

## Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de la tusa de maíz (*Zea mays*)

### Obtaining biodegradable plastic from corn cob starch (*Zea mays*)

Junior-Jesús Solórzano-Vélez<sup>a</sup>, María Ximena Vargas-Delgado<sup>a</sup>, Wilmer Hernán Ponce Saltos<sup>b</sup>, Ernesto Alonso Rosero Delgado<sup>a</sup>, María Antonieta Riera<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

<sup>b</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Portoviejo, Ecuador.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10155718>

Recibido: 26/08/2022

Aceptado: 02/12/2022

#### Resumen

Se describe el proceso de obtención de plástico biodegradable a partir de almidón extraído de la tusa de maíz. Inicialmente se caracteriza el residuo, se extrae el almidón para su caracterización y se formula el bioplástico. Se plantea un diseño de experimentos con cantidades variables de almidón (4, 5, 6 g) y una cantidad fija de plastificante (2 g). Con los resultados se establece un segundo diseño experimental con una cantidad fija de almidón (5 g) y distintas cantidades de plastificante (1,50 - 2,50 g). El bioplástico con mejor apariencia física y resistencia al tacto se evaluó en términos de humedad, densidad, solubilidad, espesor, propiedades mecánicas y biodegradabilidad. El bioplástico mostró un 16,69 % de humedad; 0,93 g/mL de densidad; 57,79 % de solubilidad en agua; 0,63 mm de espesor y 31,92 % de pérdida de peso en el ensayo de biodegradabilidad. Los parámetros con mayor relevancia fueron: baja densidad, alta solubilidad del material y el porcentaje de peso perdido en el ensayo de biodegradabilidad. Los resultados permiten señalar que el material obtenido, de ser mejorado, puede emplearse en la fabricación de productos ligeros o bien, como recubrimiento de materiales que requieran ser solubilizados rápidamente.

**Palabras clave:** almidón termoplástico, bioplásticos, residuos agrícolas, revalorización de residuos.

Código UNESCO: 230416 – Análisis de Polímeros. Código CAPE: 30603170 – Polímeros.

#### Abstract

A biodegradable plastic was obtained from starch extracted from corn cob. Initially the residue was characterized, the starch was extracted for its characterization and the bioplastic was formulated. An experimental design was proposed, with a variable amount of starch (4, 5, 6 g) and a fixed amount of plasticizer (2 g). Using the results obtained, a second experimental design was established with a fixed amount of starch (5 g) and different amounts of plasticizer (1,50 – 2,50 g). The bioplastic with the best physical appearance and resistance to touch was evaluated in terms of humidity, density, solubility, thickness, mechanical properties and biodegradability. The bioplastic showed 16,69 % humidity; 0,93 g/mL density; 57,79 % solubility in water; 0,63 mm thick and 31,92 % weight loss in the biodegradability test. The most relevant parameters were: low density, high solubility of the material and the percentage of weight lost in the biodegradability test. As a result, the material obtained, if improved, can be used in the manufacture of light products or, as a coating for materials that need to be quickly solubilized.

**Keywords:** thermoplastic starch, bioplastics, agricultural waste, revaluation of waste.

UNESCO Code: 230416 - Polymer Analysis. CAPE Code: 30603170 – Polymer.

**PUBLICACIONES EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**, revista científica de publicación continua, dos números al año, editada en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) en la ciudad de Barquisimeto, Venezuela, bajo la Licencia CC BY-NC-SA. ISSN:1856-8890, EISSN:2477-9660. Depósitos legales: pp200702LA2730, ppi201402LA4590.

#### \*Autor de correspondencia

**Junior-Jesús Solórzano-Vélez.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0138-3061>, correo: jsolorzano6350@utm.edu.ec. Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

**María Ximena Vargas-Delgado.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5264-0179>, correo: ximena12@hotmail.es. Ingeniero Químico egresada de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

**Wilmer Hernán Ponce Saltos.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4250-5184>, correo: wilmer.ponce@iniap.gob.ec. Ingeniero Químico, Maestría en Ingeniería Agrícola, Responsable del laboratorio de bromatología y calidad, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, Ecuador.

**Ernesto Alonso Rosero Delgado.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8878-8522>, correo: ernesto.rosero@utm.edu.ec. Ingeniero Agroindustrial, Doctor en Ciencias Técnicas. ViceDecano de la Carrera de Biotecnología, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

**María Antonieta Riera\*.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7195-2821>, correo: maria.riera@utm.edu.ec. Ingeniero Industrial, Maestría en Ingeniería Química, Profesora en la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

## **1. Introducción**

La industria del plástico desde sus inicios ha manifestado un rápido crecimiento, en el desarrollo de materiales destinados a envase y embalaje, con buenas características mecánicas, bajo costo y capaces de mantener las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del alimento que contiene [1]. Los plásticos convencionales se producen a partir de reservas fósiles de energía [2], y dada su estructura química son materiales que perduran en la naturaleza por largos períodos de tiempo, causando acumulación en los ecosistemas [3-4].

Esta situación ha ocasionado problemas ambientales, debido a los daños asociados y es por ello que, en los últimos años, ha surgido el interés por investigar los bioplásticos de origen natural como alternativas de reemplazo a los plásticos tradicionales [5]. Los bioplásticos son materiales que pueden ser biobasados, biodegradables o cumplir con ambas características. Los biodegradables tienen como ventaja sobre los convencionales, debido a su capacidad de degradarse en compuestos que no dañan el medio ambiente [3], tales como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, biomasa y minerales.

