

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de
Taro (*Colocasia Esculenta*)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Emely Veronica Puraca Calapuja
Flor Gissela Durand Usuriano
Victor Alberto Herrera Valerio

Asesor:

Dr. José Carlos Lama Bustinza

Lima, mayo de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Dr. José Carlos Lama Bustinza, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de taro (*Colocasia Esculenta*)”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Emely Veronica Puraca Calapuja, Flor Gissela Durand Usuriano y Victor Alberto Herrera Valerio para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 11 días del mes de mayo del año 2021



Dr. José Carlos Lama Bustinza
DNI: 40190634
ORCID: 0000-0003-2523-9432

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **10 días** día(s) del mes de **mayo** del año 2021 siendo **las 19:40 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, el secretario: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, y los demás miembros: **Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez** y el **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas** y el asesor **Dr. Jose Carlos Lama Bustinza**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (Colocasia Esculenta)"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **EMELY VERONICA PURACA CALAPUJA**

.....b) **FLOR GISSELA DURAND USUARIO**

.....c) **VICTOR ALBERTO HERRERA VALERIO**.....

.conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **EMELY VERONICA PURACA CALAPUJA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): **FLOR GISSELA DURAND USUARIO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (c): **VICTOR ALBERTO HERRERA VALERIO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio

Asesor
Dr. Jose Carlos Lama
Bustinza

Candidato/a (a)
Emely Veronica

Miembro
Mg. Iliana Del Carmen
Gutierrez Rodriguez

Secretario
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Miembro
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Candidato/a (b)
Flor Gissela

Candidato/a (c)
Victor Alberto

Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*)

Manufacture of biodegradable plastic from Taro starch (*Colocasia Esculenta*)

Puraca Calapuja Emely Veronica ¹, Durand Usuriano Flor Gissela ², Herrera Valerio Victor Alberto ³

Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, E.P.
Ingeniería Ambiental, Lima - Perú

Resumen

En las últimas décadas la contaminación por plásticos es una de las grandes preocupaciones a nivel global. En la actualidad se utilizan más de 1 millón de plásticos por minuto, esta realidad exige la creación de nuevas alternativas. Por ello la presente investigación tuvo como objetivo la elaboración de un plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*). El proceso se inició con la obtención del almidón evaluando sus características fisicoquímicas. Para la elaboración del plástico biodegradable se evaluó la composición porcentual para que el bioplástico tengan elasticidad y resistencia, se elaboraron 3 tipos de muestras donde el almidón se mezcló con glicerina, ácido acético y agua destilada, en un aproximado de 10 a 15 min a 75°C. Los bioplásticos se extendieron en una lámina de vidrio de 15 x 15 cm, a 30°C por 24 horas. Luego se analizó las 3 muestras en el laboratorio de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) para su respectivo ensayo mecánico. Para el análisis de los datos, se trabajó con estadísticos descriptivos como el promedio, el módulo de Young y el porcentaje de biodegradabilidad. Los resultados indicaron que el plástico elaborado, presenta propiedades elásticas adecuadas. El contenido de almidón del taro fue 93.79%, a mayor % de almidón, el bioplástico soporta mayor esfuerzo de tracción con 3.11 Mpa (12.8%). Mediante el análisis del módulo de Young, se obtuvo 15.71 Mpa para el bioplástico y 4.75 Mpa para PEBD. Por último, se hizo una biodegradación secundaria, en el laboratorio de Química de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). se tomó la Norma ISO 17556:2019 como referencia, se ensayaron 2 tipos de muestras por un periodo de 90 días, el plástico biodegradable presenta 64,21%, mientras que las bolsas comerciales de PEBD solo alcanza el 6,96%.

Palabras clave: Contaminación, Taro, Almidón, Extracción, Plástico biodegradable, Biodegradación.

Abstract

In recent decades, plastic pollution has been one of the great concerns at a global level. Currently more than 1 million plastics are used per minute, this reality requires the creation of new alternatives. For this reason, the objective of the present investigation was the elaboration of a biodegradable plastic from the starch of Taro (*Colocasia Esculenta*). The process began with obtaining the starch by evaluating its physicochemical characteristics. For the elaboration of the biodegradable plastic, the percentage composition was evaluated so that the bioplastic had elasticity and resistance, 3 types of samples were elaborated where the starch was mixed with glycerin, acetic acid and distilled water, in an approximate of 10 to 15 min at 75 ° C. The bioplastics were spread on a 15 x 15 cm glass slide, at 30 ° C for 24 hours. The 3 samples were then analyzed in the Mechanics laboratory of the National University of Engineering (UNI) for their respective mechanical testing. For the data analysis, descriptive statistics such as the average, Young's modulus and the percentage of biodegradability were used. The results indicated that the elaborated plastic has adequate elastic properties. The starch content of the taro was 93.79%, the higher the starch%, the bioplastic supports higher tensile stress with 3.11 Mpa (12.8%). Through Young's modulus analysis, 15.71 MPa was obtained for bioplastic and 4.75 MPa for LDPE. Finally, a secondary biodegradation was carried out in the Chemistry laboratory of the La Molina National Agrarian University (UNALM). The ISO 17556: 2019 Standard was taken as a reference, 2 types of samples were tested for a period of 90 days, biodegradable plastic presents 64.21%, while commercial LDPE bags only reach 6.96%.

Key words: Pollution, Taro, Starch, Extraction, Biodegradable plastic, Biodegradation.

