

Elaboración y caracterización de bioplásticos a partir de cáscaras de yuca (*Manihot esculenta*) para la envoltura de alimentos

*Development and characterization of bioplastics from cassava (*Manihot esculenta*) peels for food packaging*

María Gladys Yautibug Cepeda*
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
gladys.yautibug@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-6322-5866>

Roberto Salomón Villamarín Guevara
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
rvillamarin@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1613-1446>

*Correspondencia:
gladys.yautibug@unach.edu.ec

Cómo citar este artículo:

Yautibug, M., & Villamarín, R. (2025). Elaboración y caracterización de bioplásticos a partir de cáscaras de yuca (*Manihot esculenta*) para la envoltura de alimentos. *Esprint Investigación*, 4(2), 77-93. <https://doi.org/10.61347/ei.v4i2.146>

Recibido: 3 de junio de 2025

Aceptado: 5 de julio de 2025

Publicado: 10 de julio de 2025

Resumen: Esta investigación tuvo como objetivo elaborar y caracterizar un bioplástico a partir de cáscara de yuca para la envoltura de alimentos, evaluando sus propiedades físico-mecánicas y su biodegradabilidad. El estudio empleó un diseño experimental con enfoque cuantitativo y se desarrolló en dos fases. En la primera fase, se optimizó la extracción del almidón mediante un diseño factorial 2^2 , evaluando dos niveles de velocidad (6 800 y 20 000 rpm) y tiempo de licuado (45 y 60s). En la segunda fase, se formuló el bioplástico utilizando un segundo diseño factorial 2^2 , variando las concentraciones de almidón (2 y 3 g) y glicerina (0,5 y 1,0 mL). Se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y de biodegradabilidad del material resultante, así como su eficacia en la conservación de alimentos. Los resultados indicaron que el mayor rendimiento de almidón (17,58 %) se obtuvo a una velocidad de 20 000 rpm y un tiempo de 60s. La formulación que combinó 3 g de almidón con 0,5 mL de glicerina presentó las mejores propiedades mecánicas, destacándose una elongación del 64,59 %. Además, se demostró que el material obtenido exhibió una excelente biodegradabilidad, con una degradación del 100 % en medio acuoso y del 54,5 % en suelo tras 28 días. El bioplástico elaborado a partir de cáscara de yuca mostró eficacia en la conservación de alimentos, al mantener la calidad de una frutilla durante siete días. Esto confirma su viabilidad como material sostenible y permite establecer parámetros óptimos para su producción, posicionándolo como un posible sustituto ecológico del plástico convencional.

Palabras clave: Almidón, biodegradabilidad, bioplástico, cáscara, yuca.

Abstract: This research aimed to develop and characterize a bioplastic from cassava peel for food packaging, evaluating its physical-mechanical properties and biodegradability. The study employed an experimental design with a quantitative approach and was carried out in two phases. In the first phase, starch extraction was optimized using a 2^2 factorial design, evaluating two levels of blending speed (6,800 and 20,000 rpm) and blending time (45 and 60 seconds). In the second phase, the bioplastic was formulated using another 2^2 factorial design, varying starch concentrations (2 and 3 g) and glycerin volumes (0.5 and 1.0 mL). The physicochemical, mechanical, and biodegradability properties of the resulting material were characterized, along with its effectiveness in preserving food. The results showed that the highest starch yield (17.58%) was obtained at 20,000 rpm and 60 seconds. The formulation combining 3 g of starch with 0.5 mL of glycerin exhibited the best mechanical properties, notably achieving an elongation of 64.59%. In addition, the resulting material demonstrated excellent biodegradability, with 100% degradation in water and 54.5% in soil after 28 days. The bioplastic made from cassava peel proved effective in food preservation, maintaining the quality of a strawberry for seven days. This confirms its viability as a sustainable material and allows the establishment of optimal production parameters, positioning it as a potential ecological substitute for conventional plastic.

Copyright: Derechos de autor 2025 María Gladys Yautibug Cepeda, Roberto Salomón Villamarín Guevara.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Keywords: Biodegradability, bioplastic, cassava, peel, starch.

1. Introducción

En las últimas décadas, la creciente preocupación por los efectos adversos de los plásticos derivados del petróleo en el medio ambiente ha impulsado la búsqueda de materiales alternativos sostenibles. Bonilla-Duarte et al. (2024) señalan que la producción y el uso excesivo de estos plásticos han alcanzado cifras alarmantes, contribuyendo significativamente a la acumulación de residuos en ecosistemas terrestres y acuáticos. Además, advierten que, de no tomarse medidas urgentes, esta cifra podría triplicarse para el año 2050. De manera similar, Culqui-Sánchez et al. (2024) afirman que los plásticos convencionales no solo representan un riesgo ambiental, sino también una amenaza para la salud humana, debido a la liberación de sustancias químicas nocivas durante su uso y descomposición. Esta situación ha impulsado el desarrollo de materiales de envasado que sean tanto funcionales como ambientalmente responsables.

Ante esta problemática, los bioplásticos se presentan como una alternativa sostenible debido a su capacidad de biodegradación y su menor impacto ambiental. En este contexto, la yuca (*Manihot esculenta*), un tubérculo ampliamente cultivado en regiones tropicales, destaca como una fuente viable para la producción de bioplásticos, gracias a su alto contenido de almidón y su abundante disponibilidad. Según Anzorena et al. (2024), el almidón puro no solo constituye una fuente importante de energía, sino que también aporta vitaminas y minerales esenciales, lo que lo convierte en un recurso versátil con aplicaciones tanto alimenticias como industriales.

Aunque la cáscara de yuca suele considerarse un residuo agroindustrial, su composición la convierte en un recurso valioso para la elaboración de bioplásticos. En este sentido, Quintanilla et al. (2024) señalan que el aprovechamiento de esta materia prima no solo contribuye a la reducción de desechos agroindustriales, sino que también promueve un enfoque sostenible en la gestión de recursos, mitigando los impactos ambientales asociados con los plásticos derivados del petróleo. Además, este subproducto contiene una proporción significativa de almidón, fibra insoluble y minerales esenciales como calcio, fósforo y potasio, junto con compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes (Vélez et al., 2021).