Los bioplásticos pueden obtenerse a partir de cultivos de poliéster microbiano, almidón, celulosa, entre otros recursos de origen renovable [6]. El almidón es una de las principales materias primas consideradas para su elaboración, debido a su alta disponibilidad, bajo costo, carácter renovable, biodegradabilidad y económicamente competitivo en relación con el petróleo [7]. Sin embargo, es un recurso que compite con otros usos, teniendo aplicaciones diversas que van desde mejorar la textura y consistencia en alimentos, hasta la manufactura de papel, y adhesivos. Adicionalmente, por ser utilizada en la alimentación humana, resulta necesario encontrar fuentes de extracción que no pongan en riesgo la seguridad alimentaria [8].

Un recurso útil para tal fin son los residuos agrícolas, los cuales tienen una variedad de compuestos susceptibles de ser revalorizados. Se estima que los cereales son los cultivos con mayor cantidad de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo. En particular, el cultivo del maíz produce grandes volúmenes de residuos; del total de la planta sólo el 50 % corresponde a grano, mientras que el otro 50 % está integrado por hojas, cañas y tusas [9]. La tusa es el residuo que se genera durante el proceso de cosecha y separación de granos de maíz, tiene bajo valor comercial y poco uso [10].

Investigaciones previas reportan el uso de residuos del maíz como componente en películas plásticas basadas en almidón [11], como sustrato en la obtención de bioplástico de origen microbiano [12] y como material de relleno para impartir resistencia en productos bioplásticos [13]. En este sentido, se desarrolló el presente trabajo con el propósito de evaluar el uso de la tusa de maíz como materia prima en la obtención de bioplástico.

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Materiales y métodos**

#### *a. Obtención de la materia prima*

Las tusas de maíz se recolectaron en la provincia de Manabí, Ecuador. Se descartaron las que se encontraron en mal estado y se trasladaron a las instalaciones del laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

#### *b. Caracterización fisicoquímica de la materia prima*

Se caracterizó el residuo utilizado en función al contenido de humedad, cenizas, grasa, celulosa, lignina y extraíbles. El contenido de humedad se realizó mediante determinación gravimétrica [14], para lo cual se pesó 1 g de muestra, se sometió a calentamiento en una estufa por un periodo de 16 h y luego se cuantificó la pérdida de peso usando la ecuación (1).

$$\%Humedad = \frac{Pesodemuestrahúmeda - pesodemuestraseca}{pesodemuestraseca} * 100\% \quad (1)$$

El contenido de cenizas se realizó mediante el método oficial de la AOAC 2000 [15-16] para lo cual se tomó la muestra en un crisol de porcelana previamente lavado, secado en un horno y pesado. Luego se colocó en la mufla a incinerar a 550 °C durante 3,5 h, para así enfriar el crisol y las cenizas en un desecador. Posteriormente se pesó el crisol con las cenizas y se calculó mediante la ecuación (2).

$$\%Cenizas = \frac{Pesodelascenizas(g)}{Pesodelamuestra(g)} * 100\% \quad (2)$$

El contenido porcentual de grasa se determinó por el método gravimétrico, de acuerdo al procedimiento descrito por Vera y Chavarría [17], con modificaciones. Se pesó 2 g de muestra en un papel filtro, se selló la muestra y se introdujo en el balón previamente tarado al cual se le adicionó 200 mL de hexano. Se procedió a la extracción en el equipo Soxhlet con una temperatura de 75 °C, durante 4 h. El residuo se llevó a estufa por 1 h a 105 °C, se enfrió en el desecador por 25 min y se pesó. Los cálculos respectivos se realizaron empleando la ecuación (3).

$$\%Grasa = \frac{Pesodelamuestradespuesdeestufa}{Pesodelamuestra} * 100\% \quad (3)$$

Para determinar el contenido de celulosa, se tomó 1 g de muestra, se añadieron 15 mL de ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) al 80 % (v/v), 1,5 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y se llevó a agitación constante por 20 min. La muestra tratada se filtró y el residuo se lavó con etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), se secó en un horno a una temperatura de 100-105 °C durante 90 min y se pesó (material A). Luego se incineró a 540 °C (material B) dejando que se enfriara a temperatura ambiente en un desecador y posteriormente se pesó [18]. El porcentaje de celulosa se determinó a través de la ecuación (4).

$$\%Celulosa = \frac{materialA - materialB}{Pesodelamuestra} * 100\% \quad (4)$$

La lignina se calculó de acuerdo con el procedimiento descrito por Van Soest y Wine [18]. Se tomó 1 g de muestra seca, se añadieron 70 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 1,25 % (v/v). La mezcla se llevó a agitación constante por 2 h, se filtró y lavó con agua destilada. A este material se le añadieron 30 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 72 % (v/v) y se llevó a agitación constante durante 4 h. Luego se filtró, lavó con agua destilada, y secó a (100 – 105 °C) por un período de 2 h y se pesó (material C). Después el material se incineró a 540 °C, se enfrió a temperatura ambiente en un desecador y se pesó (material D). El contenido porcentual de lignina se calculó con la ecuación (5).

$$\%Lignina = \frac{materialC - materialD}{Pesodelamuestra} * 100\% \quad (5)$$

La determinación de los extraíbles se realizó mediante el proceso señalado por Maldonado [19], con modificaciones. Se tomaron 12 g de la muestra previamente tamizada, seca y se colocó en el dedal del sistema de extracción Soxhlet, manteniendo una relación  $\frac{3}{4}$  de solvente con respecto al balón. La extracción se realizó con n-Hexano durante 5 h; luego se secó el contenido del dedal (libre de extraíble) por 48 h a temperatura ambiente. Después se transfirió el material a un crisol previamente tarado, se pesó y se secó en una estufa a 100 ± 5 °C durante 2 h. Se transfirió la muestra a un desecador durante 15 min y se pesó. Para calcular el porcentaje de extraíble se realizó mediante la ecuación (6).

