y no normalizado. Se recuperaron 0.498 kg de material seco, equivalentes al 4.15 %. M2 presentó el mayor espesor nominal (0.350 ± 0.003 mm), mientras que M3 obtuvo el mayor esfuerzo nominal de rotura (0.982 ± 0.007 MPa). El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey mostraron diferencias significativas entre los tres tratamientos ($p < 0.001$). Se concluyó que M3 presentó la mayor respuesta mecánica dentro del procedimiento empleado, aunque los valores requieren confirmación mediante un ensayo normalizado.

Abstract

The generation of potato waste and the continued use of conventional plastics have driven the search for materials derived from renewable resources. This study aimed to produce and evaluate bioplastic films obtained from a starch-rich dry fraction recovered from potato peels collected from food service establishments. A quantitative, experimental, and applied approach was employed using a Completely Randomized Design (CRD) with three treatments and three replicates per treatment. A total of 12 kg of potato peels were processed, and nine films were produced using 9 g of dry material per experimental unit. Mass, nominal thickness, and breaking load were measured using laboratory instruments, whereas mechanical performance was evaluated through an adapted, non-standardized manual procedure. A total of 0.498 kg of dry material was recovered, corresponding to a yield of 4.15%. Treatment M2 exhibited the greatest nominal thickness (0.350 ± 0.003 mm), whereas M3 achieved the highest nominal breaking stress (0.982 ± 0.007 MPa). Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's post hoc test revealed significant differences among the three treatments ($p < 0.001$). It was concluded that M3 exhibited the highest mechanical performance under the experimental procedure employed, although these values require confirmation through a standardized testing method.

Palabras clave: Bioplástico; Almidón; Cáscara de papa; Película biodegradable; Propiedad mecánica; Valorización de residuos; Material renovable; Diseño experimental

Keywords: Bioplastic; Biodegradable film; Starch; Potato peel; Waste valorization; Mechanical property; Renewable material; Experimental design

Evaluación de Propiedades Mecánicas de Bioplásticos Elaborados con Cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) en Tacna, Perú
Alesandra del R. Guillermo Apaza
ORCID: 0009-0007-9016-8550
<https://doi.org/10.61325/t9gkzr68>
Thania J. Serrano Yucra
ORCID: 0009-0007-4336-8103
Jean F. Yendo Zeballos
ORCID: 0009-0009-6816-7978





Scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

5.2

ABRIL - JUNIO
2026

Artículo Original

37 - 45

Evaluación de Propiedades Mecánicas de Bioplásticos Elaborados con Cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) en Tacna, Perú
Jean F. Yendo Zeballos
ORCID: 0009-0009-6816-7978
Thania J. Serrano Yucra
ORCID: 0009-0007-4336-8103
Alesandra del R. Guillermo Apaza
ORCID: 0009-0007-9016-8550
<https://doi.org/10.61325/t9gkzr68>



Introducción

El empleo de plásticos tradicionales ha ido en aumento de forma continua, gracias a su bajo coste, durabilidad, polivalencia y resistencia, siendo aplicados en embalajes, en la agricultura, en el transporte, en la construcción y en la industria alimentaria. En todo caso, este crecimiento de producción y de consumo genera una acumulación progresiva de basura plástica en los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como el principal problema ambiental del planeta. La escasa capacidad de reciclaje y de gestión de residuos llevan a que gran cantidad de plásticos perduren largos periodos de tiempo en el medio ambiente, favoreciendo así su fragmentación y dispersión y dando lugar a microplásticos, es decir, partículas con un tamaño inferior a 5 mm, que son transportadas por ríos, lagos, océanos, suelos e incluso por la atmósfera y que, a su vez, trabajan como vectores de otros contaminantes por su gran capacidad de adsorción. La contaminación por plásticos afecta a la fauna y flora, altera los ecosistemas acuáticos y además representa un posible riesgo para la salud humana, debido a que los microplásticos pueden ser incorporados a la cadena alimentaria por los organismos acuáticos y los alimentos, además de encontrarse en agua potable. Esta problemática ha impulsado el desarrollo de políticas orientadas a reducir el uso de plásticos convencionales y promover materiales renovables y biodegradables como alternativas más sostenibles. ([Li et al., 2023](#); Prieto-Ortiz, 2023).

El almidón termoplástico se considera una opción renovable para aplicaciones de corta duración (Rahardiyan et al., 2023). En este contexto, los materiales a base de almidón reciben atención por su disponibilidad y capacidad para formar películas, aunque mantienen sensibilidad al agua y propiedades mecánicas variables ([Jayarathna et al., 2022](#); Thakur et al., 2019).

La cáscara de papa constituye un residuo generado muy frecuente de las actividades gastronómicas y agroindustriales. Su valorización permite reducir la carga de residuos orgánicos y recuperar componentes aprovechables, entre ellos una fracción rica en almidón. La composición y el manejo de este residuo condicionan su aprovechamiento ([Chauhan et al., 2023](#)). Sin embargo, se resalta la necesidad de convertir estos residuos en materiales con un valor agregado ([Meegoda et al., 2025](#); [Gurunathan et al., 2025](#)). Esta posibilidad resulta oportuna para establecimientos gastronómicos de Tacna, donde las cáscaras se generan de forma continua.