Diversos estudios han explorado la aplicación del almidón extraído de cáscaras de yuca para la fabricación de bioplásticos, combinándolo con plastificantes como glicerina y quitosano para mejorar sus propiedades mecánicas y de biodegradabilidad (Cuyubamba & Quispe, 2024; Gómez, 2024; Lizarzaburu & Baca, 2022). Así mismo la investigación realizada por Vélez et al. (2021) ha demostrado que la incorporación de recursos naturales, como fibra de celulosa y nanopartículas de óxido de zinc, contribuye a mejorar la resistencia térmica y la estabilidad estructural de los bioplásticos, ampliando su potencial de aplicación en la industria del embalaje y la conservación de alimentos. Por otro lado, los residuos de yuca, debido a su composición química, pueden ser aprovechados en el desarrollo de nuevos materiales con valor agregado, contribuyendo a la mitigación de problemas ambientales (Bayona et al., 2022).

Por otro lado, se ha evidenciado que la combinación del almidón con polímeros biodegradables como el poliácido láctico (PLA) y el polihidroxialcanoato (PHA) mejora la resistencia mecánica y la estabilidad frente a la humedad, lo que incrementa su viabilidad como sustituto de los plásticos convencionales en envases ecológicos (Loayza, 2021). Asimismo, Picho et al. (2024) indican que la adición de extractos antioxidantes naturales, derivados de subproductos agrícolas, no solo mejora la estabilidad del bioplástico, sino que también le confiere propiedades antimicrobianas, aumentando su aplicabilidad en el envasado de productos perecederos. De manera similar, Bernal (2024) ha demostrado que el uso de almidón termoplástico mezclado con fibras de bagazo de caña refuerza las propiedades mecánicas del material, haciéndolo más resistente a la tracción y a la elongación.

El desarrollo de bioplásticos a partir de residuos agroindustriales ofrece una solución eficiente para la gestión de desechos, a la vez que se alinea a los principios de la economía circular. En este sentido, Sánchez et al. (2022) considera que la producción de bioplásticos sostenibles a partir de harina de cáscara de yuca, aborda la problemática de la contaminación plástica mediante la creación de materiales biodegradables que comparten características con los plásticos convencionales, pero con un menor impacto ambiental.

Finalmente, el presente estudio tiene como objetivo elaborar y caracterizar un bioplástico a partir de cáscara de yuca para la envoltura de alimentos, evaluando sus propiedades físico-mecánicas y su biodegradabilidad. Esta investigación busca contribuir a la sostenibilidad en la industria alimentaria, promoviendo al mismo tiempo la adopción de materiales biodegradables que reduzcan el impacto ambiental. En este contexto, el desarrollo de bioplásticos a partir de recursos renovables, como la cáscara de yuca, se presenta como una alternativa viable y sostenible para disminuir el uso de plásticos convencionales, cuya contaminación por residuos no biodegradables es un problema creciente. Además, esta propuesta optimiza el aprovechamiento de subproductos agroindustriales y fomenta una economía circular que impulsa la innovación en el diseño de empaques ecológicos.

2. Metodología

El presente estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo con diseño experimental de corte transversal, puesto que se centra en la extracción de almidón y la formulación de bioplásticos a partir de cáscaras de yuca (*Manihot esculenta*) en un tiempo determinado. Para llevar a cabo la investigación, se emplearon los materiales, reactivos y equipos descritos en la tabla 1.

Tabla 1

Insumos utilizados

Materiales	Reactivos	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Recipiente plástico con tapa • Cernidor • Bandeja de vidrio • Varilla de agitación • Probeta • Mortero y pistilo • Papel aluminio • Caja Petri • Espátula • Breaker de 100 ml • Software estadístico 	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido acético • Glicerina • Agua destilada • Almidón de cáscara de la yuca 	<ul style="list-style-type: none"> • Licuadora • Cronómetro • Desecador • Balanza analítica • Termómetro • Hot plate • Estufa con circulación de aire • Cámara fotográfica • Micrómetro • Shaker • Centrífuga

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

La fase de experimentación se desarrolló en condiciones controladas de laboratorio, en donde se mantuvo una temperatura estable entre 22 y 25 °C y una humedad relativa del 50-60%, evitando la absorción de humedad por parte del almidón. Además, se utilizaron equipos de precisión, como balanzas analíticas ($\pm 0,001$ g), hornos de secado a 105 °C, viscosímetros y espectrofotómetros, asegurando mediciones exactas en la caracterización del almidón. Para la formulación del bioplástico,

se emplearon reactivos de alta pureza, incluyendo agua destilada, ácido acético al 1% y glicerina. Se aplicaron metodologías analíticas estandarizadas para evaluar su espesor, resistencia mecánica, solubilidad y biodegradabilidad, estas condiciones permitieron un control riguroso de las variables experimentales, asegurando la validez de los resultados obtenidos, garantizando la repetibilidad y confiabilidad de los procedimientos.

La selección de la muestra fue intencional y dirigida, se utilizaron cáscaras de yuca amarilla (*Manihot esculenta*) provenientes del mercado local de la ciudad de Riobamba; La Condamine, asegurando homogeneidad en la materia prima utilizada, la elección de esta población se fundamentó en la disponibilidad del producto, su representatividad en el consumo local, así como la viabilidad de acceso a una materia prima fresca y condiciones óptimas para el experimento. Además, para los ensayos experimentales, las muestras se distribuyeron de manera aleatoria dentro de cada tratamiento, siguiendo el diseño factorial 2², con el fin de minimizar posibles sesgos y garantizar la representatividad de los resultados. Las variables de estudio se presentan en la tabla 2.