$$\%Extraibles = \frac{12 - P.M.}{12} * 100\% \quad (6)$$

donde P.M. es el peso de la muestra libre de extraíbles, en gramos.

c. *Extracción del almidón de la tusa de maíz*

La extracción del almidón de la tusa de maíz se inició seleccionando y cortando las tusas de maíz en pedazos más pequeños. Posteriormente, se realizó la molienda en un molino de cuchilla modelo TE-680 tipo Wiley, con un flujo de molido de 2,05 kg/h. A continuación, se procedió a macerar las tusas de maíz molida con agua destilada por un período de 24 h, con la finalidad de decantar el almidón y luego realizar una filtración a través de un medio mecánico poroso para separar los desechos generados de la materia prima y conseguir una suspensión de los almidones. El proceso de secado del almidón se efectuó en una estufa a 60 °C. Finalmente, el material obtenido, se trituró y tamizó en un tamiz ASTM E11 malla N° 60 – 250 µm, con el fin de obtener un almidón con tamaño de partícula homogéneo [20]. El porcentaje del rendimiento de la extracción de almidón de tusa de maíz se calculó mediante la ecuación (7) según lo señalado por García *et al.* [21].

$$\%Rendimiento = \frac{Pesodelalmidónobtenido(g)}{Pesodelamuestra(g)} * 100\% \quad (7)$$

d. *Caracterización del almidón extraído de la tusa de maíz*

La medición del contenido de humedad se realizó mediante la determinación gravimétrica usando el método ya descrito a través de la ecuación (1). La ecuación (8) permite determinar la densidad aparente del almidón, consistente en la relación entre el peso del almidón que ocupa en un volumen conocido [22]. Consistió en pesar una probeta graduada vacía y se adicionó cuidadosamente la muestra de almidón, hasta completar su volumen [23].

$$Densidadaparentedelalmidónsuelto(g/mL) = \frac{[(pesoprobeta+almidónsuelto)(g)]-pesoprobetavacia(g)}{250mL} \quad (8)$$

La pérdida en peso durante el período de calentamiento es considerada igual al contenido de materia seca. Para su determinación se pesaron crisoles secos libres de humedad (P1), se tomó una muestra de 20 g de almidón (P2) y se llevó a calentamiento en un horno a 80 °C durante 24 h. Luego los crisoles con el almidón seco, se dejaron en un desecador hasta obtener peso constante (P3) [22],[24]. El cálculo respectivo se efectuó usando la ecuación (9).

$$\%materiaseca = \frac{100\%*(P_3-P_1)}{(P_2-P_1)} \quad (9)$$

La temperatura de gelatinización se determinó de acuerdo al procedimiento que se describe a continuación. Se pesó 10 g de almidón en base seca (BS), se disolvió en agua destilada y completó a 100 mL. Luego se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C. Se tomó 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL e introdujo en el agua a 85 °C. Se agitó constantemente hasta que se formó una pasta. Una vez que la temperatura permaneció estable por unos segundos, se leyó directamente en el termómetro [25].

Para determinar el índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (PH), se siguió el procedimiento descrito por Anderson *et al* [26]. Para esto se tomó una muestra de 1,25 g de almidón (BS) en tubos de centrifuga, se agregaron 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y se homogeneizó. Se colocaron en baño termostático a 60 °C durante 30 min, agitando la suspensión a los 10 min de haber iniciado el calentamiento. Se centrifugó a temperatura ambiente a 4900 RPM durante 30 min. Posteriormente se decantó el sobrenadante y se midió el volumen.

Se tomó 10 mL del sobrenadante y se secó en un horno a 70 °C durante 14 h. Se pesó el tubo de centrifuga con el gel y el vaso de precipitados con los insolubles. Finalmente se utilizaron las ecuaciones (10), (11) y (12) para hacer las determinaciones respectivas.

$$IAA = \frac{Pesodelgel(g)}{Pesomuestra(g)BS} \quad (10)$$

$$ISA = \frac{Pesosolubles(g)*V*10}{Pesomuestra(g)BS} \quad (11)$$

$$PH = \frac{Pesodelgel(g)}{(Pesomuestra(g)BS - Pesosolubles(g))} \quad (12)$$

*e. Obtención de la película biodegradable*

El bioplástico se obtuvo por el método de casting, para lo cual se estableció un diseño experimental preliminar (Cuadro 1), que consideró una cantidad fija de plastificante y se varió el contenido de almidón. Para el mejor resultado obtenido, se planteó un segundo diseño de experimentos (Cuadro 2), donde se establecieron diferentes cantidades de plastificante. En ambos casos, el procedimiento consistió en mezclar el almidón de tusa de maíz con agua destilada, plastificante sorbitol, manteniendo agitación constante. La solución formada se colocó en baño termostático con agitación a 80 °C, donde se añadió NaOH al 15 % (m/v). La mezcla termoplástica obtenida se colocó en cajas Petri, se secó en una estufa a 65 °C por 18 h y posteriormente se desmoldó [27]. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