^{1, 2, 3}Correspondencia de autores: Km 19 Carretera Central, Ñaña,

Lurigancho, Lima, Perú E-mail: emelypuraca@upeu.edu.pe/flordurand@upeu.edu.pe/victorhvalerio@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Como expresa (Rivas, 2019) en las últimas décadas la contaminación por plásticos es una de las grandes preocupaciones a nivel mundial. (Ranniger, 2020) afirma que en la actualidad se utilizan más de 1 millón de plásticos por minuto, con una "vida útil" promedio de 15 minutos. Siendo así que cada año se utilizan 500 mil millones de plásticos, y solo el 9% de los 9 mil millones de toneladas han sido reciclados, lo demás termina en vertederos (Estévez, 2019). Según (MINAM, 2018) Perú no es ajeno a esta problemática ambiental ya que se usa más de 3 mil millones de plásticos por año, 6000 mil plásticos por cada minuto y cada persona emplea 30 kilos de plásticos aproximadamente, solo en Lima Metropolitana y el Callao se generan 886 toneladas de residuos plásticos por día, siendo el 46% de residuos a nivel nacional.

Sin duda, la contaminación por los plásticos está causando daños irremediables al planeta, lejos de reducir, cada día este problema se agrava los cuales terminan en ríos y mares porque no tiene valorización o recuperación (Rojas, 2018). Las cifras de producción, consumo y disposición final de los plásticos a nivel mundial y nacional son alarmantes, ya que cada día va en ascenso, esta realidad exige la creación de sociedades con un consumo responsable, orientadas a cambiar la filosofía de vida de uso y desecho, comprometida con el diseño de nuevos productos como son los plásticos biodegradables que satisfagan las necesidades de los usuarios y a la vez disminuir el impacto ambiental (Antonieta & Palma, 2018).

Según la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC) se han planteado diversas iniciativas para amenorar los impactos ambientales generado por los plásticos, como el reciclaje o el aprovechamiento energético, una vertiente que ha despertado especial atención es la elaboración de plásticos biodegradables (Vázquez et al., 2015). A nivel industrial la producción actual de plásticos biodegradables representa aproximadamente el 1% de los casi 320 millones de toneladas de plástico convencionales que se producen por año. En 2017 Asia registró un 56% de la producción de plásticos biodegradables, Europa un 18%, Norteamérica un 16% y por último Suramérica 10%. Se espera que la capacidad de producción mundial de bioplásticos pase a 2,44 millones de toneladas en 2022 (Antonieta & Palma, 2018).

Por otro lado, los autores (Ashok et al., 2018) destacan que los plásticos biodegradables son superiores a los plásticos convencionales derivados de combustibles fósiles en términos de eficiencia energética, consumo de petróleo y emisiones de carbono, pero de aplicabilidad inferior. De acuerdo a (Roohi et al., 2017) los plásticos biodegradables, son sin duda una opción ecoamigable porque pueden descomponerse en el ambiente, mediante la acción enzimática de microorganismos.

Por ello el presente trabajo tiene como objetivo elaborar un plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*). El cual, contribuirá al avance significativo en lo que concierne a la sostenibilidad de nuestro país debido a que el Taro es una planta de rápido desarrollo vegetativo, este tubérculo es muy buen almacenador de carbohidratos (Púa et al., 2019). Asimismo, su producción a escala industrial para la elaboración de plástico biodegradable es una oportunidad de trabajo para la comunidad productora.

MATERIALES Y MÉTODO

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA Y AREA DE ESTUDIO

Obtención de la Muestra

Se recolectaron 30 kg de cormos frescos de Taro (*Colocasia Esculenta*) del Departamento de Ucayali, Provincia Padre Abad, Distrito Padre Abad, en la Localidad Caserío Cerro Colorado.

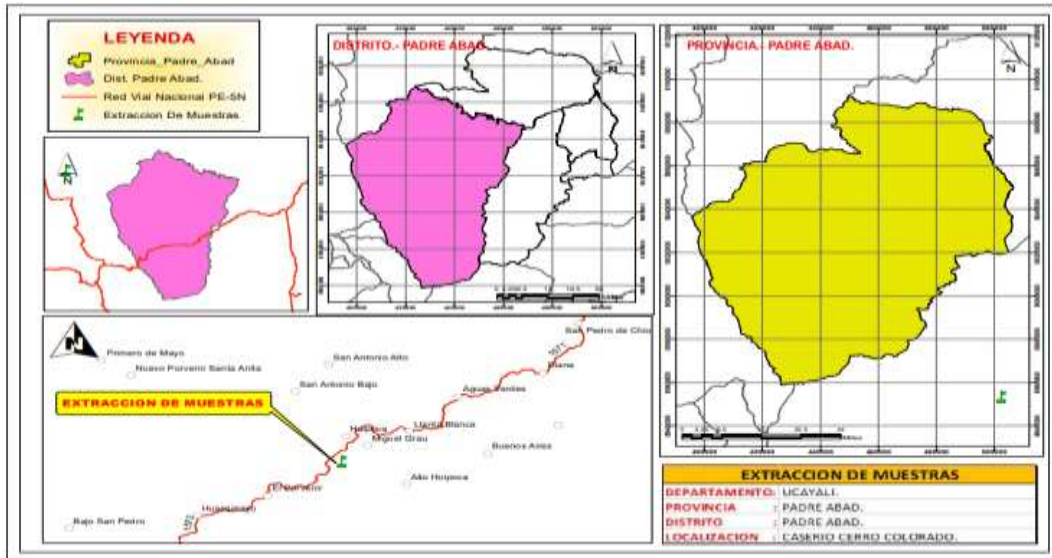


Figura 1. Ubicación del lugar de extracción de la muestra “Taro (*Colocasia Esculenta*)”.