Tabla 2*Variables de estudio*

Variable	Tipo de dato	Cantidad de muestras
Rendimiento del almidón (%)	Numérica continua	16
Espesor del bioplástico (mm)	Numérica continua	16
Resistencia a la tracción (mpa)	Numérica continua	16
Permeabilidad al agua (%)	Numérica continua	16
Biodegradabilidad (%)	Numérica continua	16
Velocidad de molienda (rpm)	Numérica discreta	2 niveles
Tiempo de procesamiento (s)	Numérica discreta	2 niveles

Recolección de información

La obtención de datos se realizó mediante experimentación en laboratorio, estructurada en dos fases principales:

1. Extracción y caracterización del almidón

El almidón fue extraído de cáscaras de yuca mediante decantación vía húmeda utilizando muestras previamente molidas y asegurando su separación eficiente. Se aplicó un diseño factorial 2² para evaluar el efecto de la velocidad de molienda (6 800 y 20 000 rpm) y el tiempo de procesamiento (45 y 60s) en el rendimiento del almidón. Posteriormente, se realizaron análisis físico-químicos conforme a normativas AOAC, FAO e INIAP, determinando humedad, ceniza, solubilidad, pH, fibra, proteínas, viscosidad, temperatura de gelatinización, amilosa y amilopectina. Estos parámetros permitieron caracterizar el almidón y evaluar su viabilidad en la formulación de bioplásticos.

2. Formulación y caracterización de bioplásticos

Se formularon bioplásticos utilizando almidón en concentraciones de 2 y 3 g y glicerina (0,5 y 1 mL) como plastificante. Las muestras obtenidas se caracterizaron mediante la evaluación de espesor,

resistencia a la tracción, solubilidad en agua y biodegradabilidad, con el fin de determinar su desempeño estructural y su potencial aplicación como material biodegradable.

Procesamiento y análisis de datos

1. Tipos de datos

Los datos recopilados fueron de tipo numérico continuo y discreto; se aplicaron métodos estadísticos apropiados que permitieron identificar de forma precisa y rigurosa el efecto individual y combinado de las variables independientes sobre las propiedades del bioplástico.

2. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante pruebas estadísticas para evaluar la influencia de los factores experimentales. Se utilizó un diseño multifactorial 22 que permitió analizar el efecto de la velocidad de molienda y el tiempo de procesamiento en la extracción del almidón, así como el impacto de la concentración de almidón y glicerina en las propiedades del bioplástico. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia de las variables independientes. Cada tratamiento se replicó tres veces para asegurar la precisión de las mediciones, además, se realizó un remuestreo Bootstrap con 1000 iteraciones para estimar intervalos de confianza al 95% y verificar la estabilidad de los resultados. Para validar la confiabilidad estadística, se aplicaron pruebas avanzadas como Shapiro-Wilk para normalidad, Bartlett para homocedasticidad e independencia de residuos mediante la prueba de Durbin-Watson.

Evaluación del bioplástico en la conservación de alimentos

Para evaluar la eficacia al bioplástico se realizó una prueba de conservación como material de envoltura, comparando una muestra de frutilla recubierta con bioplástico frente a otra sin envoltura durante un período de siete días. Se analizaron variaciones en textura, color y presencia de microorganismos para determinar su capacidad de protección. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis sensorial, en el que se evaluaron textura, olor y apariencia del alimento cubierto con bioplástico, con el fin de determinar su impacto en la calidad del producto almacenado.

Pruebas de biodegradabilidad

Para evaluar la biodegradabilidad del bioplástico se evaluó el material en el suelo, agua y ambiente durante un período de 28 días, siguiendo los criterios establecidos en la norma ASTM D-5338. La degradación se cuantificó mediante la pérdida de masa y área de las muestras, registrando mediciones en intervalos de 7 días para analizar la tasa de descomposición en cada condición evaluada, en agua T1, T2, T3, T4 (espacio después de cada coma) su degradación es 100%, en tierra T1 54,50%; T2 43,50%; T3 50,50%; T4 48,25%, en el ambiente entre el T1, T2, T3 1,25% y T4 1,00% de la degradación.

Pruebas mecánicas

La resistencia mecánica del bioplástico se evaluó mediante ensayos de tracción conforme a la norma INEN 2637, con el propósito de determinar su capacidad para resistir fuerzas externas sin fracturarse. Adicionalmente, se midió la elongación, con la finalidad de analizar el grado de estiramiento del material antes de su ruptura, para valorar su flexibilidad. Los resultados obtenidos mostraron variaciones significativas entre tratamientos: T1 32,93%, T2 6,08%, T3 64,59%, y T4 21,54%, indicando que el tratamiento T3 ofreció el mejor desempeño mecánico en términos de elasticidad.

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, se llevaron a cabo pruebas estadísticas para la validación de modelos. Se aplicó la prueba de homocedasticidad de Barlett para verificar la igualdad de varianzas entre tratamientos, asegurando la validez del ANOVA. Asimismo, se utilizó la prueba de independencia de residuos de Durbin-Watson con el fin de descartar la autocorrelación en los errores de los modelos de regresión. Finalmente, se realizó un análisis de normalidad mediante las pruebas de Shapiro-Wilk, determinando si los datos presentan una distribución normal, requisito fundamental para la aplicación de modelos estadísticos paramétricos.

3. Resultados

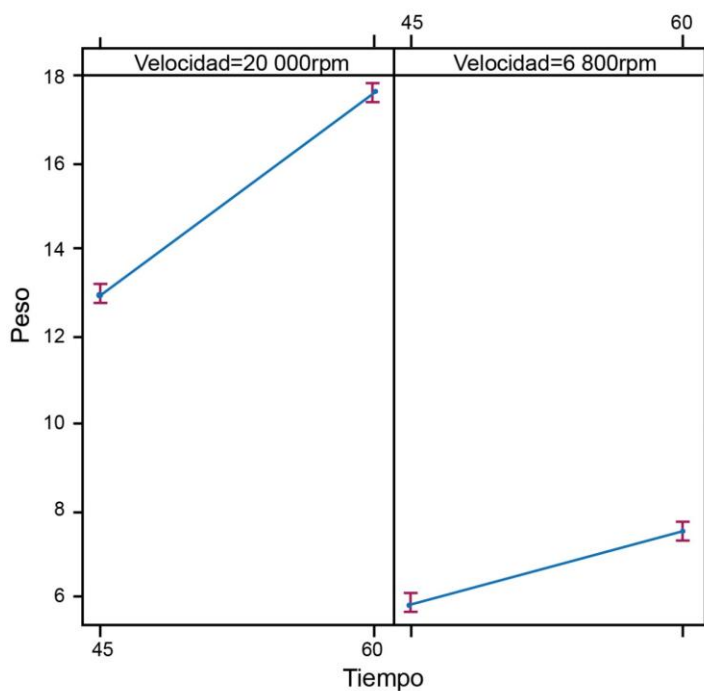
En este estudio, se lograron avances significativos en las dos áreas principales analizadas: la extracción de almidón de la cáscara de yuca y la formulación de bioplásticos a partir de este almidón. Los resultados obtenidos en ambos procesos se analizaron mediante diseños factoriales 2², lo que permitió evaluar el efecto de dos factores clave en cada caso.