El almidón contiene amilosa y amilopectina las cuales pueden formar una matriz continua después de la gelatinización. Las propiedades finales dependen del origen del almidón, el contenido de sólidos, el secado y los aditivos empleados ([Alarcón Caverro y Arroyo Benites, 2016](#); [Domene-López et al., 2019](#); [Figueroa-Lopez et al., 2024](#)). La glicerina actúa como un plastificante y puede modificar su flexibilidad, espesor y respuesta mecánica; sin embargo, su efecto depende de la concentración y de la interacción con los demás componentes ([Basiak et al., 2018](#); [Farahnaky et al., 2013](#); Wang et al., 2022; Sirbu et al., 2024). El ácido acético también altera el comportamiento del sistema amiláceo, por lo que sus efectos deben sustentarse en mediciones y no solo en supuestos moleculares ([Agudelo-Zamudio et al., 2023](#); Sares et al., 2023).

Algunas investigaciones recientes destacan con la preparación de películas a partir de almidón de papa y han mostrado que la formulación influye en el espesor y la respuesta mecánica ([Charles et al., 2022](#); [Imoisili & Jen, 2024](#); Sultan et al., 2024). Mediante un estudio en Italia investigadores obtienen películas a partir de cáscara de papa mediante hidrólisis ácida y plastificación con glicerol o poliglicerol-3, encontrando que este último confería mejores propiedades térmicas y mecánicas, aunque con mayor solubilidad en agua; además, determinaron que dichos materiales resultan adecuados para el envasado de alimentos secos, dado que su permeabilidad al oxígeno no era suficiente para proteger alimentos susceptibles a la oxidación ([Merino et al., 2021](#)).

También, en Perú, se desarrollan películas biodegradables a partir de almidón nativo de papa modificado y *Nostoc sphaericum*, caracterizándolas mediante técnicas instrumentales (ensayos mecánicos, permeabilidad al vapor de agua, TGA, DSC, FT-IR y SEM). Los resultados ponen de manifiesto que una mayor proporción de almidón modificado incrementa la resistencia mecánica, disminuye la porosidad y la solubilidad y incrementa la estabilidad térmica, mientras que las imágenes del SEM muestran una estructura más homogénea y el FT-IR condiciona interacciones físicas entre los biopolímeros, sin formaciones de nuevos enlaces químicos. Estos resultados indican que la caracterización instrumental es un aspecto importante para correlacionar la composición de las películas alimentarias con sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas y estructurales que favorecerían su aplicación como materiales de envasado en la industria alimentaria.

En el país africano de Etiopía, la concentración de glicerol y de nanorrelleno de dióxido de titanio afecta de forma importante las propiedades tanto mecánicas como morfológicas de las películas de



almidón de ñame (Chemiru & Gonfa, 2023). De igual manera, una revisión de literatura, expone que independientemente de la fuente de almidón, la formulación, los plastificantes, los aditivos y las condiciones de procesamiento son condicionantes de las propiedades mecánicas y funcionales de las películas biodegradables (Singh et al. 2022). Sin embargo, existe poca relevancia local sobre materiales obtenidos directamente de residuos gastronómicos de Tacna con técnicas accesibles.

La ausencia de información experimental que permita comparar formulaciones de bioplástico elaboradas con almidón de papa bajo condiciones locales constituye el problema que aborda esta investigación. Además, el estudio se justifica de manera práctica porque registra una alternativa de aprovechamiento de residuos; aportando evidencia cuantitativa sobre la masa, el espesor nominal y la respuesta frente a una carga axial aplicada mediante un sistema de bajo costo. El alcance no comprende biodegradabilidad, permeabilidad, viabilidad comercial ni caracterización molecular.

Con base en lo anterior, se formuló como pregunta de investigación: ¿Qué diferencias presentan el espesor nominal estimado y el esfuerzo nominal de rotura de tres formulaciones de bioplástico elaboradas a partir de una fracción rica en almidón recuperada de cáscaras de papa? La hipótesis plantea que al menos una de las formulaciones M1, M2 y M3 presenta diferencias significativas en ambas variables.

El objetivo general es elaborar y evaluar experimentalmente películas bioplásticas obtenidas a partir de una fracción seca rica en almidón recuperada de cáscaras de papa. Los objetivos específicos son determinar el rendimiento físico de extracción; elaborar tres formulaciones y estimar su masa seca y espesor nominal; y comparar la fuerza y el esfuerzo nominal de rotura mediante un procedimiento adaptado de carga estática incremental.

Método

Enfoque metodológico

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, basado en el registro de la masa recuperada, la masa seca de las láminas, el espesor nominal estimado, la masa de agua acumulada hasta la ruptura, la fuerza de rotura y el esfuerzo nominal de rotura.