Área de Estudio

La extracción de almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*) y el análisis de las características físicoquímicos se realizó durante los meses de septiembre a octubre del 2020 en el laboratorio de Química de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

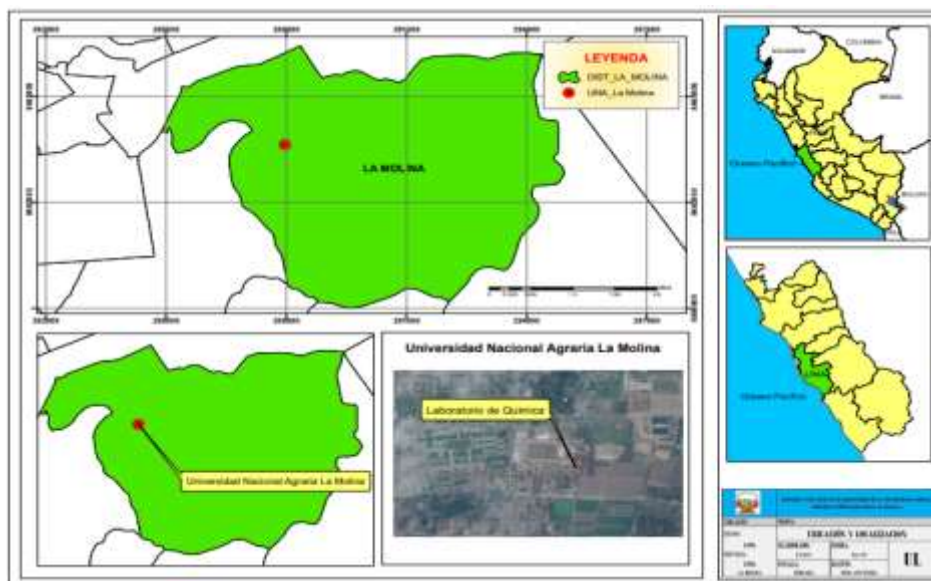


Figura 2. Ubicación del lugar de investigación.

La elaboración del plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*), y el análisis de las características mecánicas se llevó a cabo en el laboratorio de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

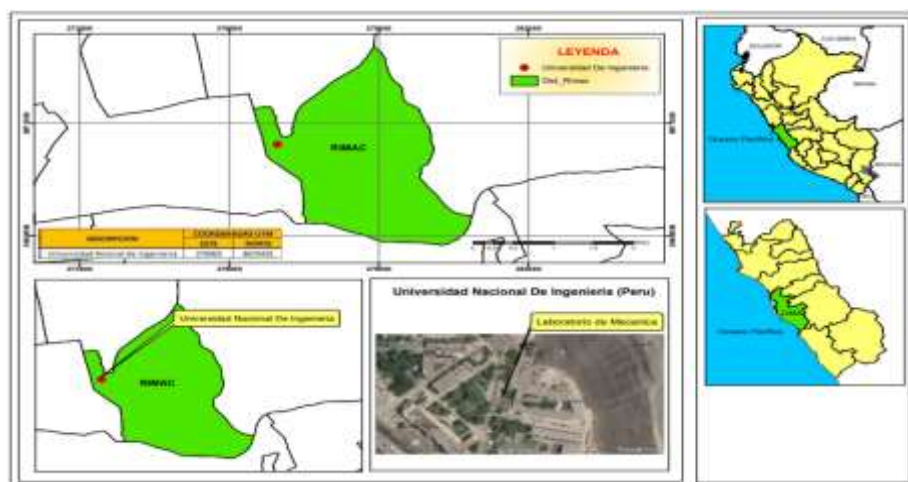


Figura 3: Ubicación del lugar de investigación.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Tabla 1. Materiales para la extracción de almidón

Materiales	Cantidad
Beaker de 100 mL	1
Varilla de agitación	1
Probeta de 50 ml	1
Espátula	1
Placas de Petri de vidrio	2
Bandeja de Vidrio	1
Cernidor plástico	2
Recipientes plásticos con tapa hermética	2
Papel Aluminio	1
Mortero de porcelana con pistilo	1

Tabla 2. Equipos para la extracción de almidón.

Equipos	Cantidad
Balanza analítica	1
Estufa con circulación de aire forzada	1
Maquina universal de ensayo de materiales	1
Hot plate	1
Termómetro digital	1
Cámara Digital	2
Micrómetro	1
Desecador	1
Cronómetro	1

Tabla 3. Reactivos para la elaboración de plástico biodegradable.