Extracción de Almidón

En el proceso de extracción de almidón se evaluaron dos factores principales: la velocidad de licuado (rpm) y el tiempo de licuado (s). Los resultados mostraron que ambos factores, así como su interacción, tienen un efecto altamente significativo sobre el rendimiento del almidón, tal como se observa en la figura 1. En particular, respecto a la velocidad de licuado (Factor A), se encontró que al aumentar la velocidad a 20 000 rpm, el rendimiento de almidón fue significativamente mayor (17,581 g) en comparación con la velocidad más baja de 6 800 rpm, que produjo un rendimiento de 5,899 g. Este hallazgo indica que la velocidad de licuado es un factor determinante para maximizar la extracción de almidón.

Figura 1

*Efectos del Tiempo * Velocidad de licuado*



Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

En cuanto al tiempo de licuado (Factor B), un mayor período de procesamiento (60s) también demostró un impacto positivo en el rendimiento del almidón, con valores de 7,585 g a 6 800 rpm y 17,581 g a 20 000 rpm. Esto indica que un tiempo de licuado más prolongado facilita una mayor liberación de almidón de la cáscara de yuca.

La tabla 3 presenta los resultados del análisis del rendimiento de almidón obtenido mediante el diseño factorial 2², destacando que el tratamiento T2 (20 000 rpm y 60s) fue el más eficiente, con un rendimiento promedio del 17,58%, seguido por el tratamiento T1 con un 12,95%. Estos valores se encuentran dentro del rango de eficiencia aceptable reportado por Bernal (2024) y Cardona et al. (2024), quienes establecen un intervalo entre 13% y 20% para la extracción de almidón. El análisis ANOVA confirmó que la velocidad, el tiempo y su interacción tienen un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la variable respuesta. Además, la prueba de Tukey indicó que el tratamiento T2 difiere significativamente de los demás ($p < 0,05$), lo que valida su superioridad en términos de rendimiento.

Tabla 3*Rendimiento de almidón por tratamiento*

Tratamiento	Velocidad (rpm)	Tiempo (s)	Rendimiento promedio (%)
T1	6 800	45	12,95
T2	6 800	60	17,58
T3	20 000	45	5,90
T4	20 000	60	7,58

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Interacción AB: La interacción entre la velocidad y el tiempo de licuado fue significativa (p -valor = 0,0000) tabla 4, lo que sugiere que el efecto de la velocidad en el rendimiento del almidón depende del tiempo de licuado y viceversa. Este hallazgo fue importante porque resalta la necesidad de optimizar ambos factores de manera conjunta para maximizar el rendimiento.

Tabla 4*Resultados de análisis de varianza de la extracción del almidón*

Fuente	Suma de cuadrado	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón- F	P- valor
Efectos principales					
A: Velocidad	290,822	1	290,822	9114,16	0,0000
B: Tiempo de licuado	39,854	1	39,854	1249,00	-0,0000
INTERACTIONS					
AB	8,66419	1	8,66419	271,53	0,0000
RESIDUAL	0,382906	12	0,0319088		
TOTAL (CORRECTED)	339,723	15			

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Los análisis estadísticos adicionales realizados para validar los resultados, como la prueba de Shapiro-Wilk (figura 2), indicaron que los residuos no siguen una distribución normal (p-valor = 0,002099), lo que sugiere que los datos podrían no cumplir con uno de los supuestos fundamentales del análisis de varianza (ANOVA), afectando potencialmente la validez de las conclusiones estadísticas. Para abordar esta situación, se aplicó un remuestreo Bootstrap que garantizó y respaldó la validez de los resultados obtenidos (ver tabla 5). Por otro lado, las pruebas de homocedasticidad de Bartlett (figura 3), con un p-valor de 0,9948, y de independencia mediante Durbin-Watson, con un p-valor de 0,937, confirmaron la validez del modelo estadístico empleado.

Tabla 5

Remuestreo x1000 iteración (Bootstrap)

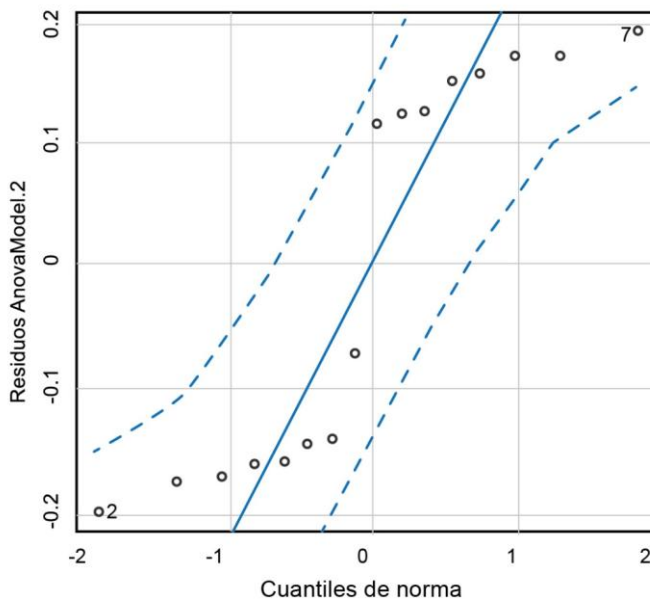
Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Media Remuestreada (g)	Intervalo de Confianza IC Inferior (2.5% percentil)	Intervalo de Confianza IC Superior (97.5% percentil)
6.8	45	5.899	5.734	6.063
6.8	60	7.585	7.436	7.732
20.0	45	12.952	12.820	13.089
20.0	60	17.581	17.423	17.742

Nota: 95% intervalo de confianza (2.5% menos 97.5%). Si se repitiera el experimento 1000 veces, el 95% de las medias remuestreadas caerían en los rangos inferiores y superiores descritos en la tabla.