Diseño de estudio

Se utiliza un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un factor denominado tratamiento, compuesto por tres niveles: M1, M2 y M3. Cada tratamiento se elabora de manera independiente tres veces, con lo cual se obtienen nueve unidades experimentales. Las unidades se asignan aleatoriamente durante la preparación y evaluación. El diseño se selecciona porque todos los tratamientos se procesan bajo las mismas condiciones de laboratorio y el interés es comparar las tres formulaciones.

Tabla 1

Formulaciones utilizadas para la elaboración de las láminas

Tratamiento	Ácido acético (mL)	Glicerina (mL)	Fracción seca (g)	Agua destilada (mL)
M1	2	4	9	100
M2	10	4	9	100
M3	10	8	9	100

Nota. La fracción seca corresponde al material rico en almidón recuperado de las cáscaras.

Tipo de estudio

El estudio es experimental y aplicado, con alcance comparativo. Es experimental porque las cantidades de ácido acético y glicerina varían; es aplicado porque se orienta al aprovechamiento de un residuo orgánico local. Debido a que no se incluye la combinación de 2 mL de ácido acético y 8 mL de glicerina, el arreglo no es factorial y no permite estimar por separado los efectos principales ni la interacción entre ambos aditivos.

Población

La población está conformada por los residuos de cáscara de papa generados por establecimientos gastronómicos del distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y departamento de Tacna, Perú.



Scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

5.2

ABRIL - JUNIO
2026

Artículo Original

37 - 45

Evaluación de Propiedades Mecánicas de Bioplásticos Elaborados con Cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) en Tacna, Perú
Jean F. Yendo Zeballos
ORCID: 0009-0009-6816-7978

Thania J. Serrano Yucra
ORCID: 0009-0007-4336-8103

Alexandra del R. Guillermo Apaza
ORCID: 0009-0007-9016-8550

<https://doi.org/10.61325/t9gkzr68>



Muestra

La muestra está conformada por 12 kg de cáscaras frescas de papa (*Solanum tuberosum* L.) recolectadas por conveniencia en la Pollería Pío Pa y la Pollería Suma'Q. Además, a partir del material recuperado se elaboran nueve láminas independientes, tres por cada formulación.

Criterios de inclusión

Se incluyen cáscaras frescas, sin signos visibles de descomposición y libres de materiales extraños.

Criterios de exclusión

Se excluyen residuos con pudrición, contaminación química, tierra excesiva o deshidratación severa.

Técnica de recolección de datos

Se realizó la observación experimental directa y la medición cuantitativa. Las mediciones de cada repetición se registran en fichas de laboratorio y se organizan en una matriz de datos por tratamiento.

Instrumentos

Se utilizan una balanza OHAUS con resolución de ± 0.01 g, licuadora de acero inoxidable, malla textil fina, estufa de secado, plancha de calentamiento, recipientes, moldes de vidrio de 21×29 cm, probeta graduada de 500 mL con resolución de ± 5 mL, regla milimetrada, material de corte, soporte rígido, sujetadores y receptor de carga.

Procedimiento

1. Extracción de la fracción rica en almidón. Los 12 kg de cáscaras se lavan con agua destilada y se trituran con agua en relación volumétrica 1:1. La suspensión se filtra mediante una malla textil y el líquido se mantiene en reposo durante una hora. Se retira el sobrenadante por decantación y el sedimento se somete a cuatro ciclos de lavado con agua destilada. Posteriormente, se seca a 45°C durante 12 horas, se muele, tamiza y almacena en recipientes herméticos.

2. Elaboración de las láminas. Para cada unidad experimental se mezclan 9 g de material seco con 100 mL de agua destilada. Se incorporan las cantidades de ácido acético y glicerina indicadas en la Tabla 1. La mezcla se coloca a fuego bajo agitación manual hasta obtener un gel translúcido y viscoso; luego se vierte en moldes de 21×29 cm, con un área de 0.0609 m^2 , recubiertos con una capa delgada de aceite vegetal. Las láminas se mantienen durante 72 horas a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ antes del desmolde.

3. Estimación del espesor nominal. Cada lámina seca se pesa y el espesor nominal se estima relacionando su masa con el área del molde y una densidad de referencia de 1300 kg/m^3 . Debido a que la densidad no se determina experimentalmente y no se utiliza micrómetro, el resultado se informa como espesor nominal estimado.

4. Evaluación mecánica adaptada. Las láminas se cortan en probetas de forma rectangular, con un ancho de 2,5 cm y una longitud de 12 cm. Cada probeta se mantiene en posición vertical, con la parte superior unida a un soporte firme y la parte inferior conectada a un dispositivo receptor de carga. A la mezcla se le incorpora agua destilada lenta y uniformemente hasta que se rompe y se anota el peso acumulado.