Reactivos	Cantidad
Agua destilada	120ml
Glicerina	25ml
Ácido Acético	25ml

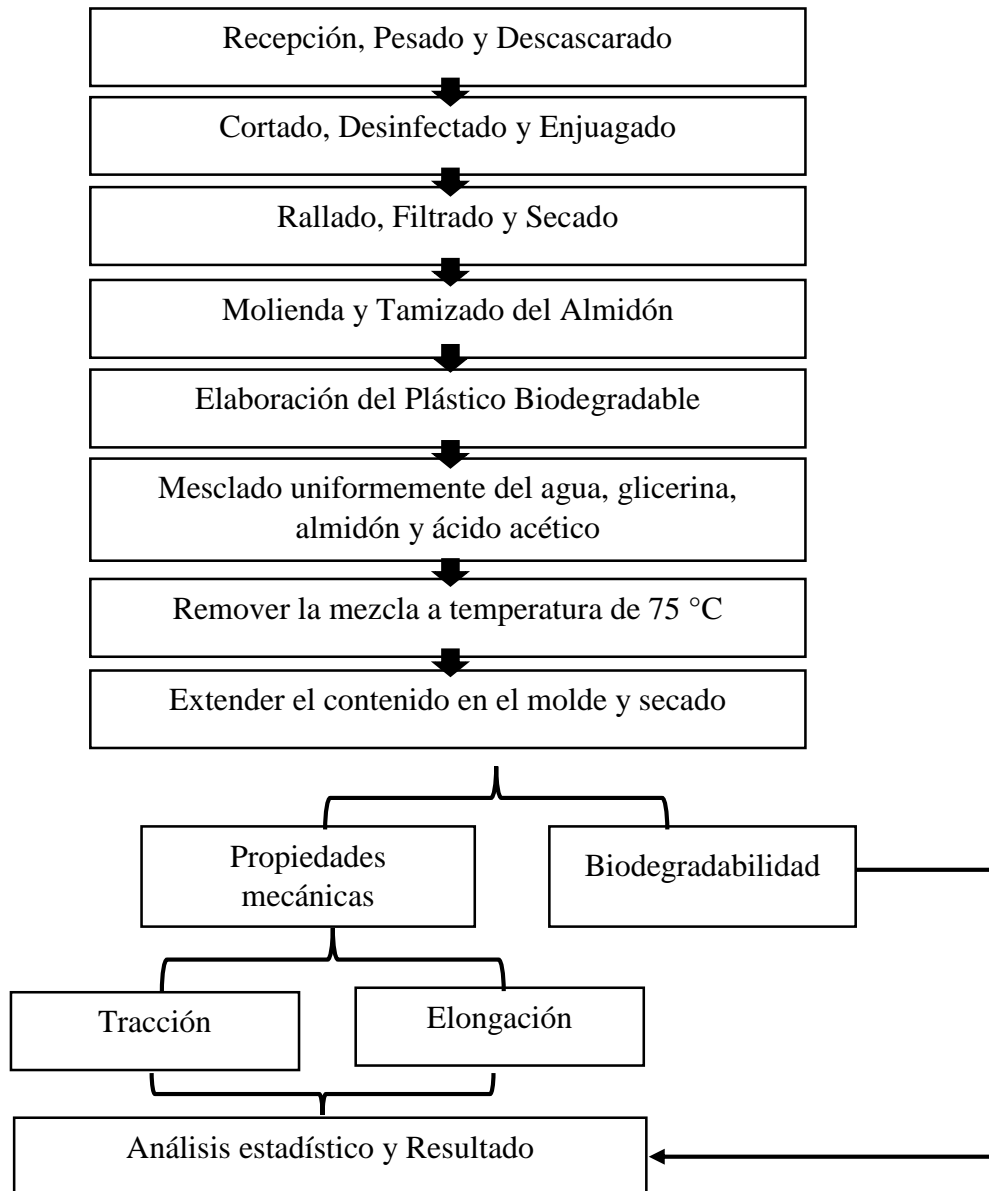
MÉTODO

Para la elaboración del plástico biodegradable a partir del almidón de Taró (*Colocasia Esculenta*), se evaluó la composición porcentual para las tres muestras para que el bioplástico tengan elasticidad y resistencia, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Composición porcentual de los componentes de las tres muestras

Muestra	Porcentajes				Volumen (mL)
	Almidón	Glicerina	Ácido acético	Agua	
A	12.8	6.4	3.8	77.0	78
B	9.9	5.9	5.0	79.2	101
C	7.9	5.5	7.9	78.7	127

Procedimiento experimental



Recepción, Pesado y Descascarado

Se utilizó 30 kg de Taro (*Colocasia Esculenta*) de las cuales se eliminó la tierra adherida a la cáscara con agua potable. Para luego retirar la cascara.



Figura 4. Recepción de materia prima.

Cortado, desinfectado y enjuagado

Se cortaron en pequeños cubos con la finalidad de facilitar el rayado y luego eliminar las impurezas adheridas al tubérculo mediante inmersión y aspersion con agua potable del mismo modo se desinfecta con Hipoclorito de sodio con tres repeticiones de enjuague.



Figura 5. Cortado de la materia prima.

Rallado, Filtrado y Secado

Desmenuzar la materia prima para luego realizar la separación de sólidos y líquidos en suspensión después eliminar totalmente el líquido o humedad en un periodo de tiempo de 72 horas a temperatura ambiente.



Figura 6. Rayado de la materia prima.



Figura 7. Filtrado.

Molienda y Tamizado del Almidón

Permite modificar físicamente la materia prima reduciendo el tamaño usando un tamiz N° 100 para garantizar la calidad del producto mediante la eliminación de partículas de gran tamaño.



Figura 8. Triturado del almidón.

Elaboración del plástico biodegradable

Basados en antecedentes empíricos y pruebas realizadas, se pudieron establecer los parámetros especificados en la matriz experimental, como las mejores condiciones experimentales para la obtención del plástico biodegradable.

Se estableció el siguiente procedimiento para la elaboración de bioplásticos:

- Se pesó 10 g de almidón de Taro que corresponda al tipo de Muestra A
- Se vertió 60 ml de agua destilada en un vaso de precipitación y 5 ml de glicerina, se le agregó 10 g de almidón y se mezcló de forma homogénea.
- Se agregó 3 ml de ácido acético se homogeniza la mezcla y se elimina toda burbuja que se pueda generar.
- Se homogeniza la mezcla y se lleva a baño maría a una temperatura entre 75°C. En constante agitación se mantiene toda la mezcla con una varilla de vidrio.
- Una vez que se observa una consistencia gomosa (aproximadamente 10 a 15 minutos dependiendo de tipo de muestra).



Figura 9. Baño maría y constante movimiento.

