

**Bioplastic made with keratin extracted from broiler-type poultry feathers
and cassava starch strengthened with opuntia ficus prickly pear mucilage.**
**Bioplástico elaborado con queratina extraída de plumas de ave de corral tipo
broiler y almidón de yuca fortalecido con mucílago de tuna opuntia ficus.**

Autores:

Mera-Ponce, Joan Vicente
UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABÍ
Egresado de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo-Ecuador



jmera7486@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0008-9211-0050>

López-Aguirre, Leonela Valentina
UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABÍ
Egresada de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo-Ecuador



llopez0723@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0000-6943-1763>

Dr. García-Muentes, Segundo Alcides
UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABÍ
Docente Tutor de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo-Ecuador



segundo.garcia@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-8152-340>

}

Fechas de recepción: 15-MAR-2025 aceptación: 15-ABR-2025 publicación: 30-JUN-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

En búsqueda de alternativas a plásticos convencionales derivados de hidrocarburos, surge el bioplástico como solución prometedora debido a su alto y eficiente potencial de biodegradación.

Por ende, el siguiente estudio tiene como objetivo obtener un bioplástico a partir de la extracción de queratina de plumas de ave tipo broiler y almidón de yuca fortalecido con mucílago de tuna opuntia ficus; la queratina se sintetizó aplicando la técnica de hidrólisis alcalina, el almidón de yuca se obtuvo mediante la técnica convencional de extracción por vía húmeda, el mucílago de tuna opuntia ficus se extrajo mediante la técnica de hidrólisis térmica y precipitación con etanol; posteriormente se determinaron las proporciones de los materiales para la elaboración del bioplástico y por último se realizaron evaluaciones físicas y mecánicas del mismo.

En la experimentación se obtuvieron tres muestras del bioplástico, cada una con proporciones diferentes de las materias primas para su post producción, donde la segunda homogenización presentó características de resistencia, flexibilidad, dureza y degradación, siendo superiores a las homogenizaciones uno y tres. El bioplástico obtenido presenta características físicas comparables a los plásticos convencionales en aspectos de resistencia y flexibilidad, las proporciones de materias primas están definidas en base al tipo de características requeridas para el uso que se le dé al bioplástico, buscando equilibrio entre resistencia y degradación, logrando de manera exitosa una degradación en diversas condiciones de exposición en comparación a los plásticos convencionales, por ende este estudio confirma el buen potencial que posee el bioplástico como alternativa a los plásticos tradicionales.

Palabras clave: plástico; bioplástico; queratina; almidón; mucilago



Abstract

In search of alternatives to hydrocarbon-derived plastics, bioplastic emerges as a promising solution due to its high and efficient biodegradation potential. Therefore, the aim of this study is to obtain a bioplastic from keratin extracted from broiler chicken feathers and cassava starch strengthened with mucilage from *Opuntia ficus-tuna*; the keratin was synthesized using the technique of alkaline hydrolysis, the cassava starch was obtained through the conventional wet extraction method, and the mucilage from *Opuntia ficus-tuna* was extracted using thermal hydrolysis and precipitation with ethanol. Subsequently, the proportions of the materials for bioplastic production were determined, and finally, physical, and mechanical evaluations were conducted.

In the experimentation, three samples of bioplastic were obtained, each with different proportions of the raw materials for post-production, where the second homogenization presented characteristics of resistance, flexibility, hardness and degradation, being superior to homogenizations one and three. The bioplastic obtained presents physical characteristics comparable to conventional plastics in aspects of resistance and flexibility, the proportions of raw materials are defined based on the type of characteristics required for the use that is given to the bioplastic, seeking balance between resistance and degradation, successfully achieving degradation in various exposure conditions compared to conventional plastics, therefore this study confirms the good potential that bioplastic has as an alternative to traditional plastics.

Keywords: plastic; bioplastic; keratin; starch; mucilage

Introducción

El plástico convencional, aunque ha beneficiado a la sociedad por sus diversas aplicaciones, representa un problema ambiental debido a su lento proceso de degradación y acumulación en el ecosistema, según datos del (Ministerio del Ambiente, 2024), en el año 2022 se generaron residuos de plásticos sumando un total de 620.000 toneladas en Ecuador, y tan solo el 7,7% fueron recicladas. A nivel global, la producción de plásticos alcanzó los 400 millones de toneladas en 2022, con un crecimiento constante año tras año (PlasticsEurope, 2023). El plástico más utilizado por excelencia es la poliolefina, conocido comercialmente como propileno, que se fabrica a partir de derivados del crudo de petróleo (Gunawan, 2024). Los plásticos al deteriorarse forman micro plásticos, que normalmente invaden la cadena alimenticia de los animales y culminan finalmente en los hogares.

Los bioplásticos representan el 0.5% de millones de toneladas anualmente en el mundo, siendo obtenidos de fuentes renovables y biodegradables que han ganado mucha atención durante varios años debido a su potencial que tiene para mitigar el impacto ambiental que los plásticos convencionales producen, según (Bioplastics, 2023) se estima que la producción de bioplásticos en el mundo se incremente a un total 2,80 millones de toneladas para el año 2023, mientras que para el 2028 alcanzaría una cifra de 7,43 millones de toneladas.

Tabla 1. Comparación de producción de Plástico y Bioplásticos en el mundo.

Plásticos		Bioplásticos	
Año	P-Tn /Millones	Año	B-Tn /Millones
2020	367	2020	2.11
2021	390	2021	2.40
2022	400	2022	2.67
2023	410	2023	2.80

Fuente: (plasticseurope, 2023)

Fuente: (BulkChemicals, 2024)

Esta comparativa mostrada en la tabla 1, indica la falta de alternativas al plástico convencional que se pretende contrarrestar con los bioplásticos, los cuales se clasifican en tres grupos: los biobasados, los biodegradables y los de fuente fósil (Heidi F ; Juan P, 2022). cada uno con aplicaciones y propiedades específicas.

Para la elaboración del bioplástico en este estudio, se emplean materiales renovables como: plumas de pollo tipo broiler, almidón de yuca blanca y mucílago de tuna opuntia ficus como materia prima principal. Además, de la adición opcional de otros componentes secundarios, como la glicerina, aromatizante y colorantes, con el fin de mejorar sus propiedades y obtener un bioplástico con mejores condiciones funcionales y estética.