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Figura 2

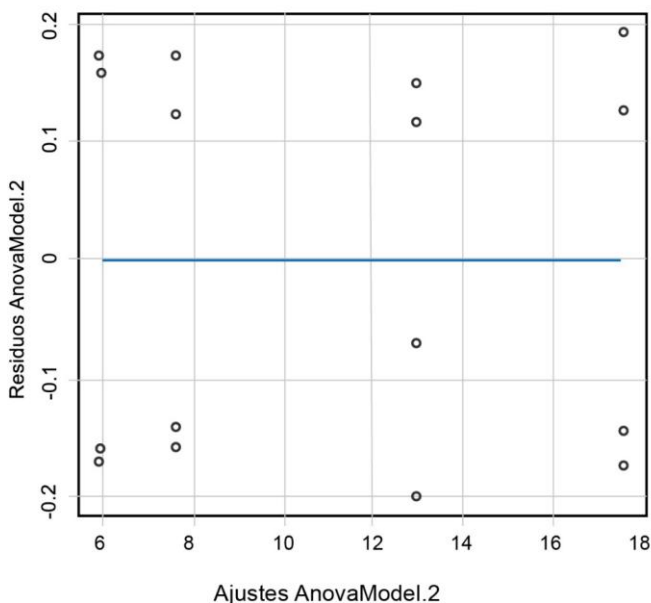
Shapiro-Wilk para la Normalidad de la extracción del almidón



Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Figura 3

Bartlett para la Homocedasticidad de la extracción del almidón



Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Los parámetros fisicoquímicos del almidón extraído (tabla 6), se ubicaron dentro de los estándares internacionales, la humedad fue de 1,73%; la ceniza 0,060%; el pH 6,01 y la solubilidad 1,24% todos aceptables según normas AOAC y FAO. La viscosidad obtenida 625,83 fue inferior al mínimo recomendado de 840, lo cual puede atribuirse al origen del almidón ósea de la cáscara de yuca. Los análisis microbiológicos confirmaron la inocuidad del material.

Tabla 6

Análisis físico-químico del almidón

Nº	Parámetros	Unidades	Valor	Estándar	Norma / institución
1	Humedad	%	1,73	1,0 – 13	(AOAC 2000)
2	Ceniza	%	0,060	0,12	(FAO 2007)
3	Solubilidad	%	1,24	0,27 - 12,32	(Anderson et al, 1969)
4	pH		6,010	6,0 - 6,5	(FAO 2007)
5	Fibra	%	0,263	0,03 - 0,30	(FAO 2007)
6	Proteína	%	0,248	0,2 - 0,40	(FAO 2007)
7	Viscosidad		625,83	840-1500	(ISI 2002)
8	Tem. de gelatinización	°C	63	57,5 – 70,0	(Grace M 1997)
9	Amilosa	%	37,38	92 -96	(MO-LSAIA-04 INIAP)

10	Amilopectina	%	62,62	17 – 24	(MO-LSAIA-04 INIAP)
11	Hongos	UPC/g	0	1000 – 5000 UFC/g	(ICONTEC 1997)
12	Levaduras y mohos	UPC/g	10	1000 – 5000 UFC/g	(FAO 2007)
13	Coliformes totales	UPC/g	0	5,0x10 ²	(FAO 2007)

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Formulación de Bioplásticos

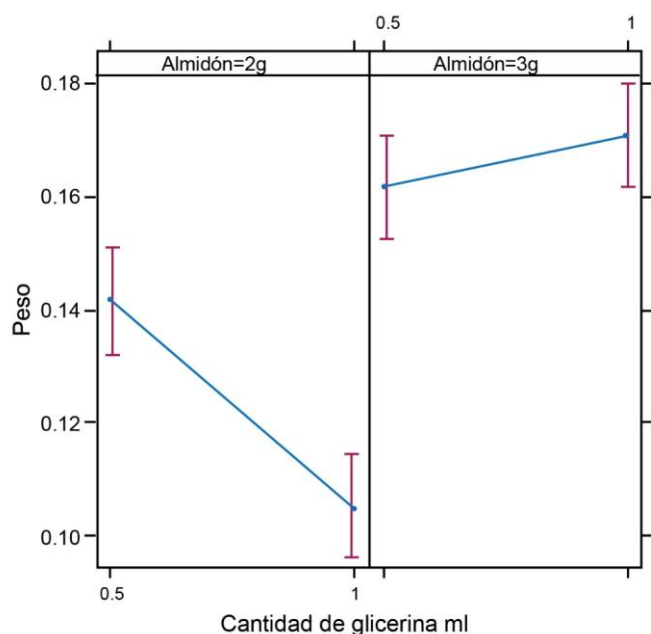
En la formulación del bioplástico, se evaluaron dos factores principales: la cantidad de almidón y la cantidad de glicerina, los resultados mostraron que ambos factores, así como su interacción, tienen un efecto significativo en las propiedades del bioplástico, particularmente en su peso (ver figura 4).

Cantidad de almidón (Factor A): Este factor tuvo un impacto altamente significativo en el peso del bioplástico (p -valor = 0,0000), es decir; que a mayor contenido de almidón (3 g) resultó en un bioplástico más pesado, lo que sugiere que el almidón es un componente clave en la estructura del material.

Cantidad de glicerina (Factor B): La glicerina también mostró un efecto significativo, aunque menos pronunciado que el almidón (p -valor = 0,0086). Una mayor cantidad de glicerina (1 mL) tendió a reducir el peso del bioplástico, posiblemente debido a una mayor flexibilidad y menor densidad del material.