Moldeo y secado

Se utilizó lamina de vidrio de 15 x 15 cm, se vertió la mezcla y esparció para formar una capa uniforme, el secado fue a una temperatura de 30°C por 24 horas.



Figura 10. Secado de la mezcla en el molde



Figura 11. Desprendimiento del bioplástico.

Análisis de las propiedades mecánicas del plástico biodegradable

Las propiedades mecánicas de interés fueron realizadas bajo el estándar ASTM A370 el cual propone métodos de testeo para determinar las propiedades mecánicas para este estudio fueron elongación y tracción. Una vez obtenidas las láminas de bioplástico fueron cortadas en probetas de 100 mm de largo por 15 mm de ancho según lo especificado por la norma en mención y se codificó cada una de las probetas.

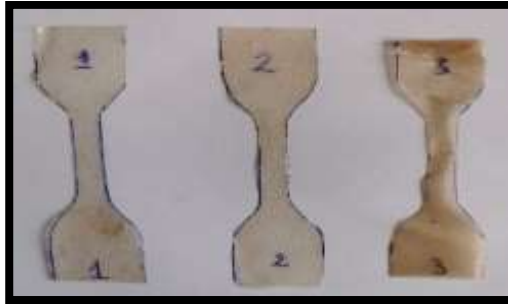


Figura 12. Probetas de bioplástico para el ensayo mecánico.

Posteriormente las probetas de bioplástico de (*Colocasia Esculenta*) fueron sometidas a la prueba de tracción. El ensayo mecánico se realizó en un equipo de tracción universal Zwick Roell Z050, disponible en el laboratorio de Mecánica en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).



Figura 13. Ensayo de las probetas con el equipo Universal Zwick Roell Z050.

Del Ensayo de Tracción realizado se obtuvieron datos como Espesor (mm), Ancho (mm), Longitud Inicial (mm), Carga de Fluencia N (Kg), Carga Máxima N(Kg), Esfuerzo de Fluencia Kg/mm^2 (Mpa), Esfuerzo Máximo Kg/mm^2 (Mpa) y porcentaje de Elongación.

Ensayo de biodegradabilidad

El ensayo de biodegradabilidad se realizó tomando como referencia la norma ISO 17556:2019, el cual se desarrolló en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Donde se ensayaron dos tipos de muestras de plástico biodegradable y bolsas comerciales de PEBD (Polietileno de baja densidad). de 5cm x 5cm y se utilizó 2 recipientes con una capa inicial de suelo de 3 cm, seguidamente de la muestra y cubierta por la segunda capa de suelo de 3 cm.



Figura 14. Ensayo de Biodegradación y Resultados: a. Plástico biodegradable b. Bolsas comerciales de PEBD.

DISEÑO ESTADÍSTICO

Para el procesamiento de los datos, se trabajó con estadísticos descriptivos como el promedio, el módulo de Young y el porcentaje de biodegradabilidad.

Promedio:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$

Módulo de Young:

$$Y = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación unitaria}}$$

Porcentaje de Biodegradabilidad:

$$\% \text{ de biodegradabilidad} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

RESULTADOS

Análisis fisicoquímico del almidón de taro

Tabla 5. Análisis fisicoquímico del almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*)

Componente	Muestra			Promedio
	1	2	3	
Humedad (%)	9.67	9.65	9.66	9.66
Proteína (%)	6.53	6.55	6.54	6.54
Lípidos (%)	3.05	3.04	3.03	3.04
Cenizas (%)	1.94	1.92	1.93	1.93
Carbohidratos (%)	93.78	93.8	93.79	93.79
Fibra (%)	1.04	1.05	1.03	1.04
pH	5.55	5.53	5.54	5.54

Nota: *valores promedio de 3 repeticiones. Los datos obtenidos se realizaron en función en normas establecidas por AOAC (2012)

En la tabla 5 se muestra que el valor obtenido de humedad fue de 9,66% que es inferior a lo reportado por los autores (Torres et al., 2013) donde los valores obtenidos fueron de (14,49%-14,29%) estas diferencias pueden atribuirse a la técnica empleada. Sin embargo, los valores obtenidos en esta investigación se encuentran dentro del intervalo. Según (Bergthaller et al., 1999) el valor permitido es menor a (<20%) para almidones convencionales. Con respecto a la proteína se obtuvo un valor de 6.54% siendo superior al estudio realizado por (Pérez et al., 2005) donde se tuvo como resultado (1,5%-0,57%) sin embargo otros autores indican que la diferencia se debe al método de extracción del almidón, asimismo está relacionado a la edad del tubérculo. Para lípidos en el presente estudio se obtuvo un valor de 3,04%. En cenizas se tuvo un valor de 1,93% cabe mencionar que el contenido de ceniza influye el tipo de tamiz empleado en la extracción.

Para los carbohidratos el valor obtenido es de 93,79%. Estos valores son mayores a los reportados por otros autores, haciendo de esta una mejor opción para la obtención de almidón. En fibra se obtuvo un valor de 1,04%, siendo estos resultados superiores a los reportados en otras investigaciones (0,57%-0,67%). Estas diferencias están relacionadas al tiempo de molienda y la velocidad de rotación del tamizado. En los valores de pH se tiene 5.54%, según la industrialización por sustitución de importaciones (ISI) el pH de almidón debe estar entre (6,0%-6,5%), el resultado obtenido en este estudio se encuentra dentro del rango.

Análisis de propiedades mecánicas

Se elaboraron 3 tipos muestras de bioplástico, considerando tres repeticiones para cada ensayo. Una vez que se obtuvieron todos los bioplásticos de los distintos ensayos, se realizaron pruebas de tracción y elongación para determinar el bioplástico más resistente. Las características de las probetas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Características de las probetas.