La ASTM D882-26 es solamente una referencia técnica, ya que está destinada a películas plásticas con un grosor menor de 1 mm. El método preserva el uso de probetas rectangulares y la dirección axial de carga, aunque no utiliza una máquina universal ni produce una velocidad constante de separación. Por lo tanto, no se trata de una prueba normalizada ASTM y sus resultados se presentan en términos de esfuerzo y fuerza nominal de rotura ([ASTM International, 2026](#)).

Análisis de datos

Se muestran los resultados en términos de media, coeficiente de variación y desviación estándar. Se utiliza un ANOVA de una vía con $\alpha = 0,05$ para realizar la comparación de las formulaciones. Levene, que se basa en la mediana, es el método utilizado para analizar si las varianzas son homogéneas, y Shapiro-Wilk es el que se emplea para determinar si los residuos son normales. Se utiliza Tukey HSD cuando se encuentran diferencias en el ANOVA. Las evaluaciones se llevan a cabo utilizando Python 3.12.13 y SciPy 1.17.0. En el análisis, no se toman en cuenta las filas promedio del registro; solamente se utilizan R1, R2 y R3 de cada tratamiento.

Consideraciones éticas

La investigación no incluye seres humanos, información personal, muestras clínicas ni experimentos con animales; por lo tanto, no necesita la aprobación de un comité ético ni consentimiento informado.



Los principios de veracidad de los datos, propiedad intelectual e integridad científica son respetados. Se manejan los reactivos y residuos de acuerdo con las medidas de seguridad del laboratorio.

Resultados

Rendimiento de extracción

Posterior al lavado, trituración, filtración, decantación y secado de los 12 kg de cáscaras de papa, se recuperaron 0,498 kg de una fracción seca rica en almidón.

Tabla 2

Balance de masa y rendimiento físico de extracción

Material	Masa (kg)	Rendimiento (%)
Cáscaras frescas de papa	12.000	100.00
Fracción seca rica en almidón	0.498	4.15

$$R = (0.498 \text{ kg} / 12.000 \text{ kg}) \times 100 = 4.15 \%$$

El rendimiento de 4.15 % representó la recuperación física de material seco respecto de la masa húmeda inicial. Este valor no correspondió a la pureza química del almidón, debido a que no se realizó un análisis composicional. El material obtenido permitió preparar las nueve unidades experimentales con dosis de 9 g.

Elaboración y espesor nominal

Las tres formulaciones permitieron obtener láminas después de 72 horas. El espesor nominal se estimó mediante $E = m/(\rho A)$, donde m correspondió a la masa seca, ρ a la densidad de referencia de 1300 kg/m^3 y A al área de 0.0609 m^2 .

Tabla 3

Masa seca y espesor nominal estimado de las láminas

Tratamiento	n	Masa seca (g) Media $\pm$ DE	CV (%)	Espesor (mm) Media $\pm$ DE	CV (%)	Tukey
M1	3	4.80 $\pm$ 0.10	2.08	0.0603 $\pm$ 0.0015	2.53	c
M2	3	27.70 $\pm$ 0.20	0.72	0.3497 $\pm$ 0.0025	0.72	a
M3	3	17.40 $\pm$ 0.20	1.15	0.2197 $\pm$ 0.0025	1.15	b

Nota. DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. Las letras de Tukey corresponden al espesor; letras distintas indican diferencias ($p < 0.05$).

El ANOVA mostró diferencias entre las formulaciones para la masa seca, $F(2,6) = 13154.33$; $p < 0.001$, y para el espesor nominal, $F(2,6) = 12600.09$; $p < 0.001$. Tukey separó los tres tratamientos: M2 presentó el mayor espesor, seguido de M3 y M1. En el análisis del espesor, Shapiro-Wilk no rechazó la normalidad de los residuos ($p = 0.310$) y Levene no rechazó la homogeneidad de varianzas ($p = 0.797$).

Comportamiento mecánico

La fuerza se calculó mediante $F = m \times 9.81 \text{ m/s}^2$. El esfuerzo nominal de rotura se obtuvo mediante $\sigma = F/A$, donde A correspondió al ancho inicial de $0,025 \text{ m}$ multiplicado por el espesor nominal estimado de cada probeta.

Tabla 4

Resultados del procedimiento adaptado de carga estática incremental

Tratamiento	n	Masa de agua (kg) Media $\pm$ DE	Fuerza (N) Media $\pm$ DE	Esfuerzo (MPa) Media $\pm$ DE	CV (%)	Tukey
M1	3	0.0203 $\pm$ 0.0015	0.199 $\pm$ 0.015	0.132 $\pm$ 0.007	4.97	c
M2	3	0.2500 $\pm$ 0.0050	2.452 $\pm$ 0.049	0.280 $\pm$ 0.004	1.43	b
M3	3	0.5500 $\pm$ 0.0100	5.395 $\pm$ 0.098	0.982 $\pm$ 0.007	0.68	a

Nota. El procedimiento fue manual, adaptado y no normalizado. Las letras de Tukey corresponden al esfuerzo nominal de rotura.