Las plumas de pollo tipo broiler son material ideal para la obtención de bioplásticos, compuestas principalmente por queratina entre 85% y 90%, una proteína estructural caracterizada por su alta resistencia mecánica y estabilidad química, que la hace adecuada para la producción de este tipo de bioplásticos, esta presenta propiedades mecánicas resistente y es biodegradable (Muthuyal P, 2024). Investigaciones realizadas indican que los bioplásticos obtenidos a partir de queratina con una mezcla de PVA y glicerol como plastificante tienen unas excelentes características. (Gunawan, 2024). La queratina que se extrae de las plumas posee propiedades ricas en treonina, valina, leucina y cistina, el producto hidrolizado de las plumas de pollo corresponde a queratina (Geanina M, 2016). Poseen una estructura fibrosa y resistente debido a su concentración en cisteína, la cual forma enlaces disulfuro, es difícil de degradarse naturalmente en el agua y posee una alta estabilidad térmica, ya que esta ocurre por encima de los 200°C. No existen datos sobre la cantidad de plumas obtenidas de pollo tipo broiler, pero si sobre la cantidad de producción en el sector avícola en Ecuador, el cual indica que en Ecuador en el año 2022 se produjo aproximadamente 263 millones de pollos según (INEC, 2024). El peso total de las plumas de representa entre el 5% y 7% del ave, con estos datos se debe que se generan aproximadamente 32,875 a 46,025 toneladas de plumas por año.

La yuca, un producto de primera, tiene un sinnúmero de usos, y posee propiedades que contribuyen positivamente a la obtención de bioplásticos, según menciona en su publicación (Carla V, 2021) los productos elaborados con almidón de yuca tienen efectos de redes más sólidas y mucho más estables térmicamente, además de poseer una distribución homogénea de la amilosa y amilopectina. En Ecuador el tipo de yuca blanca (Especie *Manihot Ssculenta* Crantz) es la especie que se produce en mayor cantidad debido a que esta especie se cultiva en las cuatro regiones del país. Según el departamento del Instituto de Estadísticas & Censos (INEC, 2023) en Ecuador se producen aproximadamente 600,000 toneladas de yuca al año,



siendo Manabí uno de los mayores productores con alrededor de 180,000 toneladas de yuca al año. El almidón se obtiene de este tubérculo, ya que es un polímero natural y que se obtiene de la raíz, específicamente del tipo (*Manihot esculenta*). La fortificación del almidón de yuca con mucílago de tuna *opuntia ficus* mejora sus propiedades mecánicas y de biodegradabilidad. Al utilizar el almidón de la yuca, en (Amaya, 2019) menciona que esta materia prima sirve para la construcción de polímeros biodegradables que a su vez son mezclados con bioplásticos, lo que genera una descomposición del biopolímero y se convierte en un abono perfecto para el suelo.

La planta *opuntia ficus-indica*, conocida como nopal, higo chumbo o simplemente tuna, tiene dos partes principales, los cladodios, la cuales son las hojas de la planta, las mismas, son tallos aplanados y carnosos y son de donde se extrae el mucílago, mientras que el fruto de la tuna es dulce y se consume en porciones, jugos o mermeladas. (Juan wen, 2020). El mucílago de la tuna de la especie *opuntia ficus* que actúa como aditivo fortificante ante la elaboración del bioplástico, tiene un fácil proceso de obtención, purificación y múltiples usos en las industrias. Según (Edén A. Luna-Zapién¹, 2024) menciona que en el mundo existen alrededor de 300 especies solo de este género, la tuna *opuntia ficus* es una planta que pertenece a la familia *cactaceae*, y se caracteriza por poseer un color verde muy llamativo en presencia de espinas que en su estructura posee cladodios.

La adición de glicerina en la mezcla juega un rol importante si lo que se busca es flexibilidad en las propiedades mecánicas del bioplástico, ya que es considerado como un plastificante o aditivo funcional, su adición es considerada opcional, siempre y cuando las características del bioplástico no requieran altos niveles de rigidez o resistencia a las deformaciones. En investigaciones pasadas se menciona en (Avilés, 2005) que, ante la ausencia de aditivos en películas de bioplásticos, estos suelen presentar características mecánicas más frágiles y su adición ayuda obtener objetos moldeados.

Por lo antes expuesto, el presente artículo científico pretende obtener un bioplástico elaborado con queratina extraída de plumas de ave de la especie *broiler* y almidón de yuca fortalecido con mucílago de tuna *opuntia ficus*, y glicerina para obtener un producto con materiales accesibles, sostenible y amigable con el medio ambiente, con la finalidad darle solución a la problemática causada por los plásticos convencionales.



Materiales y Métodos

La investigación posee un enfoque mixto, donde se pretende fortalecer la teoría con investigaciones previas de alto impacto, para de esta manera lograr resultados óptimos ante la experimentación y producción del bioplástico, el objetivo es obtener un material que presente cualidades positivas, tanto químicas, físicas, mecánicas y de degradación. Las materias primas utilizadas están seleccionadas de acuerdo con su función y disponibilidad, éstas poseen respaldo de su utilidad, que aportan de manera muy eficiente a la obtención del producto final, el bioplástico.

El método inductivo tiene como objetivo observar y experimentar con diferentes concentraciones y combinaciones de las materias primas para la elaboración del bioplástico. Este método sirve como patrón inicial y de referencia para obtener la formulación más adecuada. Con este método se llegó a la conclusión general que guía a la selección del procedimiento óptimo para la obtención del bioplástico. Se incluyeron técnicas que son utilizadas en el área experimental y científica, entre las que destacan investigaciones tales como la Obtención de bioplásticos por medio de desechos agrícolas por (María R, 2018) en el cual presenta especificaciones de cómo producir un bioplástico utilizando los desechos elaborados por el campo agrícola, en el que concluye que al utilizar estos desechos pueden lograr un buen rendimiento, por otra parte la publicación de (Bujahico Huertas, 2021) donde se obtiene un bioplástico similar al que se pretende elaborar, pero con variaciones en el tipo de almidón a utilizar y empleando la cáscara y no la pulpa de la tuna, sirve de guía para tener conocimiento previo a la obtención de la queratina y el mucílago. En la publicación de (Samantha Franco, 2023) indica el tipo de evaluación, caracterización y optimización realizada a un bioplástico, se hizo uso de las técnicas físicas y mecánicas empleadas en la investigación para determinar su exposición a condiciones de calor, y quedó demostrado que los bioplásticos que emplean almidones concentran y emiten 10 veces menos exposición al calor que un plástico convencional. En la publicación de (Muñoz, 2014) narra que determinó ciertas propiedades físicas del bioplástico, así como la combinación y proporciones más ideales para optimizar las propiedades físicas del mismo.