**Cuadro 1:** Diseño experimental preliminar.

Almidón (g)	Sorbitol (g)
4	2
5	2
6	2

**Cuadro 2:** Diseño experimental final.

Almidón (g)	Sorbitol (g)
5	1,5
5	1,75
5	2,25
5	2,5

*f. Caracterización de la película biodegradable*

El bioplástico se caracterizó en cuanto a sus características físicas, mecánicas y de biodegradabilidad. El contenido de humedad se determinó por gravimetría usando la ecuación (1). La densidad se calculó usando

la ecuación (13). Para ello se pesó la muestra en una balanza digital, luego se sumergió en una probeta de 100 mL que contenía agua destilada y se registró la variación de volumen [5, 28].

$$Densidad = \frac{Masadelbioplástico(g)}{Volumendelaquadesplazada(cc)} \quad (13)$$

El espesor de las películas se midió con un micrómetro digital electrónico (Palmer, +/-0,001 mm) en 3 posiciones aleatorias [29]. Mediante el ensayo mecánico se encontraron tres propiedades del bioplástico: tensión, deformación y módulo de elasticidad [30]. El mismo consistió en cortar muestras de películas en forma rectangular de 10 cm x 2,50 cm, para luego colocarlas entre las pinzas de sujeción de un texturómetro marca Zwick/Roell Z010. La separación entre las pinzas fue de 7 cm. Las muestras se estiraron a 50 mm a una velocidad de 0,10 mm/s hasta la ruptura [31].

La solubilidad en agua del bioplástico se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Gontard *et al.* [32] con modificaciones. Los films se cortaron en forma circular con un diámetro de 20 mm, se pesaron y luego se sumergieron en vasos de precipitados con 50 mL de agua destilada. Se agitaron lentamente durante 24 h a 25 °C y pasado este tiempo se retiraron. Las muestras se secaron en una estufa a 105 ± 2 °C. Finalmente se registró el peso y determinó el porcentaje de solubilidad a través de la ecuación (14).

$$\%Solubilidad = \left(1 - \left(\frac{PI-PF}{PI}\right)\right) * 100\% \quad (14)$$

Donde PI es el peso inicial del bioplástico y PF es el peso final del material seco que no se solubilizó. Por último, se determinó la biodegradabilidad del bioplástico, en función de la pérdida de peso registrada en condiciones anaerobias. El procedimiento consistió en tomar muestras de 5 cm x 5 cm y se colocaron en el suelo a una profundidad de 12 cm, durante 45 días de exposición. El porcentaje de peso perdido se encontró por medio de la ecuación (15) [33].

$$\%Pérdidadepeso = \frac{Peso\inicial - Pesofinal}{Peso\inicial} * 100\% \quad (15)$$

## 2.2. Resultados

Los resultados en la caracterización de las tusas de maíz, se presentan en el Cuadro 3. El residuo utilizado como materia prima, presentó valores similares a los reportados en otras investigaciones. La humedad se ubicó entre 11,20 % y 13,71 %, los cuales fueron reportados en caracterización de tusa [34-35]. El contenido de cenizas estuvo entre 1,73 % y 3,29 % [10, 35-36] y el contenido de grasa fue ligeramente superior a 3,29 % según lo que se registró al caracterizar cáscara, pelusa, tusa y palanca de maíz [36]. Esto no sucede con la composición lignocelulósica dado que se reportan valores inferiores para la celulosa (29,85 – 59,20 %) y superiores en el caso de la lignina (12,74 – 19,73 %) [37-38]. Estas diferencias probablemente se deben a la variedad del maíz y a las labores agronómicas utilizadas durante su cultivo [39], así como también al origen de la fuente botánica y a las diferencias climáticas de la zona geográfica donde se cosecha.

Las características del almidón extraído de las tusas de maíz, se muestran en el Cuadro 4. El rendimiento obtenido es muy bajo si se compara con el rendimiento del almidón del grano de maíz registrado en otras investigaciones, con valores de 14,81 % y 27,31 % [40-41].

La humedad presente es similar a lo obtenido para un almidón de maíz cuyo valor fue 9,8 %, estando dentro del rango de 9-15 % establecido para la humedad en los almidones, según la norma NTE INEM-ISO 1666 [42]. La humedad es un parámetro de interés en la formulación de los bioplásticos, puesto que almidones con contenidos de humedad bajos, producen películas bioplásticas quebradizas [41]. La temperatura de gelatinización estuvo entre 64,33 y 70 °C, los cuales son valores reportados para almidones

de maíz [40-41]. La temperatura de gelatinización varía entre 60 a 70 °C y depende del tipo de almidón. Una alta temperatura de gelatinización significa mayor estabilidad interna del gránulo de almidón [43-44].

**Cuadro 3:** Caracterización de las tusas de maíz.

Variable	Valor (%)
Humedad	12,48 ± 0,19
Cenizas	2,01 ± 0,07
Grasas	3,06 ± 0,51
Extraíbles	13,37 ± 0,35
Celulosa	79,74 ± 1,33
Lignina	6,68 ± 1,41

**Cuadro 4:** Caracterización del almidón extraído de las tusas de maíz.

Variable	Unidad	Valor
Rendimiento	%	2,75 ± 0,19
Humedad	%	9,06 ± 0,21
Densidad aparente	g/mL	0,624 ± 1,01
Contenido de materia seca	%	95,52 ± 0,16
Temperatura de gelatinización	°C	67,00 ± 2,65
Índice de absorción de agua	g gel/g muestra	2,80 ± 0,17
Índice de solubilidad en el agua	%	48,93 ± 1,46
Poder de hinchamiento	%	3,50 ± 0,20

El índice de absorción de agua es similar al obtenido en otras investigaciones donde se analizó el almidón de maíz (1,92 – 2,04 g gel/g muestra) [45-46], a diferencia del índice de solubilidad en agua, que resultó muy superior a lo reportados para almidones de maíz con 2,74 % [47] y 4,55 % [45]. Al respecto algunos investigadores señalan que un menor tamaño del gránulo del almidón, facilita la entrada del agua a los espacios intermoleculares, lo que a su vez aumenta la solubilidad de los polímeros [48].