Material	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Longitud final (mm)	Carga máxima (N)
A (12.8%)	0.22	6	26.20	2.47
B (9.9%)	0.25	6	25.85	2.17
C (7.9%)	0.39	6	25.50	2.17
PEBD	0.15	11	12.40	25.80

Análisis de la tensión - deformación unitaria

En la figura 15 se muestra la tensión versus la deformación unitaria para las muestras de bioplástico de taro con tres porcentajes de almidón. Se observa que, a mayor porcentaje de almidón en el bioplástico, soportará mayor esfuerzo de tracción (tensión). Encontrándose un esfuerzo de 3.11 MPa para la probeta del bioplástico con 12.80% de almidón de taro. Es decir, este bioplástico posee mejores propiedades elásticas, seguido de los Bioplásticos con de 2.78% y 2.50% de almidón en su formulación. Por otro lado, para PEBD (Polietileno de baja densidad) se encontró un el límite elástico de 38 MPa; el cual es un valor superior al de las muestras de bioplástico.

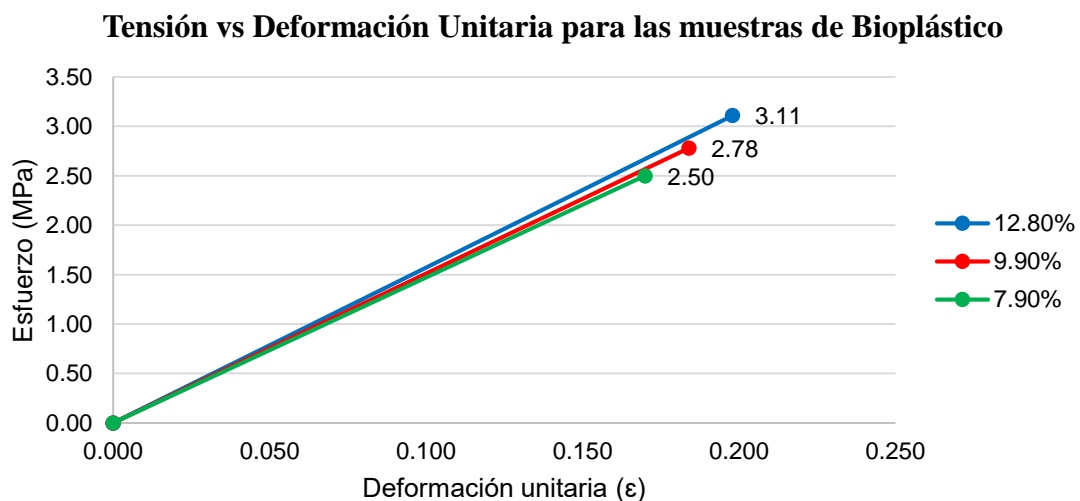


Figura 15. Tensión vs deformación unitaria para las muestras de bioplástico.

Módulo de Young de las muestras de bioplástico

En la figura 16 se muestra el valor del módulo de Young, para las muestras de bioplástico y para el PEBD (Polietileno de baja densidad) se observa que, a mayor porcentaje de almidón en el bioplástico, se tendrá mayor módulo de Young (E). Encontrándose un valor de 15.71 MPa para la probeta del bioplástico con 12.8% de almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*). Es decir, este bioplástico posee mejores propiedades elásticas, seguido de los bioplásticos con 2.78% y 2.50% de almidón en su formulación. Asimismo, los bioplásticos obtenidos con cada uno de los porcentajes de almidón de taro, superan el módulo de Young del PEBD (Polietileno de baja densidad).

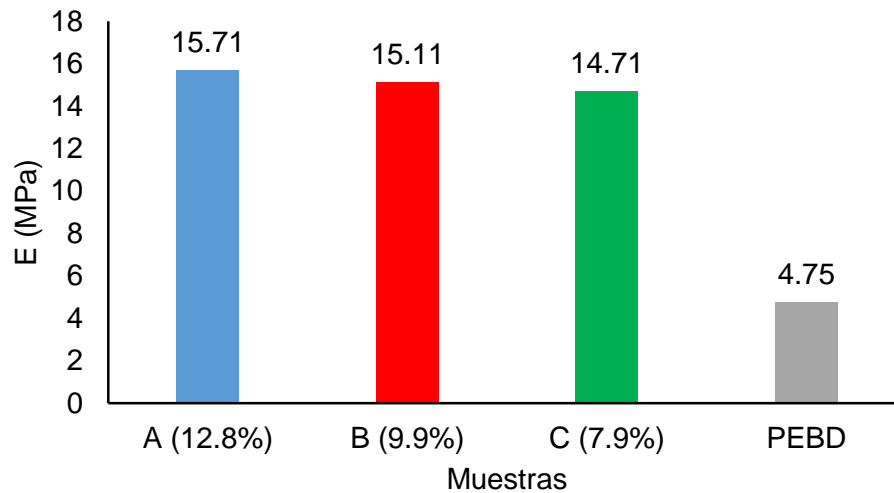


Figura 16. Módulo de Young para las muestras de bioplástico

Ensayo de biodegradabilidad

En la figura 17 se muestra el resultado del ensayo de biodegradabilidad que se desarrolló por un periodo de 90 días, en los cuales el plástico biodegradable elaborado a base del almidón del Taro (*Colocasia Esculenta*) presenta un porcentaje de biodegradación de 65,20%, esto quiere decir que es biodegradable de acuerdo a los ensayos realizados, mientras que las bolsas comerciales de PEBD (polietileno de baja densidad) solo alcanza el 6,96%, por lo tanto, no llega al valor mínimo de biodegradación. Las bolsas de PEBD (Polietileno de baja densidad) no son biodegradable a corto plazo. En el gráfico nos muestra que las curvas de biodegradación de materiales ensayados (el eje ordenadas indican el % de la degradación alcanzados y el eje de abscisas los días transcurridos).