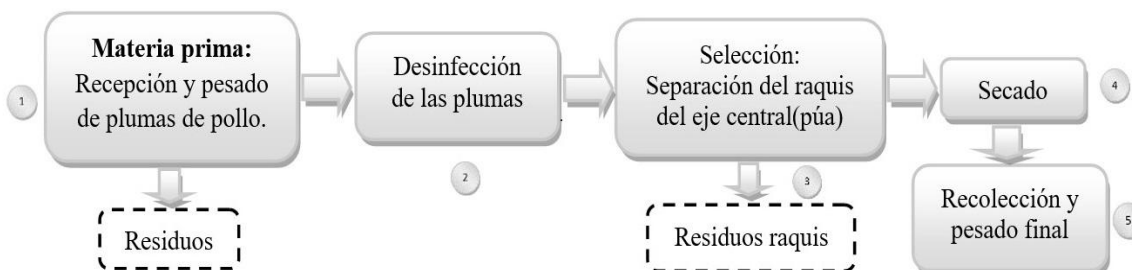
Materias primas.

- **Etapas 1: Queratina a partir de plumas de ave tipo broiler.**



La queratina es obtenida por medio de plumas de la especie broiler, en el estudio de (Tamrat Tesfaye, 2017) se realiza una valorización y caracterización de las plumas determinando sus propiedades y características demostrando sus altas cualidades, los subproductos de las plumas ascienden a 40×10^9 kg por año. Las sacrificadoras de pollo por lo general usan desplumadores mecánicos, que están provistas de un tipo de dedos de gomas sobre unos discos giratorios, estos son los encargados del desplumado del ave. (Cedeño, 2016). Las plumas de pollo fueron obtenidas de la Faenadora JR, Portoviejo-Ecuador.

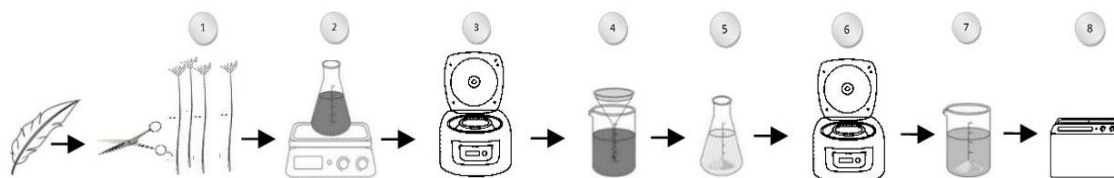
Figura 1. Diagrama de flujo, recolección y desinfección, plumas de pollo.



Fuente: Mera & López

En la figura 1, se aprecia el proceso de recolección y desinfección de materia prima, la cual consta de cinco etapas, se usaron 10 libras de plumas, se empleó 1 Litro de hipoclorito de sodio al 2% en 20 litros de agua y detergente comercial 400 gramos, se enjuagaron las plumas por 3 ocasiones hasta quitar cualquier tipo de residuo y grasas, se seleccionaron las mejores y se separó el raquis del eje central, el cual representa el 20% del peso de la pluma, siendo el eje central o púa como se le conoce el utilizado en la etapa de extracción con un peso del 80% de la pluma, luego se sometieron a un secado al ambiente durante 5 días, se recolectaron y pesaron, dando un peso final de 3,2 libras de pluma apta para extraer queratina.

Figura 2. Esquema ilustrativo de la obtención de queratina de las plumas de pollo.



Fuente: (Gunawan G, Esquema Obtencion de Queatina, 2024)

Aplicando la técnica de (Gunawan G, 2024) reflejada en la figura 2, para lograr la extracción de la queratina de las plumas, se realizaron pequeñas variaciones, las cuales se sugirieron debido a que el bioplástico va a ser homogenizado en la parte final junto con almidón y

mucílago, por lo tanto, empleando sulfuro de sodio (Na₂S) 0.5M, hidróxido de sodio 1N(NaOH), ácido clorhídrico (HCL), alcohol polivinílico (PVA) se procedió a extraer la queratina. Como primer paso se empleó 50 gramos de púas de pollo debidamente cortadas en trozos más pequeños, posteriormente en un matraz se le adicionaron 500 ml de Na 0,5M, se llevó el matraz a una hornilla por 30 minutos, se calentó a 60°C, luego la solución se llevó a un agitador magnético durante 1 hora a 800rpm, posteriormente se filtró en papel filtro. El pH se ajustó usando HCL 1N gradualmente hasta a 4,5 luego se precipitó la queratina durante 1 hora, el precipitado de queratina es centrifugado a 4500 rpm durante 15 minutos, por último, se recolectó la queratina obtenida y se almacena en un frigorífico o en un lugar con una temperatura al ambiente no por encima de los 25°C. De 50 gramos de plumas ingresados se obtuvieron 20,16 ml de queratina la cual en fase líquida se encuentra con una densidad de 1,27g/ml, en gramos hay un total de 25,6 gramos de queratina, obteniendo el porcentaje de rendimiento mayor a 52%. Esta queratina resulta ser muy rica en proteínas, como los aminoácidos, alcanzando niveles de hasta el 90%, también poseen propiedades hidrofóbicas.

Tabla 2. Caracterización de la queratina

<i>Parámetros físico químico Queratina</i>	<i>%</i>
<i>Contenido Proteico</i>	75.97
<i>pH</i>	4.8
<i>Índice de refracción</i>	0.85±0.00
<i>Densidad</i>	0.99±0.05
<i>Solidos totales</i>	28.67±2.18
<i>Concentración de proteínas solubles</i>	1.298 - 2.734

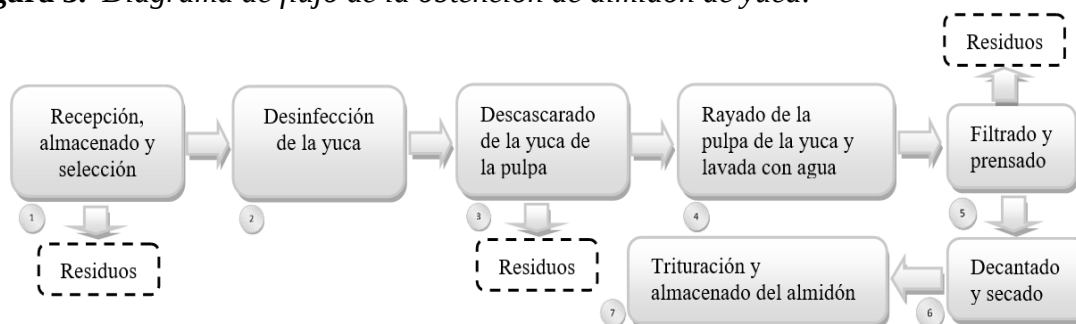
Fuente: (Gina A, 2017)

Además de los parámetros físico químico mostrados en la tabla 2, la queratina posee cisteína con un porcentaje de 3-5%, ácido glutámico 6-8%, glicina 6-8%, contenido de azufre de 2-4%, presenta también un contenido proteico del 80 a 85% del peso total, a su vez el contenido de cenizas representa entre el 1% y el 3% del peso total de las plumas, según la caracterización aplicada mediante la técnica aplicada de cromatografía en aminoácidos y espectroscopia de absorción atómica realizada por (Kim, 2013)

- Etapa 2: Almidón de yuca.