Al formular el bioplástico se obtuvo mayor resistencia y mejor apariencia física, al trabajar con 5 g de almidón. Para dicha masa se varió la cantidad de plastificante, teniendo mejores resultados al usar 1,75 g de sorbitol (Figura 1). Dicha formulación se caracterizó para cada una de las variables anteriormente descritas. El resto no se consideraron, debido a que su consistencia (pastosa o quebradiza), no permitió su caracterización. Los parámetros obtenidos para el bioplástico mencionado se exponen en el Cuadro 5.

**Cuadro 5:** Caracterización del bioplástico\*.

Variable	Unidades	Valor
Humedad	%	16,69 ± 0,02
Densidad	g/mL	0,93 ± 0,06
Solubilidad en agua	%	57,79 ± 0,04
Espesor	mm	0,63 ± 0,02
Elongación	%	-
Biodegradabilidad	%	31,92 ± 5,61

\*Bioplástico elaborado usando 5 g de almidón y 1,75 g de sorbitol.



**Figura 1:** Bioplástico obtenido con almidón extraído de tusas de maíz.

Las películas bioplásticas elaboradas con almidón extraído de tusas de maíz, tenían una apariencia física homogénea de tonalidad uniforme indicando una mezcla homogénea entre el almidón y el plastificante. Su coloración marrón puede indicar la presencia de lignina en el material, por ser un color característico de este material. La película no era quebradiza y fue relativamente más resistente que los otros prototipos, fácilmente moldeable al tacto. El porcentaje de humedad fue cercano a lo encontrado en bioplásticos elaborados a partir de almidón de residuos de maíz con valores de 13,25 a 16,64 % [49]. En un trabajo similar donde se elaboró películas elaboradas a partir de almidón de yuca, se registró humedad variable entre 6,01 % y 60,54 %. Se sugiere que la humedad de las películas biodegradables tenga valores superiores a 14,84 %, para evitar su fácil deterioro en el tiempo una vez que esté expuestas a condiciones ambientales [50].

La densidad de las láminas de bioplástico se encuentra dentro del rango de 0,90 y 0,93 g/mL correspondientes a la densidad del polipropileno, el cual es un polímero comercial derivado del petróleo. Polímeros con baja densidad permite la fabricación de productos ligeros [51]. La solubilidad del material se ubicó dentro de los valores registrados en películas obtenidas en estudios afines (50 – 86 %) [50, 52-53]. La solubilidad en agua es una propiedad relacionada con el tipo de aplicación y el comportamiento que puede tener la película plástica, cuando esta se sumerge en agua o cuando entra en contacto con ambientes húmedos [54]. La misma corresponde a la medida de la capacidad que tendría el bioplástico al disolverse en otra sustancia [55].

Una alta solubilidad en la película puede ser útil cuando existe contacto con el agua durante el procesamiento, tal como sucede en el embalaje de alimentos deshidratados [56]. La solubilidad también es ventajosa en casos donde el bioplástico se consume junto con el producto que contiene [57]. Ejemplo de ello se observa en el envasado de porciones de ingredientes o aditivos alimentarios destinados a ser dispersados en mezclas alimenticias [56], en el encapsulado de alimentos o aditivos [58], así como en el recubrimiento de semillas agrícolas, que necesitan una rápida germinación en el campo, o como portadores de aditivos necesarios para su crecimiento [59].

El espesor del bioplástico fue superior a bioplásticos obtenidos en otras investigaciones: 0,19 – 0,45 mm [7], 0,121 – 0,158 mm [60], 0,119 mm [61], 0,20 mm [62]. Al determinar el espesor es posible evaluar la homogeneidad de una película. Variaciones en el espesor del material ocasiona problemas, especialmente en análisis reológicos [63]. El ensayo de biodegradabilidad del bioplástico arrojó una pérdida del 31,92 % de peso durante 45 días en condiciones anaerobias. La norma EN 13432:2001 [64] menciona que un

material es compostable cuando se descompone como mínimo en un 90 % de su estructura física durante 6 meses. Los resultados obtenidos permiten inferir que un ensayo más prolongado para el bioplástico obtenido, podría alcanzar los requisitos de compostabilidad exigidos por la norma, siendo una alternativa ambiental para reducir los daños ocasionados por los plásticos sintéticos.

### 3. Conclusiones

Los residuos de origen agrícola representan una fuente de la cual pueden extraerse recursos de gran valor. El almidón extraído a partir de la tusa de maíz, aunque tuvo un bajo rendimiento, presentó propiedades similares al proveniente del gránulo del cereal. Se demostró que puede ser utilizado en mezclas termoplásticas para la formulación de bioplásticos. Las películas obtenidas presentaron densidad similar a plásticos de origen petroquímico, siendo un aspecto favorable en el caso de que se destinen a la elaboración de objetos ligeros. La alta solubilidad del bioplástico elaborado indica que el mismo podría ser utilizado con fines agrícolas como recubrimiento de semillas. Dado que no fue posible registrar resultados del ensayo mecánico, debido a que las películas bioplásticas llegaban a su punto de ruptura antes del valor mínimo de medición, se infiere que los valores correspondientes a tensión, deformación y módulo de elasticidad del bioplástico son menores a los que el equipo utilizado puede registrar. Con base a lo descrito, es posible indicar que el bioplástico obtenido no posee propiedades mecánicas similares a la de los plásticos de origen fósil. Pese a que el ensayo de biodegradabilidad se realizó sólo por 45 días, se obtuvo casi un tercio de peso perdido en el material, lo que permite inferir que un ensayo más prolongado en el tiempo podría satisfacer los requerimientos de compostabilidad.