Figura 4

Efectos Cantidad de almidón * Cantidad de glicerina



Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

La tabla 7 muestra la formulación que se evaluó mediante el diseño factorial 22 con variables cantidad de almidón (2 y 3 g) y glicerina (0,5 y 1 mL), la prueba ANOVA evidenció que ambas variables y su interacción influyeron significativamente en el peso del bioplástico ($p < 0,05$). La prueba de Tukey determinó que el tratamiento T3 (3 g de almidón y 0,5 mL de glicerina) difiere significativamente de

los demás tratamientos, presentando el mayor espesor y peso, así como una elongación de 64,59%, superior al resto de formulaciones.

Tabla 7

Características físicas del bioplástico

Tratamiento	Almidón (g)	Glicerina (mL)	Peso (g)	Espesor (mm)	Elongación (%)
T1	2	1	0,105	0,15	32,93
T2	2	0,5	0,142	0,155	6,08
T3	3	1	0,171	0,21	64,59
T4	3	0,5	0,162	0,22	21,54

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Interacción AB: La interacción entre la cantidad de almidón y la cantidad de glicerina fue significativa con un valor p-valor = 0,0002 (ver tabla 8), lo que indica que el efecto de la cantidad de almidón en el peso del bioplástico depende de la cantidad de glicerina utilizada. Este hallazgo clave para optimizar la formulación del bioplástico, puesto que resalta la importancia de equilibrar ambos componentes.

Tabla 8

Resultado de análisis de varianza de formulación del bioplástico

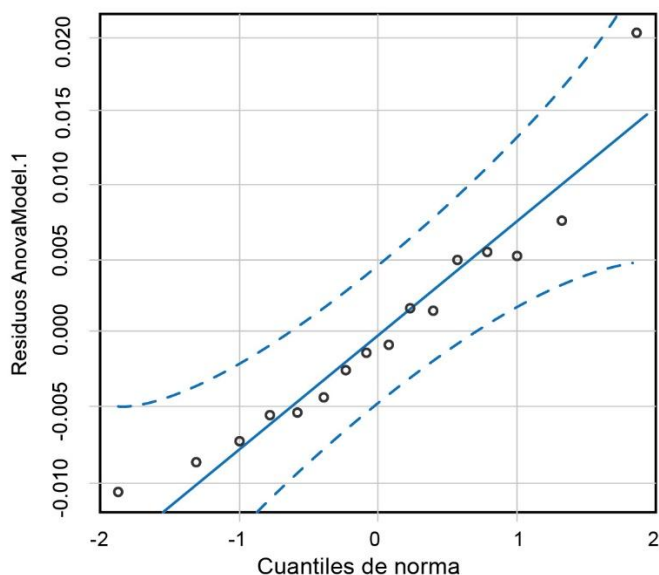
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón- F	P-valor
Efectos principales					
A: Cantidad de almidón	0,00731025	1	0,00731025	98,62	0,0000
B: Cantidad de glicerina	0,000729	1	0,000729	9,83	0,0086
INTERACTIONS					
AB	0,00207025	1	0,00207025	27,93	0,0002
RESIDUAL	0,0008895	12	0,000074125		
TOTAL (CORRECTED)	0,010999	15			

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Además, se realizaron pruebas de normalidad Shapiro-Wilk (figura 5), p-valor = 0,2386, homocedasticidad Bartlett, p-valor = 0,1769 (figura 6) como se muestra en las gráficas 4 y 5 e independencia Durbin-Watson, p-valor = 0,2147 para validar el modelo estadístico utilizado en la formulación del bioplástico, estos análisis respaldaron la robustez de los resultados obtenidos.

Figura 5

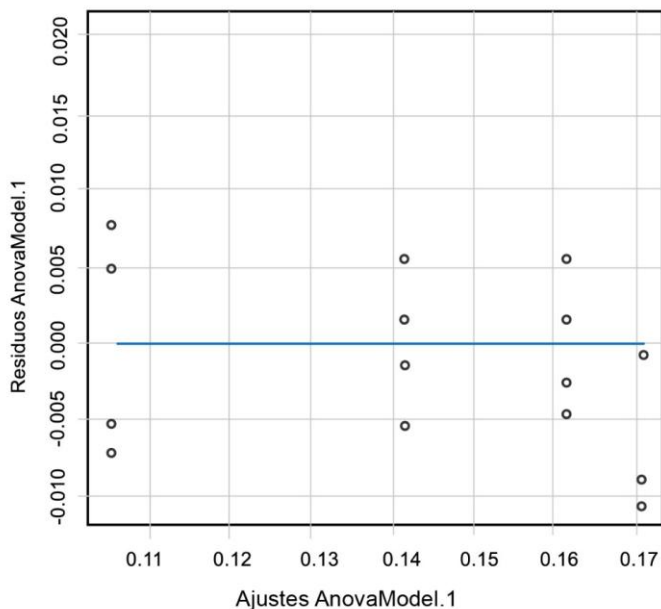
Shapiro-Wilk para la Normalidad de la formulación del bioplástico



Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Figura 6

Bartlett para la Homocedasticidad de la formulación del bioplástico



Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

El bioplástico obtenido presentó humedades entre 0,26% y 0,44%, solubilidad del 37% al 50%, y permeabilidad de vapor entre 0,347 y 0,536, en cuanto a biodegradabilidad (tabla 9), el tratamiento T1 mostró la mayor degradación en suelo (54,5%) y en agua (100%) al día 28, en el ambiente la degradación fue menor (hasta 1,25%). La frutilla envuelta con bioplástico mantuvo una textura firme, olor dulce y sabor agradable, mientras que la frutilla sin envoltura mostró deshidratación, moho y alteración del sabor, lo que confirma la efectividad del material como envoltura biodegradable.

Tabla 9*Resultados de la biodegradabilidad del bioplástico (día 28)*

Medio	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)
Suelo	54,5	43,5	50,5	48,25
Agua	100	100	100	100
Ambiente	1,25	1,25	1,25	1,00

Nota. Elaborado por Yautibug (2025)

Los hallazgos de esta investigación están en línea con investigaciones previas que destacan la importancia de los factores de procesamiento en la extracción de almidón y la formulación de bioplásticos, sin embargo, este estudio aporta nuevos conocimientos al cuantificar el efecto de la interacción entre los factores y al explorar el uso de la cáscara de yuca, un subproducto agrícola, como fuente de almidón para bioplásticos. A continuación, se discute cómo los resultados de este estudio se relacionan con investigaciones recientes y cómo contribuyen al campo de los materiales sostenibles.