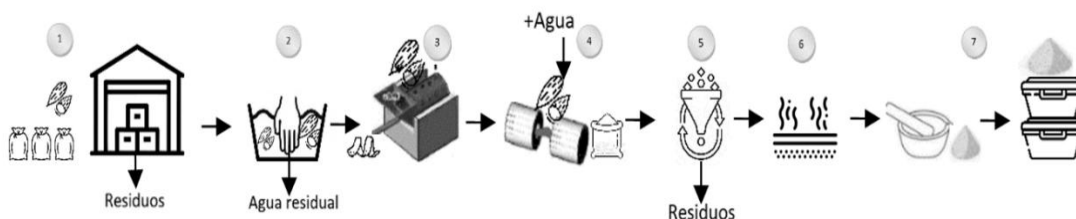


Figura 3. Diagrama de flujo de la obtención de almidón de yuca.



Fuente: Mera & López

Figura 4. Esquema ilustrativo de la obtención del almidón de yuca.



Fuente: Figuras Creative commons-Pxls, Adatado por: Mera & López

La figura 3 y figura 4, muestran el proceso de obtención de almidón de yuca, a la cual se le quito los residuos y agua residual para posteriormente mediante la técnica tradicional seguir con el proceso de rayado de yuca y se posteriormente mezcló en proporciones iguales (1:1w/v) es decir, las mismas proporciones de pulpa de yuca y agua destilada, seguido se lavó y se filtró en un recipiente para dejarla secando al sol durante cuatro días a temperatura ambiente, una vez que el almidón está libre de agua, se recolecta para ser triturado en un mortero en partes pequeñas, se obtuvo por cada libra de pulpa de yuca 0.25 libra de almidón.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del almidón de yuca.

Almidón	Tipo	% Almidón	pH	%Amilosa	%Amilopectina
Yuca (<i>M.utilissima</i>)	Blanca	72,37	6,10	20	71,75

Fuente: (Nora & Ramírez, 2022)

Tabla 3, se muestran las propiedades fisicoquímicas del almidón de yuca, entre los que se encuentra: % de almidón, pH, % amilosa y % de amilopectina, además, se detalla la granulosis de la yuca, la cual tiene un tamaño promedio de 15 a 19 micras (µm) (Pardo C, 2013).

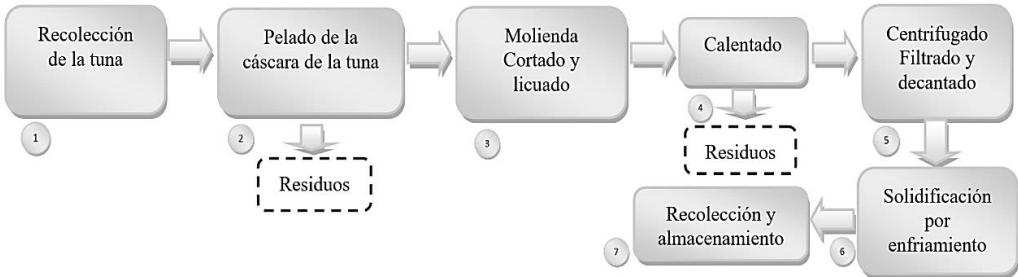
Tabla 4. Caracterización almidón de yuca.

Solubilidad	Insolubilidad en el agua fría, por lo que se gelatiniza y se hincha
Transparencia	Presenta cualidades de ser uno de los almidones más transparentes
Gelificación	Forma geles transparentes y muy resistentes, la fuerza y la transparencia

Fuente: (Sánchez, 2010)

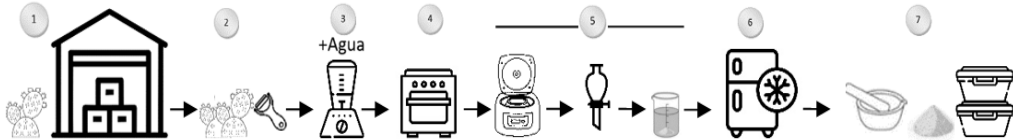
Tabla 4, se detalla la caracterización del almidón de yuca, las cuales son solubilidad, transparencia, gelificación.

- Etapa 3: Mucílago de tuna opuntias ficus.
- Figura 5. Diagrama de Flujo de la obtención del mucílago de tuna.



Fuente: Mera & López

Figura 6. Esquema ilustrativo de la obtención del mucílago de tuna.



Fuente: Figuras Creative commons-Pxls, Adatado por: Mera & López

La figura 7 y figura 8, detalla la obtención del mucílago de tuna opuntias ficus, se aplica la técnica de hidrólisis térmica y precipitación con etanol empleada por (González, 2011). En la recolección se selecciona pencas de tunas que se encuentren en buenas condiciones preferible entre dos a tres años, se retira la cáscara y se usa la pulpa, en la etapa de molienda se usa una batidora industrial, se añade agua destilada en proporciones (1:2 w/v), es decir, 1 parte de tuna y 2 de agua. La mezcla es calentada a 50°C durante una hora, se emplea un horno modelo THG-20, luego se lleva la mezcla a centrifugación a un equipo Zeigen, a 3500 rpm en un tiempo de 10 minutos, esto hará que el líquido del material sólido se separe, y posteriormente se precipita el mucílago, para esto se le agrega etanol, en proporción (1:4w/v),

es decir, 1 parte de mucílago y 4 de etanol, la mezcla se la deja reposar 24 horas a 5°C, una vez separado y formada una sustancia sólida, se procede a la recolección y secado, donde el mucílago ya precipitado se separa y se somete a secado a una temperatura ambiente de 25°C, una vez seco es recolectado y con un mortero se pulveriza hasta obtener un fino polvo de mucílago.

Composición Química del mucílago de tuna.

El mucílago de tuna se lo considera como un carbohidrato muy complejo, en su cadena de monómeros se encuentra el ácido galacturónico, la D-galactosa, la L-arabinosa, D-Xilosa, L-ramnosa, por lo que menciona (Janet, 2018) estas proporciones de los monómeros van a variar debido a factores como su variedad la edad y sus condiciones ambientales, así como su método de extracción.