### Referencias

- [1] V. Vasco, "Determinación de parámetros físico-químicos de zanahoria amarilla (*Daucus carota*) como base para el establecimiento de la norma de requisitos," Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2008. <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/204/1/56T00176.pdf>.
- [2] N. A. Kumari, P. Kumari, N.S. Murthy, "A Novel Mathematical Approach for Optimization of Plastic Degradation," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 4, n° 8, pp. 3539-3543, 2013. <http://ijettjournal.org/volume-4/issue-8/IJETT-V4I8P150.pdf>
- [3] A. V. García Quiñónez, *Obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón de maíz*, - 1ª ed. San Salvador, El Salvador: ITCA Editores, 2015. <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>.
- [4] S. A. Cajas Orellana, "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de tres resinas biodegradables para la sustitución del polietileno de baja densidad en la fabricación de películas flexibles para empaque automático," Tesis de grado, Universidad San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, 2015. <http://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis15/T12699.pdf>.
- [5] A. A. Rosales, "Obtención de biopolímero a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua, Mayo-Abril 2016," Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua, 2016. <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNANM2687/Details>
- [6] J. P. Merchán, D. Ballesteros, I. C. Jiménez, J. A. Medina, O. Álvarez. "Biodegradación aerobia de almidón termoplástico (TPS)," *Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. 1, n° 1, pp. 39-44, 2009.
- [7] J. A. Chariguamán, "Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis spp*)," Trabajo de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2015. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/06a5dc04-9bc7-4253-a0ad-30c4c6c160be/content>.

- [8] J. Zhao, R. L. Whistler, "Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers," *Food Technology*, vol. 48, n° 7, pp. 104-105, 1994. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/64405>
- [9] J. J. Carrasco, C. Aguirre, "Rastrojos del cultivo del Maíz: elementos a considerar para su manejo," Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6735>
- [10] J. A. Martillo Aseffe, R. Lesme Jaen, L. O. Oliva Ruiz, "Estimación del potencial energético de la tusa en la provincia de los Ríos y Guayas, Ecuador.", *Centro Azúcar*, vol. 47, n° 2, pp. 11-21, 2020. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2223-48612020000200011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612020000200011)
- [11] H. Hernández Martínez, "Utilización de lignina de olote de maíz como componente en películas base de almidón," Tesis de maestría, Universidad Iberoamericana, México D.F., México, 2013. <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015718/015718.pdf>.
- [12] D. S. Ocegueda Vega, "Bioplástico por biodesarrollo micelial de *Pleurotus ostreatus* en sustratos de residuos lignocelulósicos de encino (*Quercus castanea neé*) y olote de maíz (*Zea mayz*)," Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, 2021. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/6379](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6379).
- [13] A. Z. Johannes, R. K. Pingak, H. I. Sutaji, M. Bukit, "A preliminary study of bioplastic composites based on carbon materials from paper waste and corn waste", *In 2nd International Conference and Exhibition on Sciences and Technology (ICEST)*, 2020, pp. 6-7. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2017/1/012004>
- [14] Y. Y. Pomeranz, C. E. Meloan, *Determination of Moisture. Food Analysis: Theory and practice*. Maryland, EEUU: Aspen Publishers, 2000.
- [15] L. J. Mauer, R. L. Bradley, "Moisture and Total Solids Analysis," in: *Food Analysis. Food Science Text Series*, Nielsen, S.S., Eds. Springer, Cham, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_15)
- [16] AOAC, Ash of Flour (Direct Method), Method 923.03. In: *Official Methods of Analysis, 18th Edition*, AOAC International Publisher, Gaithersburg, 2005.
- [17] A. F. Vera Bravo, M. A. Chavarría Chavarría, "Extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca," *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, vol. 10, n° 2, pp. 26-34, 2020. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10550>
- [18] P. J. Van Soest, R. H. Wine, "Use of detergents in the analysis of fibrous feed IV. Determination of plant cell-wall constituents," *J. Assoc. Anal. Chem*, vol. 50, n° 1, pp. 50-55, 1967. <https://doi.org/10.1093/jaoac/50.1.50>
- [19] M. R. Fonseca Maldonado, "Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E Moore) procedente de la finca Río Frío, TACTIC, Alta Verapaz," Tesis de grado, Universidad San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, 2006. <http://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis/T7448.pdf>
- [20] L. Rodríguez Rodríguez, I. Gallardo Aguilar, C. Nieblas Morfa y W. Ortiz Fernández, "Evaluación de dos variedades de sorgo para la obtención de almidón," *Centro Azúcar*, vol. 42, n° 1, pp. 88-95, 2015. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v42n1/caz09115.pdf>
- [21] O. R. García Acosta, M. I. Pinzón Fandiño, L. T. Sánchez Ante, "Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles," *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 11, n° 1, pp. 13-21, 2013. [https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/382](https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/382)
- [22] J. Aristizábal, T. Sánchez, *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*, Roma, Italia: FAO, 2007. <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.
- [23] R. J. Smith, "Characterization and Analysis of Starches," In: *Starch: Chemistry and Technology (Vol. II)*, R. L. Whistler and E. F. Paschall, Eds. Academic Press, New York and London, 1967, pp. 620-625.
- [24] INCOTEC, *NTC 3528:2002 Alimentos para animales. Yuca integral seca para consumo animal*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Colombia, 2002.
- [25] M. R. Grace, *Elaboración de la yuca*, Roma, Italia: FAO, 1977.
- [26] R. A. Anderson, H. F. Conway, A. J. Peplinski, "Gelatinisation of corn grits by roll cooking, Extrusion Cooking and Steaming," *Cereal Science Today*, vol. 22, n° 4, pp. 130-135, 1969. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>