M3 registró la mayor masa de agua antes de la ruptura y alcanzó un esfuerzo nominal promedio de $0.982 \pm 0.007 \text{ MPa}$. M2 obtuvo $0.280 \pm 0.004 \text{ MPa}$ y M1 alcanzó $0.132 \pm 0.007 \text{ MPa}$. El ANOVA evidenció diferencias entre formulaciones, $F(2,6) = 17944.45$; $p < 0.001$. Tukey diferenció los tres tratamientos:



M3 (a), M2 (b) y M1 (c). Shapiro-Wilk no rechazó la normalidad de los residuos ($p = 0.304$) y Levene no rechazó la igualdad de varianzas ($p = 0.825$).

Tabla 5

Resumen de los análisis de varianza

Variable	F	gl	p	Shapiro-Wilk p	Levene p	Orden de Tukey
Masa seca	13154.33	2; 6	< 0.001	0.319	0.661	M2 > M3 > M1
Espesor nominal	12600.09	2; 6	< 0.001	0.310	0.797	M2 > M3 > M1
Esfuerzo nominal	17944.45	2; 6	< 0.001	0.304	0.825	M3 > M2 > M1

En resumen, el procesamiento hizo posible obtener un 4.15 % de material seco; M2 generó las láminas con mayor masa y grosor nominal, en cambio M3 evidenció la respuesta más alta ante la carga. Las tres formulaciones mostraron diferencias estadísticas en las variables fundamentales que se evaluaron.

Discusión

El rendimiento físico del 4.15 % corroboró que se pudo obtener una porción seca útil a partir de cáscaras frescas. Es necesario interpretar la magnitud teniendo en cuenta que la masa inicial contenía tejido no amiláceo y agua; por lo tanto, no es equivalente a pureza de almidón ni se puede comparar directamente con porcentajes específicos sobre base seca. [Charles et al. \(2022\)](#) y [Chauhan et al. \(2023\)](#) explican que el método de separación, la variedad de papa y la composición de la cáscara afectan a la cantidad de material disponible para producir películas. Como resultado, el rendimiento documenta el equilibrio físico del proceso, pero no su caracterización a nivel químico.

Las diferencias encontradas a partir de la masa seca y del espesor nominal demostraron que las formulaciones no produjeron láminas equivalentes. M2 fue 0.3497 ± 0.0025 mm; M3 fue 0.2197 ± 0.0025 mm, y M1 fue 0.0603 ± 0.0015 mm. Debido a la separación de Tukey, los tratamientos fueron diferentes entre sí. Esta versión coincide con algunos estudios que indican que el espesor de las láminas es consecuencia del contenido de sólidos, del tipo de plastificante utilizado y de las condiciones de secado ([Domene-López et al., 2019](#); [Figueroa-Lopez et al., 2024](#); [Luchese et al., 2017](#); [Luchese et al., 2018](#)). Por el contrario, el espesor se midió a partir de una densidad de referencia y no se midió directamente, por lo que la diferencia respondería también a la masa seca retenida de cada lámina.

El mayor espesor de M2 no se reflejó en una mayor respuesta mecánica. El esfuerzo nominal de rotura de M3 fue el más elevado, con 0.982 ± 0.007 MPa, superando estadísticamente a M2 y M1. La formulación M3 combinó 10 mL de ácido acético y 8 mL de glicerina, mientras que M2 mantuvo ácido acético pero con 4 mL de glicerina. La diferencia observada indica que una mayor cantidad de glicerina alteró la capacidad de la matriz para soportar la carga aplicada. Las investigaciones con películas plastificadas indica que la concentración de glicerina puede alterar movilidad de las cadenas, flexibilidad y resistencia aunque el sentido de aplicación de la variación dependerá de la matriz y de la proporción que se haya utilizado ([Wang et al., 2022](#); [Sirbu et al., 2024](#); [Tafa et al., 2023](#)).

El mayor espesor de M2 no se tradujo en una mayor respuesta mecánica. M3 alcanzó el mayor esfuerzo nominal de rotura, con 0.982 ± 0.007 MPa, y superó estadísticamente a M2 y M1. La formulación M3 combinó 10 mL de ácido acético y 8 mL de glicerina, mientras que M2 conservó el mismo ácido con 4 mL de glicerina. La diferencia observada sugiere que la mayor cantidad de glicerina modificó la capacidad de la matriz para soportar la carga aplicada. Estudios con películas plastificadas muestran que la concentración de glicerina puede cambiar la movilidad de las cadenas, la flexibilidad y la resistencia, aunque la dirección del efecto depende de la matriz y de la proporción empleada ([Wang et al., 2022](#); [Sirbu et al., 2024](#); [Tafa et al., 2023](#)).