El mucílago de tuna es una mezcla entre los polisacáridos neutros y los ácidos, en su publicación (1.García, 2017), describieron que el mucílago de tuna está constituido por una cadena lineal con unidades de 1-4 ácido α -D-galacturónico y (1-2) β -L-ramnosa, y que a su vez están junto a cadenas laterales de (1-6)- α -D-galactosa.

Tabla 5. Caracterización del mucílago de tuna.

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
<i>pH</i>	4.5 - 5.5
<i>Viscosidad (cP)</i>	100 - 500
<i>Contenido de agua (%)</i>	85 - 95
<i>Solubilidad en agua</i>	Alta
<i>Densidad (g/cm³)</i>	1.0 - 1.1
<i>Capacidad de retención de agua</i>	Alta
<i>Biodegradabilidad</i>	Alta

Fuente: Mera & López

En la tabla 5, se observan las características del mucílago de tuna entre las que se encuentran pH, viscosidad, contenido de agua, solubilidad en agua, densidad, la capacidad de retener agua, biodegradabilidad.

- Etapa 4: Preparación del bioplástico.

Esta etapa consiste en homogenizar las materias primas principales, queratina, almidón y mucílago, adicionando agua destilada y glicerina para lograr una reacción plastificante. Se



empleó tres proporciones diferentes de materia prima, cuyo objetivo es obtener un bioplástico que presente mejores características.

Muestra uno, 30% de queratina, 50% almidón de yuca, 20% de mucílago de tuna.

Muestra dos, 40% de queratina, 40% almidón de yuca, 20% de mucílago de tuna.

Muestra tres, 50% de queratina, 30% almidón de yuca, 20% de mucílago de tuna.

Homogenización uno.

En un matraz se añaden 60 gramos de almidón de yuca y 20ml de agua destilada calentada a 50°C, se retira el matraz de la estufa y se añaden 10ml de glicerina y 25 gramos de mucílago de tuna, posteriormente se agita con una cuchara de madera y por último se le añade 24 ml de queratina, homogenizando toda la mezcla de una manera uniforme logrando una biomasa lista para ser ubicada en moldes.

Homogenización dos.

En un matraz se añaden 40 gramos de almidón de yuca y 20ml de agua destilada calentada a 50°C, se retira el matraz de la estufa y se añaden 10ml de glicerina y 20 gramos de mucílago de tuna, posteriormente se agita con una cuchara de madera y por último se le añade 32 ml de queratina, homogenizando toda la mezcla de una manera uniforme logrando una biomasa lista para ser ubicada en moldes.

Homogenización tres.

En un matraz se añaden 30 gramos de almidón de yuca y 20ml de agua destilada calentada a 50°C, se retira el matraz de la estufa y se añaden 10ml de glicerina y 20 gramos de mucílago de tuna, posteriormente se agita con una cuchara de madera y por último se le añade 40 ml de queratina, homogenizando toda la mezcla de una manera uniforme logrando una biomasa lista para ser ubicada en moldes.

Análisis Fisicoquímico del bioplástico obtenido.

Los análisis se realizaron basados en la norma RTE INEN 074:2013, la cual es la encargada de establecer la metodología para la utilización de plásticos degradados en el ambiente aplicando procesos de exposición y biodegradación.

Resultados y Discusión

El bioplástico formado se secó a temperatura ambiente por 4 días, se obtuvieron tres muestras del bioplástico, con medidas de 100 cm² y un peso por muestra promedio de 5 gramos c/u.



Las tres muestras varían en porcentajes de almidón, queratina, y mantienen constantes los porcentajes de agua destilada (20 mL), glicerina (10 mL) y mucílago de tuna (20g).

Muestra 1.

Tabla 6. Medición química de la muestra 1.

Muestra	pH	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S/cm}$	Contenido Proteico %	Temperatura $^{\circ}\text{C}$
General	6.5	810	18%	25

Fuente: Mera & López

La tabla 6, muestra las características químicas del del bioplástico de la muestra 1 como lo son pH, conductividad eléctrica, contenido proteico, temperatura.

Tabla 7. Medición física de la muestra 1.

Muestra	Peso-muestra (g)	Ancho-muestra (cm)	Largo-muestra (cm)	Espesor-muestra (mm)	Área-muestra (cm ²)
1	5.02	6.2	15.3	3.2	100

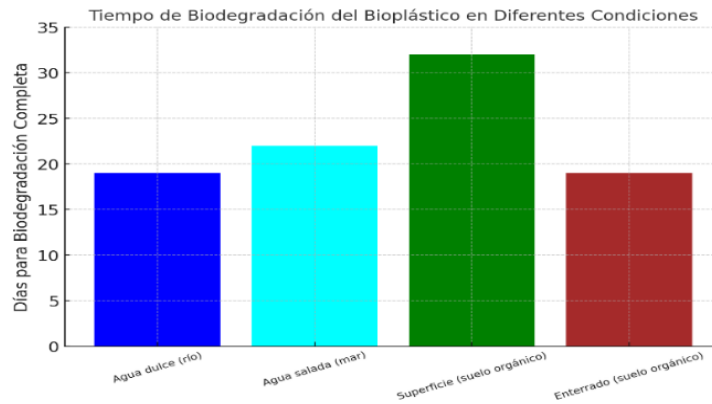
Fuente: Mera & López

En la tabla 7, se presenta características que se demuestran en degradación y la flexibilidad, pero que presenta más rigidez que la muestra 2 y 3 por su mayor contenido de almidón, lo que significa puntos bajo de dureza expuesta al estrés.

Degradación de muestra 1.

Se tomaron muestras del bioplástico y fue expuesta en las siguientes condiciones: agua dulce de río donde logró biodegradarse totalmente en 19 días, en agua salada de mar se degradó en 22 días, en la superficie de suelo orgánico a temperatura ambiente se degradó en 32 días, enterrado en suelo orgánico se degradó 19 días.

Figura 7. Degradación de muestra 1.



Fuente: Mera & López

La figura 7, muestra la eficiencia del bioplástico en su degradación, tomando como promedio de degradación de 23 días en los ambientes relacionados a la gráfica.

Muestra 2.

Tabla 8. Medición química de la muestra 2.

Muestra	pH	Conductividad Eléctrica μS/cm	Contenido Proteico %	Temperatura °C
General	6.9	850	23	25

Fuente: Mera & López

La tabla 8, muestra las características químicas del del bioplástico de la muestra 2 como lo son pH, conductividad eléctrica, contenido proteico, temperatura.

Tabla 9. Medición física de la muestra 2.