4. Discusión

Estudios previos han evidenciado que la velocidad de licuado y el tiempo de procesamiento son factores determinantes para maximizar el rendimiento del almidón. Investigaciones como las de Proaño (2021), Cuenca (2022) y Robalino (2022) coinciden en que una mayor velocidad de licuado, combinada con un tiempo de procesamiento más prolongado, mejora significativamente la eficiencia en la extracción de almidón. Estos hallazgos se alinean con los resultados del presente estudio, donde se determinó que una velocidad de 20 000 rpm y un tiempo de licuado de 60 segundos generaron el mayor rendimiento de almidón (17,581 g).

Sin embargo, este estudio va un paso más allá al cuantificar el efecto de la interacción entre la velocidad y el tiempo de licuado, un aspecto que no había sido explorado en profundidad en investigaciones anteriores. Este hallazgo resulta relevante, dado que indica que la optimización conjunta de ambos factores es esencial para maximizar el rendimiento del almidón. Este enfoque se alinea con los estudios de Jácome et al. (2024) y Cedeño y Zambrano (2021), quienes analizaron la extracción de almidón a partir de residuos agrícolas y concluyeron que la interacción entre la velocidad de agitación y el tiempo de procesamiento influye de manera significativa en la eficiencia del proceso.

Además, estudios recientes como el de Bernal (2024) han explorado el uso de subproductos agrícolas, como el maíz y el bagazo de caña, para la extracción de almidón. Este autor destaca que dichos residuos representan una fuente prometedora de almidón debido a su alto contenido de carbohidratos y su disponibilidad como desecho agrícola. Los resultados del presente estudio respaldan estas afirmaciones, al demostrar que es posible extraer almidón de manera eficiente mediante el método de decantación vía húmeda, lo que abre nuevas oportunidades para la valorización de residuos agroindustriales.

En cuanto a la formulación de bioplásticos, los resultados de este estudio coinciden con investigaciones previas que señalan que tanto la cantidad de almidón como la de glicerina son factores determinantes en las propiedades mecánicas y físicas del material. Por ejemplo, Yus (2022) y Anzorena et al. (2024) encontraron que un mayor contenido de almidón incrementa la resistencia del bioplástico, mientras que la glicerina, al actuar como plastificante, contribuye a mejorar su flexibilidad.

Este estudio confirma dichos hallazgos, al evidenciar que un mayor contenido de almidón (3 g) dio como resultado un bioplástico más pesado y resistente, mientras que una mayor cantidad de glicerina (1 mL) redujo el peso del material, posiblemente debido al aumento en su flexibilidad. Además, este trabajo aporta nuevos conocimientos al cuantificar el efecto de la interacción entre la cantidad de almidón y la cantidad de glicerina, aspecto que no había sido explorado en profundidad en investigaciones anteriores. Este hallazgo es consistente con el estudio de Bernal (2024), quien investigó la formulación de bioplásticos a partir de almidón de maíz y concluyó que la interacción entre el almidón y los plastificantes influye significativamente en las propiedades mecánicas del material.

A nivel internacional, estudios recientes han explorado el uso de diversas fuentes de almidón y plastificantes para la formulación de bioplásticos. Por ejemplo, Cardona et al. (2024) investigaron la utilización de almidón de papa y glicerina, y encontraron que la cantidad de glicerina influye significativamente en la permeabilidad y la biodegradabilidad del material. Estos resultados son consistentes con los hallazgos del presente estudio, en el que se evidenció que la cantidad de glicerina afecta directamente el peso y la flexibilidad del bioplástico.

Además, Sánchez et al. (2022) exploraron el uso de almidón de yuca para la producción de bioplásticos y determinaron que la temperatura de gelatinización y la viscosidad del almidón son factores clave en su formulación. Estos hallazgos coinciden con los resultados del presente estudio, en el que se observó que la temperatura de gelatinización del almidón extraído de la cáscara de yuca fue de 63 °C, valor que se encuentra dentro del rango reportado en la literatura científica.

Limitaciones

A pesar de los resultados prometedores, este estudio tiene algunas limitaciones que deben ser consideradas para una interpretación adecuada de los hallazgos y para guiar futuras investigaciones. Estas limitaciones se relacionan con aspectos metodológicos, estadísticos y de aplicabilidad en condiciones reales. Una de las principales limitaciones de este estudio es que la prueba de Shapiro-Wilk indicó que los residuos del modelo de extracción de almidón no siguen una distribución normal (p-valor = 0,002099). Esto sugiere que los datos podrían no cumplir con uno de los supuestos clave para el análisis de varianza (ANOVA), lo que podría afectar la validez de las conclusiones estadísticas.

Aunque el diseño factorial 2², utilizado en este estudio permitió evaluar la interacción entre los factores (velocidad y tiempo de licuado en la extracción de almidón, y cantidad de almidón y glicerina en la formulación del bioplástico), este enfoque se limitó a dos niveles por factor, esto podría no capturar completamente la variabilidad del proceso, especialmente si existen efectos no lineales o si los factores tienen un rango óptimo que no se encuentra dentro de los niveles evaluados.

Otra limitación importante es que las pruebas de biodegradabilidad del bioplástico se realizaron en condiciones controladas de laboratorio, lo que podría no reflejar completamente el comportamiento del material en condiciones ambientales reales. Es posible que factores como la eficiencia energética, la disponibilidad de materias primas y los costos de producción varíen significativamente en un entorno industrial. Finalmente, aunque se realizaron pruebas de espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad en el bioplástico, no se exploraron en profundidad otras propiedades importantes como la estabilidad térmica.

5. Conclusiones

Este estudio demostró con éxito la viabilidad de extraer almidón de la cáscara de yuca, un subproducto agrícola, y utilizarlo para formular bioplásticos sostenibles. Se identificó que una mayor velocidad de licuado (20 000 rpm) y un tiempo de procesamiento más prolongado (60s) maximizan el rendimiento de almidón, alcanzando 17,581 g, mientras que la interacción entre estos factores resaltó la necesidad de optimizar ambos parámetros de manera conjunta. En la formulación del bioplástico, la cantidad de almidón y glicerina influyeron significativamente en las propiedades del material, con un mayor contenido de almidón mejorando la resistencia y la glicerina aumentando la flexibilidad.