La interpretación previa debe ser considerada como una explicación verosímil, no como una demostración de un mecanismo a nivel molecular. La investigación no llevó a cabo mediciones de la microestructura, la humedad, la cristalinidad, el módulo elástico ni la elongación. [Chemiru y Gonfa \(2023\)](#) y [Frangopoulos et al. \(2023\)](#) revelan que la reacción de las películas puede verse, además, influenciada por el relleno, la temperatura de secado y la composición total. Adicionalmente, las tres formulaciones no son un diseño factorial completo porque no incluyen la combinación de 8 mL de glicerina y 2 mL de ácido acético. Por lo tanto, el efecto principal del ácido y el de la glicerina, así como su interacción, no pueden ser desglosados estadísticamente.



Los valores que se han obtenido no son directamente comparables con la resistencia a la tracción reportada en estudios instrumentales. Mojo-Quisani et al. (2024), Imoisili y Jen (2024) y Sultan et al. (2024) emplearon equipos o condiciones que regulaban la velocidad de deformación y otros factores del experimento. En este estudio, la carga se aplicó de forma manual a través de un incremento progresivo del agua. El sistema no supervisó la velocidad de separación ni registró elongación, pese a que mantuvo una dirección axial y posibilitó comparar las formulaciones usando el mismo método. Por lo tanto, la expresión correcta es esfuerzo nominal de rotura en lugar de resistencia a la tracción certificada.

El ANOVA mostró altos valores F debido a que la diferencia entre las medias fue significativa en comparación con la variación dentro de cada tratamiento. Las pruebas de Levene y Shapiro-Wilk no evidenciaron incumplimiento de los supuestos al nivel de significancia de 0.05. No obstante, la cantidad de repeticiones fue pequeña y estas pruebas contaron con una capacidad reducida para identificar desviaciones. El DCA posibilitó una comparación preliminar entre tratamientos; sin embargo, para su confirmación se necesita un número más elevado de lotes autónomos y un control más riguroso de la temperatura, la humedad y la velocidad de carga.

Desde una perspectiva práctica, esta investigación ha mostrado que puede ser empleado un método muy sencillo y de bajo coste para la obtención de películas experimentales a partir de los residuos alimentarios locales. El rendimiento óptimo de la formulación M3 hace que esta sea la más adecuada para seguir haciendo pruebas, pero los resultados aún no demuestran su viabilidad comercial ni su biodegradabilidad, ni mucho menos el rendimiento como material de envasado. Jayarathna et al. (2022), Singh et al. (2022) y Gurunathan et al. (2025) señalan que un material destinado al envasado también debe evaluarse en cuanto a su absorción de agua, permeabilidad, estabilidad térmica y comportamiento durante el almacenamiento.

El principal punto fuerte fue la realización de tres réplicas independientes por formulación y su análisis mediante ANOVA y la prueba de Tukey. Las principales limitaciones fueron la medición indirecta del espesor, el tamaño de la muestra de tres unidades por tratamiento, el procedimiento mecánico no estandarizado y la ausencia de un diseño factorial completo. En futuras investigaciones, se recomienda medir el espesor con un micrómetro en múltiples puntos, acondicionar las probetas, aumentar el número de lotes y realizar el ensayo utilizando una máquina de ensayo universal de conformidad con la norma ASTM D882-26 (ASTM International, 2026). También se recomienda evaluar la combinación de reactivos que falta e incluir ensayos de alargamiento, absorción, permeabilidad y biodegradación.

En general, los resultados mostraron que el espesor y la respuesta mecánica estaban relacionados con la formulación de diferentes maneras. La formulación M2 produjo la lámina con mayor espesor nominal, mientras que la M3 soportó la tensión más alta antes de la rotura. Esta diferencia confirma que una lámina más gruesa no presentaba necesariamente la mejor respuesta mecánica y respalda la selección de la formulación M3 para la posterior validación instrumental.

Conclusiones

El procesamiento de 12 kg de cáscaras frescas de papa permite recuperar 0.498 kg de una fracción seca rica en almidón, equivalente a un rendimiento físico de 4.15 %. Este valor representa recuperación de material seco y no pureza química del almidón.

Las formulaciones producen diferencias significativas en masa seca y espesor nominal. M2 presenta el mayor espesor estimado, con 0.3497 ± 0.0025 mm, seguida de M3 con 0.2197 ± 0.0025 mm y M1 con 0.0603 ± 0.0015 mm. El resultado cumple el objetivo de comparar físicamente las láminas obtenidas.

M3 presenta la mayor respuesta dentro del procedimiento adaptado, con un esfuerzo nominal de rotura de 0.982 ± 0.007 MPa; M2 alcanza 0.280

± 0.004 MPa y M1 obtiene 0.132 ± 0.007 MPa. El ANOVA y Tukey confirman diferencias entre los tres tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis de que las formulaciones difieren en las variables evaluadas.