Muestra	Peso-muestra (g)	Ancho-muestra (cm)	Largo-muestra (cm)	Espesor-muestra (mm)	Área-muestra (cm ²)
1	5	6.1	15.7	3.1	102

Fuente: Mera & López

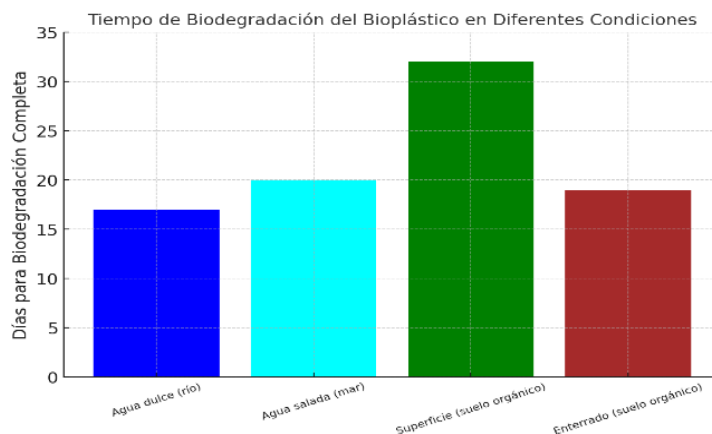
La tabla 9, muestra las características físicas del bioplástico de la muestra 2 como lo son peso, ancho, largo, espesor y el área. El bioplástico formado por medio de la mezcla dos es considerado ideal, en cuanto a características mecánicas debido a su alto nivel de degradación en casi cualquier condición ambiental.

Degradación de muestra 2.

Se tomaron muestras del bioplástico y fue expuesta en las siguientes condiciones: agua dulce de río logró biodegradarse totalmente en 17 días, agua salada se degradó en 20 días, en

superficie del suelo orgánico a temperatura ambiente se degradó en 32 días, enterrado en suelo orgánico se degradó en 19 días.

Figura 8. Degradación de muestra 2.



Fuente: Mera & López

La figura 14, muestra la eficiencia del bioplástico en su degradación, tomando como promedio de degradación de 22 días en los ambientes relacionados a la gráfica.

Muestra 3.

Tabla 10. Medición química de la muestra 3.

Muestra	pH	Conductividad Eléctrica μS/cm	Contenido Proteico %	Temperatura °C
General	5.3	830	20	25

Fuente: Mera & López

La tabla 10, muestra las características químicas del del bioplástico de la muestra 3 como lo son pH, conductividad eléctrica, contenido proteico, temperatura.

Tabla 11. Medición física de la muestra 2.

Muestra	Peso-muestra (g)	Ancho-muestra (cm)	Largo-muestra (cm)	Espesor-muestra (mm)	Área-muestra (cm ²)
1	5.02	6.1	15.2	3.2	103

Fuente: Mera & López

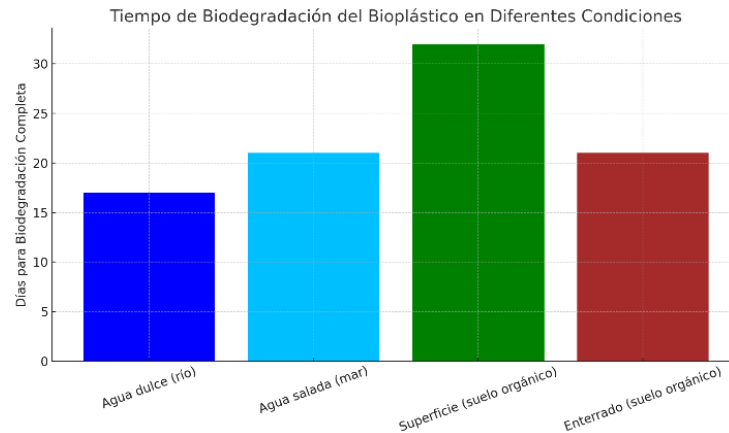
La tabla 11, muestra las características físicas del bioplástico de la muestra 3 como lo son peso, ancho, largo, espesor y el área. presenta características positivas en cuanto a elasticidad y deformación, pero es superada por la mezcla dos, su degradación es considerada buena.

Degradación de la muestra 3.



El bioplástico presenta características positivas en flexibilidad, pero baja en resistencia y rigidez. Se tomaron muestras del bioplástico y fue expuesta en las siguientes condiciones: agua de río logró biodegradarse totalmente 17 días, mientras que en agua salada se degradó en 21 días, en la superficie de un suelo orgánico a temperatura ambiente se degradó en 32 días, enterrado en suelo orgánico se degradó en 21 días.

Figura 9. Degradación de muestra 3.



Fuente: Mera & López

La figura 9, muestra la eficiencia del bioplástico en su degradación, tomando como promedio de degradación de 25 días en los ambientes relacionados a la gráfica.

Pruebas mecánicas

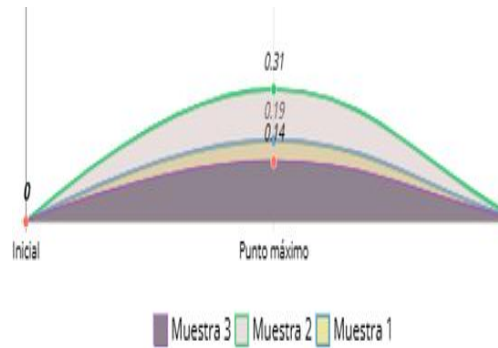
Muestra uno: Elasticidad: 12% Tensión 0.14 MPa, Flexión: 2.9 MPa, Compresión: 00.08 MPa, Fatiga: 1025 ciclos, Dureza: 48 Shore D.

Muestra dos: Elasticidad: 15% Tensión 0.31 MPa, Flexión: 3.4 MPa, Compresión: 0.15 MPa, Fatiga: 1231 ciclos, Dureza: 55 Shore D.

Muestra tres: Elasticidad: 11% Tensión 0.19 MPa, Flexión: 2.7 MPa, Compresión: 0.11 MPa, Fatiga: 1069 ciclos, Dureza: 41 Shore D.