Aunque la falta de normalidad en los residuos del modelo de extracción de almidón fue una limitación, las pruebas de homocedasticidad, independencia y el análisis de remuestreo (Bootstrap) respaldaron la robustez de los resultados. Además, las pruebas de biodegradabilidad en condiciones controladas mostraron que el bioplástico se degrada significativamente en agua y suelo, sugiriendo su potencial como material sostenible. Estos hallazgos no solo confirman el potencial de la cáscara de yuca como fuente de almidón para bioplásticos, sino que también proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones industriales, contribuyendo a la economía circular y reduciendo la dependencia de plásticos derivados del petróleo.

Referencias

- Anzorena, H., Noguerol, I., López, O., & Ninago, M. (2024). Mejora de las características finales de películas biodegradables de almidón, mediante el uso de un diseño multifactorial. *Revista de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (RevICAp)*, 4(2). <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/revicap/article/view/8406>
- Bayona, C., León, L., & Cepeda, M. (2022). Aprovechamiento de los subproductos agroindustriales de la cadena productiva de la yuca (manihot esculenta): una revisión. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 20(1), 92–112. <https://doi.org/10.24054/limentech.v20i1.1658>
- Bernal, E. (2024). *Elaboración de materiales biodegradables a partir de una matriz de almidón reforzada con fibras de celulosa de bagazo de caña* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa]. Repositorio de la Universidad Autónoma de Sinaloa. http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB_UAS/757
- Bonilla-Duarte, S., Rosario, L., Arias, Y., Valcárcel, A., Uzcanga, I., & Urbaneja, M. (2024). XXXI Semana de la Geografía 2024. *Cambio climático: una amenaza global al bienestar humano y a la salud del planeta*. Santo Domingo: Plan LEA, Editora Listín Diario. <https://bvearmb.do/handle/123456789/5045>
- Cardona, A., Gómez, W., & Amórtegui, E. (2024). Evaluación de la Eficacia de las Bolsas Biodegradables a partir del Almidón de la Papa (*Solanum Tuberosum*). *Erasmus Semilleros de Investigación*, 9(1), 33–40. <https://journalusco.edu.co/index.php/erasmus/article/view/4246/4985>
- Cedeño, N., & Zambrano, J. (2021). *Diseño de una línea de producción para la obtención de bioplásticos aprovechando los residuos del café a escala industrial en la ciudad de Quevedo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://acortar.link/asLHfU>
- Cuenca, R. (2022). *Identificación de las variables de proceso para la síntesis de plástico biodegradable del almidón del arroz de cebada (*Hordeum vulgare*) para el uso en el embalaje de alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17715>

- Culqui-Sánchez, M., Villacis-Barrazueta, J., & Rosales-Cedeño, K. (2024). Micro y nanoplasticos y su influencia en la salud humana. *Gaceta Médica Estudiantil*, 5(2), e440. <https://revgacetaestudiantil.sld.cu/index.php/gme/article/view/440>
- Cuyubamba, L., & Quispe, M. (2024). *Cuyubamba Hilario, L. M., & Quispe Quinto, M. (2024). Efecto de los plastificantes sobre la biodegradabilidad y propiedades mecánicas del bioplástico a partir de almidón de cáscara de Musa Sp.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/11743>
- Gómez, J. (2024). *Desarrollo y caracterización de polímeros de alto rendimiento medioambiental derivados de residuos agroindustriales y aditivos de origen renovable* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. <https://acortar.link/bzRb3k>
- Jácome, C., García, S., Chela, J., & Altuna, J. (2024). Avances recientes para la obtención sostenible de biopolímeros a partir de almidones: una revisión. *Studies in engineering and exact sciences*, 5(2), e9153. <https://doi.org/10.54021/seesv5n2-330>
- Lizarzaburu, J., & Baca, R. (2022). *Revisión sistemática: Evaluación de los métodos para la generación de bioplástico* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/111827>
- Loayza, M. (2021). *Polímeros biodegradables como alternativa para reducir la producción y el consumo de productos elaborados con plástico* [Tesis de Pregrado, Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tb.2021.1711>
- Picho, G., Gutierrez, D., Alvarado, D., & Larrea, C. (2024). Bioplásticos-Una alternativa para reducir la contaminación: RSL. *Revista de investigación científica TAYACAJA*, 7(1), 20-31. <https://acortar.link/BkHuoK>
- Proaño, V. (2021). *Obtención de una película a partir de cáscara de mango (Mangifera indica) para el uso en alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16936>
- Quintanilla, M., Rosado, G., & Arias, M. (2024). Producción de bioplásticos sostenibles a partir de harina de cáscara y pulpa de yuca (Manihot esculenta). *Reincisol*, 3(6), 819-836. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)819-836](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)819-836)
- Robalino, P. (2022). *Elaboración de un bioplástico a partir de almidón de arveja amarilla (Vicia lutea) para uso en embalaje de alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17764>
- Sánchez, N., May, K., Hernández, B., Arceo, D., & Huitz, G. (2022). Obtención y caracterización de bioplásticos a partir del almidón "Manihot". *ECTI, Experiencias Científicas, Tecnológicas y de Innovación*, 2(1). <https://ojs.valladolid.tecnm.mx/index.php/CongresoNacional/article/view/78>
- Vélez, C., Zambrano, X., Delgado, M., Burgos, G., & Cedeño, C. (2021). Almidones de Cáscara de Yuca (Manihot Esculenta) y Papa (Solanum Tuberosum) para Producción de Bioplásticos: Propiedades Mecánicas y Efecto Gelatinizante. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 137-152. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v6i2.3293
- Yus, J. (2022). Plástico biodegradable. *Revista Ingenia Materiales*, 4, 91-91. https://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/4937

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

María Gladys Yautibug Cepeda: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Roberto Salomón Villamarín Guevara: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.