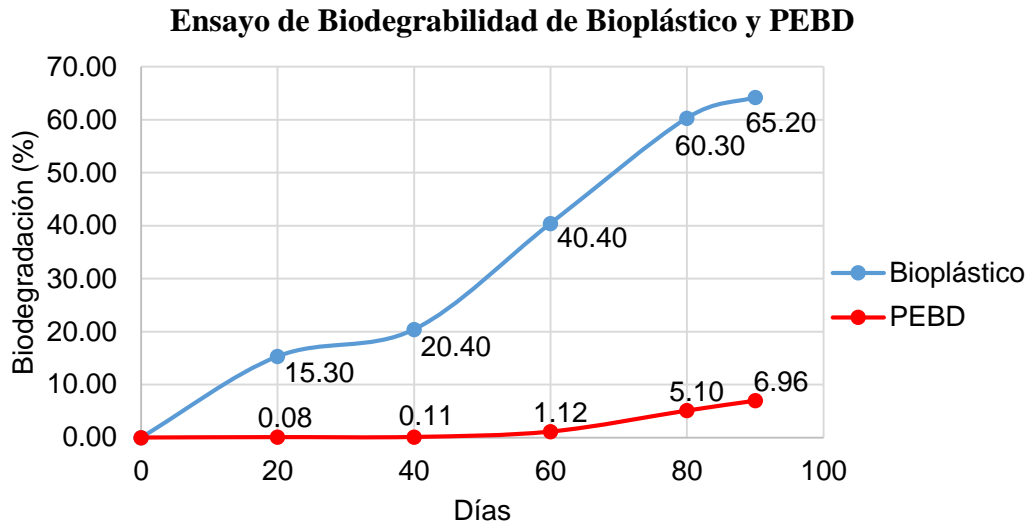


Figura 17. Ensayo de biodegradación del bioplástico y PEBD

DISCUSIÓN

En general todas las láminas fueron bastante flexibles, sin embargo, se observó ciertas diferencias debido a la variación en su composición. Propiedades del almidón: En el presente estudio el contenido de almidón del taro fue de 93.79%, teniendo un mayor rendimiento. Sin embargo, (Torres et al., 2015), obtuvieron un 85% de almidón del taro, siendo un resultado inferior esto se debe a la metodología aplicada. De acuerdo con (Nwokocha et al., 2009) el almidón de taro destaca por su mayor contenido en amilosa y alto grado de gelatinización.

Propiedades mecánicas: Se analizó el esfuerzo máximo (Mpa) y elongación (%). Según (Navia & Bejarano, 2014) estas son considerados las propiedades más importantes, para determinar el bioplástico más resistente. Por ello se analizó las 3 muestras del plástico biodegradable y las bolsas comerciales de PEBD (polietileno de baja densidad). Donde se obtuvo una resistencia a la tracción de 3.11 MPa para la muestra de 12.8% de almidón de taro; mientras que (Lubis et al., 2018) obtuvieron 2.74 Mpa. Es decir, este bioplástico a partir de Taro posee mejores propiedades elásticas. Sin embargo, para las bolsas comerciales de PEBD (polietileno de baja densidad) se encontró un límite elástico de 38 MPa; el cual es un valor superior a los valores de bioplástico, estas diferencias pueden ser explicadas por el uso de los aditivos en su elaboración, cuya función es mejorar las propiedades, comportamiento y calidad de los plásticos. Por otro lado, según (Marichelvam et al., 2019) los ácidos orgánicos (acético, cítrico), contribuyen en la mejora de las propiedades mecánicas del bioplástico. Asimismo, se puede mejorar la resistencia a la tracción, mediante la adición de dióxido de titanio (Amin et al., 2019). Para el valor del módulo de Young (E) obtenido para la muestra de 12.8% de almidón de taro fue 15.71 MPa; mientras que (Cortés et al., 2020) obtuvieron un valor de (E) de 42.1 Mpa. Donde podemos decir que, a mayor % de almidón en el bioplástico, se tendrá mayor módulo de Young (E). Asimismo, los bioplásticos obtenidos con cada uno de los porcentajes de almidón de taro, superan el módulo de Young de las bolsas comerciales de PEBD (polietileno de baja densidad).

Degradación del bioplástico: Según los resultados obtenidos en la biodegradación secundaria, el plástico biodegradable elaborado a partir del almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*) presenta un porcentaje de biodegradación de 65,20% en 90 días. Sin embargo, en la investigación realizada por (Folino et al., 2020) la degradación fue al 90% del peso del bioplástico de almidón de maíz, después de 90 días. Asimismo, (Marichelvam et al., 2019) obtuvieron un porcentaje de biodegradación de 48.7% después de 15 días; para el bioplástico del almidón de maíz. Estas diferencias se deben a la metodología aplicada en cada estudio. Según (Meza et al., 2019) los porcentajes más altos tienen mayor materia orgánica y es más rápida su degradación.