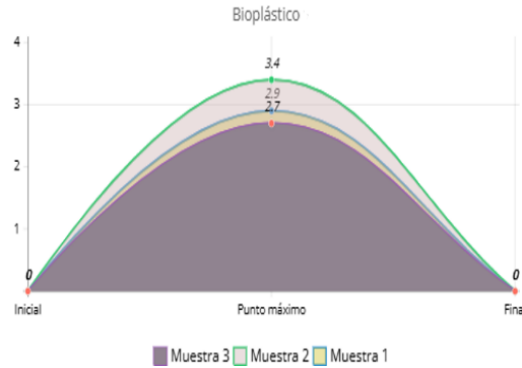
Figura 10. Prueba de elasticidad %.**Fuente:** Mera & López

La figura 10, muestra el punto máximo de elasticidad de la muestra dos con un 15%. Esta prueba se la realizó con una máquina de ensayo universal DSTM. Este equipo describe la capacidad porcentual de deformación cuando se le aplica una fuerza para posterior volver a su forma original. Las propiedades del mucílago y almidón le aportan mayor porcentaje de elasticidad, mientras que la queratina le otorga rigidez, en comparación a otros bioplásticos, este presenta condiciones de elasticidad media por la queratina. Formula: $E = \frac{\Delta L}{L_0} + 100$.

Figura 11. Prueba de tensión MPa.**Fuente:** Mera & López

La figura 11, el punto máximo de tensión lo presenta la muestra 2 con un 0.31 MPa. Esta prueba se realizó con un equipo DSTM, el cual determina la tensión que se calcula dividiendo la fuerza aplicada por el área sobre la cual actúa la fuerza producida. $\sigma_c = \frac{F}{A}$. En comparación a bioplásticos en base de almidones y otros polisacáridos con un rango de 1.8 MPa-2.5MPa, se lo considera significativamente superior otorgando más resistencia mecánica.

Figura 12. Prueba de Flexión MPa.



Fuente: Mera & López

La figura 12, muestra el punto máximo de tensión lo presenta la muestra 2 con: 3.4 MPa. La prueba se realizó empleando el equipo DSTM, donde su función es determinar la fuerza máxima que el bioplástico puede soportar antes de romperse durante el doblado. En comparación a bioplásticos basados en almidones y otros aditivos secundarios, puede haber una diferencia de 0.17MPa. Formula: $\sigma_f = 3f \frac{L}{2bd^2}$

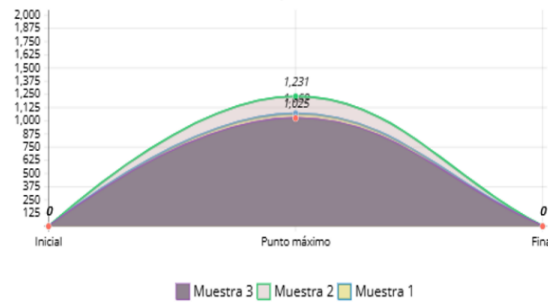
Figura 13. Prueba de Compresión MPa.



Fuente: Mera & López

La figura 13, muestra el punto máximo de compresión lo presenta la muestra 2: 0.15 MPa. Esta prueba se llevó a cabo con el uso de una máquina de ensayo de compresión, según la técnica de compresión, el bioplástico debe colocarse en cilindros, por lo que se procede a enrollar el bioplástico para formar un tubo, donde se comprime el bioplástico y posteriormente se toman los datos para calcular la compresión. Formula: $\sigma_c = \frac{F}{A}$.

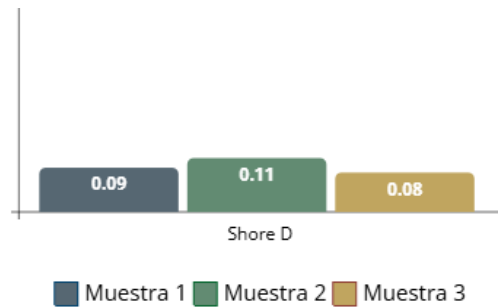
Figura 14. Prueba de Fatiga/ ciclos.



Fuente: Mera & López

La figura 14, muestra el punto máximo de fatiga por ciclos, la muestra 1 arrojó un resultado positivo que destaca entre las tres muestras con un total de 1231 ciclos, por su parte la muestra 2 con mejores propiedades presenta una diferencia menor con 1069 ciclos respecto a la muestra 1, mientras la muestra 3 alcanzó los 1025 ciclos, al no existir una técnica en concreto para bioplásticos, se empleó la técnica según la norma ASTM D7774 para plásticos, configurando el equipo a la frecuencia a 5 Hz según la norma con una tensión de 3.4 MPa. Formula $N = \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_f}\right)^2$.

Figura 15. Prueba de Dureza / Shore D.



Fuente: Mera & López

La figura 15, muestra el punto máximo de compresión lo presenta la muestra 2: 0.11Shore D Se empleó un durómetro, el bioplástico según las indicaciones del durómetro entra en la categoría de materiales blandos y flexibles.

Bioplástico obtenido

El bioplástico se clasifica aplicando el método empleado en su producción. La muestra 2 presenta las mejores características para determinar el bioplástico obtenido, destaca en su bajo tiempo de degradación en comparación a la muestra 1 y 3, presenta más resistencia,

flexibilidad, y más capacidad de soporte de ciclos y fatiga ante las pruebas mecánica realizadas.

En cuanto a otros tipos de bioplásticos existentes, el bioplástico elaborado en este estudio presenta características muy positivas, la adición de la queratina les añade propiedades excepcionales a las muestras producida, que proporciona carbohidratos, proteínas y polisacáridos naturales. El bioplástico presenta resistencias mecánicas equilibradas, gracias a las propiedades de la queratina, que es la encargada de aportar rigidez, mientras que el almidón y el mucílago le añaden propiedades de flexibilidad.

Tabla 12. Clasificación general del bioplástico, muestra dos.

<i>Criterio</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Criterio</i>
<i>Composición</i>	<i>Heteropolímero</i>	Combinación de proteína y polisacáridos.
<i>Origen</i>	<i>Natural</i>	Todos los componentes son de origen biológico.
<i>Estructura</i>	<i>Mixta</i>	Lineal y ramificada, presenta zonas con cadenas rectas y ordenadas (lineales). Zonas con cadenas que se ramifican y entrelazan (ramificadas).
<i>Comportamiento térmico</i>	<i>Termoplástico</i>	Predomina el almidón y el mucílago con influencia termoestable por la queratina.
<i>Propiedad funcional</i>	<i>Biodegradabilidad</i>	Como la queratina, el almidón y el mucílago son biodegradables, su descomposición en el ambiente es adecuada para aplicaciones sostenibles.
<i>Propiedad Térmica y Mecánica</i>	<i>Flexibilidad</i>	Gracias a la mezcla de almidón de yuca (flexibilidad) y queratina (resistencia mecánica), el bioplástico resultante tiene una flexibilidad moderada y una resistencia estructural, aunque es probable que sea más flexible que un bioplástico 100% proteico debido a la adición de almidón.
<i>Aplicación</i>	<i>Empaque sostenible Materiales-de-un solo uso</i>	Debido a su biodegradabilidad y origen natural, este bioplástico puede ser adecuado para aplicaciones como empaques biodegradables, productos agrícolas, o incluso para usos en la industria alimentaria o cosmética.