- [27] M. G. Álcivar-Gavilanes, K. L. Carrillo-Anchundia, M. A. Riera, "Development of a bioplastic from banana peel," *Ingeniería e Investigación*, vol. 43, nº 3, 2022. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.92768>
- [28] R. E. Bustamante Limones, M. B. Peralta Avila., "Caracterización de biopolímero obtenido a partir de leche de vaca y almidón de yuca," Trabajo de grado, Universidad de Guayaquil, Ciudad de Guayaquil, Ecuador, 2018. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/28021>
- [29] R. Ortega-Toro, A. Jiménez M, P. Talens O, A. Chiralt B., "Films de almidón termoplástico. Influencia de la incorporación de hidroxipropil-metil-celulosa y ácido cítrico.", *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 12, nº 2, p. 134-141, 2014. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/343/536>
- [30] N. M. Vicentini., "Elaboração e caracterização de filmes comestíveis á base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita.," Tesis doctoral, Universidad Estatal Paulista "Julio de Mesquita Filho" Botucatu, Sao Paulo, Brazil, 2003. <http://hdl.handle.net/11449/103261>
- [31] D. M. Zapata Criollo., "Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*) con gel de sábila (*Aloe vera*)," Trabajo de grado, Universidad Nacional de Piura, Ciudad de Pira, Perú, 2019. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1586>
- [32] N. Gontard, S. Guilbert, J-L. Cuq., "Edible wheat gluten films: influence of the main processes variables on films properties using response surface methodology.", *Journal of Food Science*, vol. 57, nº 1, pp. 190-195, 1992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x>
- [33] A. F. De la Rosa Martínez, M. M. Charro Espinosa., "Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. Quito, Ecuador," Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2015. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3788>
- [34] C. R. Almache Espinoza, G. C. Torres Rodríguez., "Determinación de las características energéticas de la tusa de maíz con variación del contenido de humedad, densidad y relación aire-combustible," Trabajo de grado maestría, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Quito, 2015. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10698>
- [35] S. G. Moreno Ulloa, Y. E. Pizarro Ureta., "Sustitución parcial de la harina de coronta de maíz morado (*Zea mays* l.) por harina de trigo en las características tecnofuncionales del pan artesanal," Trabajo de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú, Tarma, Perú, 2013. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1955>
- [36] I. F. Espinoza Guerra, B. S. Vinuesa Cisneros., "Composición química de residuos agroindustriales del maíz (*Zea mays*) (cáscara, pelusa, tusa y panca) utilizados en la alimentación de rumiantes," Trabajo de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Mocache-Los Ríos, Ecuador, 2020. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5324>
- [37] M. Moya P, M. Durán Ch, M. Sibaja B., "Obtención de lignina y celulosa de residuos de maíz., *UNICIENCIAS*, vol. 9, nº 1, pp. 45-50, 1992. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/5452>
- [38] D. Sultan Syawala, T. Wardiyati, M. Dawam Maghfoer., "Production Of Bioethanol From Corncob And Sugarcane Bagasse With Hydrolysis Process Using *Aspergillus niger* and *Trichoderma viride*", *Journal of Environmental Science, Toxicology and food Tecnology*, vol. 5, nº 4, pp. 49-56, 2013. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jestft/papers/vol5-issue4/H0544956.pdf?id=6696>
- [39] K. Y. Montiel Centeno, L. C. Romero Castro., "Obtención de bioetanol a partir de la coronta (olote) del maíz variedad HS-5, por el método de hidrolisis acida diluida – fermentación separada, laboratorios de química UNAN-MANAGUA, I-II semestre 2015," Trabajo de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Ciudad de Managua, Nicaragua, 2015. <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNANM1357>
- [40] A. A. Ledesma-Ugshiña, V. M. Dalgo-Flores, L. M. Flores-Fiallos, G. C. Chango- Lescano., "Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables," *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, nº 4, pp. 39-56, 2021. <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080>
- [41] J. E. Maza-Martínez, L. M. Flores-Fiallos, C. G. Santiana-Espín, M. L. Bonilla-Lucero., "Obtención de almidón de maíz chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*)," *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, nº 3, pp. 943-958, 2021. <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.2032>
- [42] INEM, Harinas de origen vegetal. Determinación de almidón. Norma Técnica Ecuatorina, Quito, Ecuador, 2013. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/524-1R.pdf>