CONCLUSIÓN

Se logró elaborar el plástico biodegradable a partir del almidón de Taro (*Colocasia Esculenta*). Por ello, se concluye que el plástico biodegradable elaborado, presenta adecuadas propiedades elásticas. El contenido de almidón del taro fue 93.79%. A mayor % de almidón, el bioplástico soporta mayor esfuerzo de tracción con 3.11 Mpa (12.8%). Mediante el análisis del módulo de Young, se encontró un valor de 15.71 Mpa (12.8%) para el bioplástico y 4.75 para PEBD. Por otro lado, el porcentaje de biodegradabilidad del bioplástico, para un periodo de 90 días, fue de 65.20%, frente a las bolsas comerciales de PEBD (Polietileno de baja densidad) de un 6.96%. El bioplástico elaborado, es ecoamigable con el medio ambiente, siendo una alternativa para reducir la contaminación y sustituir a los plásticos convencionales.

RECOMENDACIONES

- Para la extracción del almidón se recomienda el método de extracción por vía seca ya que presenta mayor % de almidón que por vía húmeda.
- Utilizar otras materias primas provenientes de fuentes renovables.
- Para la elaboración del plástico biodegradable se recomienda continuar con la investigación variando las diferentes composiciones en el proceso de la elaboración.
- Adicionar mayor % de plastificantes para mejorar sus propiedades mecánicas.
- Para mayor % de biodegradación en un corto periodo se recomienda ensayar con microorganismos (compostaje).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto Torres Rapelo, Piedad Montero Castillo, M. D. L. (2013). *Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (Colocasia esculenta)*. 10(2), 52–61.
- Alethia Vázquez Morillas, Rosa Ma. Espinosa Valdemar, Margarita Beltrán Villavicencio, M. V. P. (2015). *Bioplásticos y plásticos degradables*. Retrieved from <https://anipac.com/wp-content/uploads/2018/09/bioplasticos.pdf>
- Amin, R., & Chowdhury, M. A. (2019). *Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch*. 5(November 2018). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009>
- Antonieta, M., & Palma, R. R. (2018). *Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador*. 13, 69–78. Retrieved from <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/article/viewFile/13983/219219250>

- Becerril, T., García, C., & Cruz, A. (2015). *Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (Colocasia esculenta Schott)*. 6–4, 905–912.
- Cortes-Rodríguez, M., Villegas-Yepez, C., Gonzalez, J. H. G., Rodríguez, P. E., & Ortega-Toro, R. (2020). *Development and evaluation of edible films based on cassava starch, whey protein, and bees wax*. 6(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04884>
- Elevina Pérez, Forrest S. Schultz, E. P. de D. (2005). *Characterisation of some properties of starches isolated from Xanthosoma sagittifolium (tannia) and Colocasia esculenta (taro)* (pp. 139–145). pp. 139–145. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/222116796_Characterisation_of_some_properties_of_starches_isolated_from_Xanthosoma_sagittifolium_tannia_and_Colocasia_esculenta_taro
- Estévez, R. (2019). *Datos sobre la contaminación que causa el plástico*. Retrieved from <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/contaminacion-plastico.asp>
- Folino, A., Karageorgiou, A., & Calabr, P. S. (2020). *Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review*. 12, 1–37.
- Louis M. Nwokocha, Ndubisi A. Aviara, Chandra Senan, P. A. W. (2009). *A comparative study of some properties of cassava (Manihot esculenta, Crantz) and cocoyam (Colocasia esculenta, Linn) starches*. 76, 362–367.
- Lubis, M., & Harahap, M. B. (2018). *Production of bioplastic from avocado seed starch reinforced with microcrystalline cellulose from sugar palm fibers*. 13(2), 381–393.
- M. K. Marichelvam, Mohammad Jawaid, M. A. (2019). *Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials*. 7–32, 1–14.
- MINAM. (2018). *Cifras del mundo y el Perú*. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Navia-porras, D. P., & Bejarano-arana, N. (2014). *Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos Termo-Comprimidos elaborados con harina de Yuca*. 12(2), 40–48. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a05.pdf>
- Púa, A. L., Barreto, G. E., & Zuleta, J. L. (2019). *Análisis de Nutrientes de la Raíz de la Malanga (Colocasia esculenta Schott) en el Trópico Seco de Colombia Nutrient Analysis of Taro Root (Colocasia esculenta Schott) in the Dry Tropics of Colombia*. 30(4), 69–76.
- Ranniger, G. (2020). *Contaminación plástica*. Retrieved from <https://www.ehn.org/plastic-pollution-101-2646027569.html>
- Rejeesh, A. A. R. A. C. R. (2018). *Material characterization of starch derived bio degradable plastics and its mechanical property estimation* (pp. 2163–2170). pp. 2163–2170. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317319533>
- Rivas, M. (2019). *La crisis de la contaminación plástica*. Retrieved from <https://mx.boell.org/es/2019/07/16/la-crisis-de-la-contaminacion-plastica>
- Rojas, K. (2018). *La contaminación por plástico*. Retrieved from <https://www.elfinancierocr.com/tecnologia/la-contaminacion-por-plastico/YTJWOX5OENA6ZAIQ3GOK6UTKJM/story/>
- Roohi ; Bano, Kulsoom ; Kuddus, Mohammed ; R. Zaheer, Mohammed ; Zia, Qamar ; F. Khan, Mohammed ; Md. Ashraf, Ghulam ; Gupta, Anamika ; Aliev, G. (2017). *Degradación enzimática microbiana de plásticos biodegradables*. Retrieved from <https://www.ingentaconnect.com/content/ben/cpb/2017/00000018/00000005/art00011>
- Wolfgang Bergthaller, Willi Witt, H. P. G. (1999). *Potato Starch Technology*. Retrieved from [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199907\)51:7%3C235::AID-STAR235%3E3.0.CO;2-7](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1521-379X(199907)51:7%3C235::AID-STAR235%3E3.0.CO;2-7)