El estudio aporta un procedimiento accesible para valorizar cáscaras de papa y seleccionar una formulación candidata. No obstante, el cálculo indirecto del espesor y la aplicación manual de carga limitan la comparación con ensayos normalizados. Se recomienda validar M3 con una máquina universal conforme a ASTM D882-26, incrementar las repeticiones y evaluar propiedades de barrera, absorción de agua, elongación y biodegradabilidad antes de proponer una aplicación.



Scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

5.2

ABRIL - JUNIO
2026

Artículo Original
37 - 45

Evaluación de Propiedades Mecánicas de Bioplásticos Elaborados con Cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) en Tacna, Perú
Jean F. Yendo Zeballos
ORCID: 0009-0009-6816-7978

Thania J. Serrano Yucra
ORCID: 0009-0007-4336-8103

Alesandra del R. Guillermo Apaza
ORCID: 0009-0007-9016-8550

<https://doi.org/10.61325/t9gkzr68>



Referencias

- Agudelo-Zamudio, C., Argoty-Ortegón, J. E., Torres-Vargas, O. L., & Alonso-Gómez, L. (2023). Efecto de las modificaciones con ácido acético e hidróxido de calcio sobre las propiedades funcionales y reológicas del almidón de ñame (*Dioscorea esculenta* L.). *Tecnológicas*, 26(58). <https://www.redalyc.org/journal/3442/344275988007/html/>
- Alarcón Caverro, H. A., & Arroyo Benites, E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 315–323. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i3.92>
- ASTM International. (2026). ASTM D882-26: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. <https://doi.org/10.1520/D0882-26>
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2018). How glycerol and water contents affect the structural and functional properties of starch-based edible films. *Polymers*, 10(4), 412. <https://doi.org/10.3390/polym10040412>
- Charles, A. L., Motsa, N., & Abdillah, A. A. (2022). A comprehensive characterization of biodegradable edible films based on potato peel starch plasticized with glycerol. *Polymers*, 14(17), 3462. <https://doi.org/10.3390/polym14173462>
- Chauhan, A., Islam, F., Imran, A., Ikram, A., Zahoor, T., Khurshid, S., & Shah, M. A. (2023). A review on waste valorization, biotechnological utilization, and management of potato. *Food Science & Nutrition*, 11(10), 5773–5785. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3546>
- Chemiru, G., & Gonfa, G. (2023). Preparation and characterization of glycerol plasticized yam starch-based films reinforced with titanium dioxide nanofiller. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100300>
- Domene-López, D., García-Quesada, J. C., Martin-Gullon, I., & Montalbán, M. G. (2019). Influence of starch composition and molecular weight on physicochemical properties of biodegradable films. *Polymers*, 11(7), 1084. <https://doi.org/10.3390/polym11071084>
- Farahnaky, A., Saberi, B., & Majzoobi, M. (2013). Effect of glycerol on physical and mechanical properties of wheat starch edible films. *Journal of Texture Studies*, 44, 176–186. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12007>
- Figueroa-Lopez, K. J., Villabona-Ortiz, Á., & Ortega-Toro, R. (2024). Sustainable starch-based films from cereals and tubers: A comparative study on cherry tomato preservation. *Polymers*, 16(20), 2913. <https://doi.org/10.3390/polym16202913>
- Frangopoulos, T., Marinopoulou, A., Goulas, A., Likotrafiti, E., Rhoades, J., Petridis, D., Kannidou, E., Stamelos, A., Theodoridou, M., Arampatzidou, A., Tosounidou, A., Tsekmes, L., Tsichlakis, K., Gkikas, G., Tourasanidis, E., & Karageorgiou, V. (2023). Optimizing the functional properties of starch-based biodegradable films. *Foods*, 12(14), 2812. <https://doi.org/10.3390/foods12142812>
- Gurunathan, M. K., Navasingh, R. J. H., Selvam, J. D. R., & Čep, R. (2025). Development and characterization of starch bioplastics as a sustainable alternative for packaging. *Scientific Reports*, 15, 15264. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00221-0>
- Imoisili, P. E., & Jen, T. C. (2024). Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch; effect of glycerol as plasticizer. *Materials Today: Proceedings*, 105, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.565>
- Jayarathna, S., Andersson, M., & Andersson, R. (2022). Recent advances in starch-based blends and composites for bioplastics applications. *Polymers*, 14(21), 4557. <https://doi.org/10.3390/polym14214557>
- Li, W., Zu, B., Yang, Q., Guo, J., & Li, J. (2023). Sources, distribution, and environmental effects of microplastics: A systematic review. *RSC Advances*, 13(23), 15566–15574. <https://doi.org/10.1039/d3ra02169f>
- Luchese, C. L., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2017). Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. *Industrial Crops and Products*, 109, 619–626. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.020>
- Luchese, C. L., Benelli, P., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2018). Impact of the starch source on the physicochemical properties and biodegradability of different starch-based films. *Journal of Applied Polymer Science*, 135, 46564. <https://doi.org/10.1002/app.46564>
- Meegoda, J. N., Chande, C., & Bakshi, I. (2025). Biodigesters for sustainable food waste management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(3), 382. <https://doi.org/10.3390/ijerph22030382>
- Merino, D., Paul, U. C., & Athanassiou, A. (2021). Bio-based plastic films prepared from potato peels using mild acid hydrolysis followed by plasticization with a polyglycerol. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100707. <https://doi.org/10.1016/j.fpl.2021.100707>



Scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

5.2

ABRIL - JUNIO
2026

Artículo Original
37 - 45

Evaluación de Propiedades Mecánicas de Bioplásticos Elaborados con Cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) en Tacna, Perú
Jean F. Yendo Zeballos
ORCID: 0009-0009-6816-7978

Thania J. Serrano Yucra
ORCID: 0009-0007-4336-8103

Alesandra del R. Guillermo Apaza
ORCID: 0009-0007-9016-8550
<https://doi.org/10.61325/t9gkzr68>



[org/10.1016/j.fpsl.2021.100707](https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100707)

Mojo-Quisani, A., Ccallo-Silva, D. A., Choque-Quispe, D., Calla-Florez, M., Ligarda-Samanez, C. A., Comettant-Rabanal, R., Mamani-Condori, R., & Huamani-Meléndez, V. J. (2024). Development of edible films based on Nostoc and modified native potato starch and their physical, mechanical, thermal, and microscopic characterization. *Polymers*, 16(17), 2396. <https://doi.org/10.3390/polym16172396>

Prieto-Ortiz, R. G. (2023). Contaminación ambiental por plásticos durante la pandemia y sus efectos en la salud humana. *Revista Colombiana de Cirugía*, 38(1), 22–29. <https://doi.org/10.30944/20117582.2203>

Rahardiyan, D., Moko, E. M., Tan, J. S., & Lee, C. K. (2023). Thermoplastic starch (TPS) bioplastic, the green solution for single-use petroleum plastic food packaging—A review. *Enzyme and Microbial Technology*, 168, 110260. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2023.110260>

Sares, L. A. C., Cabrera, G. A., Arias-Toro, D., & Bravo, V. P. B. (2023). Efecto del glicerol como plastificante en películas de almidón de maíz modificado. *Journal of Science and Research*. 8(4), 186-204. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2966>

Singh, G. P., Bangar, S. P., Yang, T., Trif, M., Kumar, V., & Kumar, D. (2022). Effect on the properties of edible starch-based films by the incorporation of additives: A review. *Polymers*, 14(10), 1987. <https://doi.org/10.3390/polym14101987>

Sirbu, E.-E., Dinita, A., Tîrnase, M., Portoac, A.-I., Bondarev, A., Enascuta, C.-E., & Calin, C. (2024). Influence of plasticizers concentration on thermal, mechanical, and physicochemical properties on starch films. *Processes*, 12(9), 2021. <https://doi.org/10.3390/pr12092021>

Sultan, A., Sultan, H., Shahzad, W., Kareem, A., Liaqat, A., Ashraf, Z., Shahid, A., Rauf, A., Saeed, S., Mehmood, T., Zahra, M., Soto-Bubert, A., & Acevedo, R. (2024). Comparative analysis of physical and mechanical properties of starch-based bioplastic derived from the pulp and peel of potatoes. *Journal of the Indian Chemical Society*, 101(10), 101301. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2024.101301>

Tafa, K. D., Satheesh, N., & Abera, W. (2023). Mechanical properties of tef starch based edible films: Development and process optimization. *Heliyon*, 9(2), e13160. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13160>

Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-

based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1079–1089. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>

Wang, B., Xu, X., Fang, Y., Yan, S., Cui, B., & Abd El-Aty, A. M. (2022). Effect of different ratios of glycerol and erythritol on properties of corn starch-based films. *Frontiers in Nutrition*, 9, 882682. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.882682>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Financiación

Todos los costos asociados a la realización de este estudio fueron cubiertos por el autor. No se recibió financiación, subvención ni patrocinio externo.

Nota del editor

La revista Scienceevolution mantiene una posición neutral respecto a posibles reclamaciones jurisdiccionales derivadas de mapas publicados o afiliaciones institucionales.

© El/Los autor(es) 2026. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0 (CC BY 4.0), que permite el uso, la distribución, la adaptación y la reproducción en cualquier medio o formato, siempre que se otorgue el crédito adecuado al/los autor(es) y a la fuente, se incluya un enlace a la licencia y se indique si se han realizado cambios.

Las imágenes u otro material de terceros incluidos en este artículo están cubiertos por la licencia Creative Commons del artículo, salvo que se indique lo contrario en una línea de crédito. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons y el uso previsto no está permitido por la legislación vigente o excede el uso permitido, será necesario obtener autorización directamente del titular de los derechos.

Puede consultarse una copia de la licencia en: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

La renuncia a la dedicación al dominio público de Creative Commons (CC0 1.0; <http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) Se aplica a los datos disponibles en este artículo, salvo indicación contraria en la línea de crédito correspondiente.