- [43] E. L. Mollinedo Paiz., "Elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón de maíz; evaluando su degradabilidad con ácido sulfúrico y su expansión polimérica al variar la formulación," Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala, 2017. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8059/>
- [44] J. C. González García, "Análisis comparativo de los métodos húmedo y alcalino en la extracción de almidón de semillas de *Amaranthus quitensis* L.", *Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.*, vol. 35, n° 44, pp. 35-44, 2018. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i41.15000>
- [45] S. Flores Farias, "Obtención de almidón con tamaño de partícula reducido mediante pulverizado mezclado con alta energía," Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, México D. F., México, 2004. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/1316>
- [46] Y. Salinas Moreno, J. A. Herrera Corredor, J. Castillo Merino, P. Perez Herrera., "Cambios físico-químicos del almidón durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza de grano", *ALAN Archivos Latinoamericanos de nutrición*, vol. 53, n° 2, pp. 188-193, 2003. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2003/2/art-11/>
- [47] A. Montano Aragón., "Modificación física del almidón de maíz a escala nanométrica para su uso en la industria Alimentaria," Tesis de maestría, Universidad Veracruzana, Xalapa de Enríquez, Veracruz, México, 2013. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46810>
- [48] A. Alvis, C. A. Vélez, H. S. Villada, M. Rada-Mendoza., "Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas.", *Información Tecnológica*, vol. 19, n° 1, pp. 19-28, 2008. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>
- [49] L. Baque Mite, Y. J. Mera Intriago, M. Y. Ibarra Ube., "Diseño de una línea de procesamientos de envases biodegradables a partir de subproductos del maíz (*Zea mays*)," Trabajo de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ciudad de Quevedo-Los Ríos, Ecuador, 2021. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6548>
- [50] C. T. Trujillo Rivera., "Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculente crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos," Trabajo de grado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú, 2014. <http://hdl.handle.net/20.500.14070/65>
- [51] M. G. Guamán Córdor., "Determinación de perfiles de temperatura para el proceso de extrusión de polipropileno reciclado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador," Trabajo de grado, Universidad Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6942>
- [52] P. Fairley, F. J. Monahan, J. Bruce alemán, J. M. Krochta., "Mechanical properties and water permeability of edible films from why protein isolate and sodium dodecyl sulfate," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 44, n° 2, pp. 438-443, 1996. <https://doi.org/10.1021/jf9505234>
- [53] P. Yamashita, A. Nakagawa, G. Ferrari Veiga, S. Mali, M. V. Eiras Grossmann., "Embalagem ativa para frutos de acerola.", *Brasilian Journal of Food Techology*, vol. 9, n° 2, pp. 95-100, 2006. <http://bjft.ital.sp.gov.br/arquivos/artigos/v9n2237a.pdf>
- [54] A. P. Petrikoski, «"Elaboração de biofilmes de fécula de mandioca e avaliação do seu uso na imobilização de caulinita intercalada com ureia," Trabajo de maestría, Universidad Tecnológica Federal Do Paraná, Pato Branco, Brazil, 2013. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/649>
- [55] A. B. Holanda Ferreira, "Novo dicionário da lingua portuguesa. 2ª," Novo Fronteira, Rio de Janeiro, Brazil, p. 583, 1986. <https://albericovirtual.albericorodrigues.com.br/product/novo-dicionario-da-lingua-portuguesa-2a-edicao/>
- [56] E. Ayranci, S. Tunc., "A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods," *Food Chemistry*, vol. 78, n° 11, pp. 423-431, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00485-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00485-5)
- [57] H. Chen., "Functional properties and applications of edible films made of milk proteins.", *Journal of dairy science.*, vol. 78, n° 11, pp. 2563-2583, 1995. [10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76885-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76885-0)
- [58] M. A. Bertuzzi, E. F. Castro Vidaurre, M. Armada, J. C. Gottifredi., "Water vapor permeability of edible starch based films," *Journal of food engineering*, vol. 80, n° 3, pp. 972-978, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.016>

- [59] L. C. Bertan, F. M. Fakhouri, A. C. Siani, C. R. Ferreira Grosso., "Influence of the Addition of Lauric Acid to Films Made from Gelatin, Triacetin and a Blend of Stearic and Palmitic Acids.", *Macromolecular Symposia*, vol. 229, n° 1, pp. 143-149, 2005. <https://doi.org/10.1002/masv.200551117>
- [60] M. Guimarães Farias, F. Matta Fakhouri, C. W. Piler de Carvalho, J. L. Ramírez Ascheri., "Caracterização Físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.)," *Química Nova*, vol. 35, n° 3, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000300020>
- [61] M. A. Rojas-Graü, R. J. Avena-Bastillo, C. Olsen, M. Friedman, P. R. Henika, O. Martín-Belloso, Z. Pan, T. H. McHugh., "Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate–apple puree edible films.", *Journal of Food Engineering*, vol. 81, n° 3, pp. 634-641, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.007>
- [62] E. A. Lema Vera, N. S. Manzano Escobar, "Diseño de una línea de producción de bioplástico a partir de residuos del cacao con aplicación en envasado de alimentos," Tesis de grado, Universidad Estatal de Quevedo, Ciudad de Quevedo- Los Ríos, Ecuador, 2021. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6113>
- [63] C. I. G. L. Sarantópoulos, F. G. Texeira., *Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades*, 2ª ed. Sau Paulo, Brazil: ITAL/CETEA, 2017.
- [64] UNE-EN 13432 (2001). Envases — Requisitos de los envases valorizables mediante compostaje y biodegradación — Programa de ensayos y criterios de evaluación para la aceptación final del envase. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>

### Como citar este artículo

J. J. Solórzano-Vélez, M. X. Vargas-Delgado, W. H. Ponce Saltos, E. A. Rosero Delgado, M. A. Riera. "Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de la tusa de maíz (*Zea mays*)". *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, vol.17, no 1, pp. 19-31, 2023. <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt>

### Fuente de financiamiento

Los autores declaran que la ejecución del artículo fue realizada sin la necesidad de financiamiento.

### Contribuciones intelectuales de los autores

Concepción y diseño del trabajo: JJSV, MXVD, MAR.

Revisión de literatura: JJSV, MXVD, WHPS.

Recolección de datos: JJSV, MXVD, WHPS.

Análisis e interpretación de los datos/literatura: JJSV, MXVD, WHPS.

Redacción o revisión crítica del manuscrito: JJSV, MXVD, EARD, MAR.

Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.