Fuente: Mera & López

Discusión y Conclusión

El estudio demuestra que es viable producir bioplásticos cuyas propiedades mecánicas y tiempos de degradación pueden ser ajustadas en función de las proporciones de queratina,



almidón de yuca y mucílago de tuna en su composición. Los resultados muestran que la queratina aporta la rigidez y resistencia necesarias para mejorar la durabilidad del material. El almidón, por su parte, facilita la formación de una matriz homogénea que optimiza la procesabilidad, mientras que el mucílago de tuna y el almidón actúa como un refuerzo que mejora la flexibilidad y acelera la biodegradación, esta combinación permite adaptar el bioplástico a diferentes aplicaciones, según las necesidades específicas de cada uso. El bioplástico desarrollado se degrada de manera acelerada sin sacrificar la resistencia en aplicaciones concretas. Se determinó que la velocidad de biodegradación varía con la composición: los bioplásticos de baja durabilidad se degradan más rápidamente, mientras que aquellos de alta durabilidad lo hacen a un ritmo menor. Las pruebas en distintas condiciones ambientales confirman que este material se descompone completamente en tiempos reducidos, reforzando su potencial como una alternativa ecológica al plástico convencional. Sin embargo, es importante optimizar el proceso de producción para mejorar la eficiencia, donde se pretenda reducir los costos de producción y aumentar la escalabilidad. Las pruebas mecánicas revelaron que el bioplástico dos, presenta características de alta durabilidad y a su vez ofrece resistencia y mientras que su dureza es baja, pero es comparable a ciertos plásticos convencionales como empaques, bolsas, películas plásticas, lo que lo hace apto para este tipo de aplicaciones. En comparativa con los plásticos convencionales los bioplásticos tienen una durabilidad que se adaptan mejor a aplicaciones de vida útil corta, como envolturas, empaques biodegradables y bolsas que presenten vida útil de un solo uso. Se concluye que es posible desarrollar bioplásticos biodegradables a partir de queratina, almidón y mucílago de tuna, siempre y cuando se ajusten sus características mecánicas y su tasa de degradación según la aplicación deseada.

Referencias bibliográficas

- 1.García, N. (2017). Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151051>
 - 2.García, N. (2017). Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151051>
- Amaya, J. (Abril de 2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. 48(1), pág. 3.
doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>



- Avilés, G. R. (2005). *UNIVERSIDAD EAFIT ICIPC MEDELLÍN*. Recuperado el 2025, de <https://core.ac.uk/download/pdf/47250396.pdf>
- Bioplastics, E. (2023). *European Bioplast*. (European Bioplastics e.V) Recuperado el 2024, de <https://www.european-bioplastics.org/market/>
- Bujahico Huertas, K. G. (2021). Queratina extraída de plumas de pollo y almidón obtenido de Ipomoea batatas. *Repositorio digital Institucional*, 129. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85751>
- BulkChemicals. (2024). *Grand View Research*. Obtenido de <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/europe-bioplastics-market-report>
- Carla V, X. Z. (Agosto de 2021). Almidones de cáscara de yuca (manihot esculenta) y papa (solanum tuberosum) para producción de bioplásticos: Propiedades mecánicas y efecto-gelatinizante. (J. L. Terán, Ed.) 6(2), 3-16. Obtenido de <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3293/3817>
- Cedeño, L. (2016). *Repositorio Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí*. Obtenido de <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/2795/1/ULEAM-IAL-0038.pdf>
- Edén A. Luna-Zapién¹, J. A. (Abril de 2024). MUCÍLAGO DE NOPAL (Opuntia spp.) Y su aplicación como aditivo alimentario: una visión general. 46(1), 1-12. doi:<https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.51>
- Geanina M, B. S. (2016). Queratina a partir de la hidrólisis enzimática de harina de plumas de pollo, utilizando queratinasas producidas por Bacillus subtilis. 9(20), 3-50. doi:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663826007>
- Gina A, Q.-C. W.-D.-D. (2017). doi:<http://10.18634/ugcj.23v.0i.767>
- Gonzales, L. V. (2019). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/394833774/queratina>
- González, L. (Octubre de 2011). *Unirioja*. (F. d. Tecnología, Ed.) doi:ISSN-e 1665-692X
- Gunawan G, H. H. (Abril de 2024). Keratin-based bioplastics extracted from chicken feathers: Effect of chitosan concentration on the structural, chemical bonding, and

mechanical properties of bioplastics. *ScienceDirect*, 256(1), 3-11.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130722>

Gunawan G, H. H. (Abril de 2024). Keratin-based bioplastics extracted from chicken feathers: Effect of chitosan concentration on the structural, chemical bonding, and mechanical properties of bioplastics. *ScienceDirect*, 265(1), 4-11.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130722>

Gunawan, H. H. (06 de Marzo de 2024). Keratin-based bioplastics extracted from chicken feathers: Effect of chitosan concentration on the structural, chemical bonding, and mechanical properties of bioplastics. *ScienceDirect*, 3-11.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130722>

Heidi F ; Juan P. (Noviembre de 2022). *Centro de Investigación en Química Aplicada*. (CIQA, Ed.) Obtenido de

https://ciqa.mx/documentos/mp_115_noviembre_diciembre_2022-14-17.pdf

INEC. (2023). *Instituto Nacional de Estadística y Censos Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua* . Obtenido de

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

INEC, (. N. (2024). *INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos)*.

Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

Janet, G. d. (Diciembre de 2018). *UANL* . Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/18573/>

Juan wen, Q. C. (Febrero de 2020). *Science Direc.*

doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115592>

Kim, H. J. (2013). *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 111-119.

doi:<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1025.157>

MAG Comunicación, D. N. (2023). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/iniap-fortalece-investigacion-de-cultivo-de-yuca/>

María R, R. R. (Noviembre de 2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. 13(3), 11. doi:<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93368279005>

Ministerio del Ambiente. (2024). *Ministerio del Ambiente de Ecuador*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-presento-la-hoja-de-ruta-para-reducir-impactos-por-la-contaminacion-de-plasticos/>



- Ministerio del Ambiente, A. y. (10 de Junio de 2024). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. (D. d. comunicación, Editor) Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-presento-la-hoja-de-ruta-para-reducir-impactos-por-la-contaminacion-de-plasticos/>
- Muñoz, J. (2014). Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera. *Google academico*(2). Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3366/1/AGI-2014-T033.pdf>
- Muthuyl P, R. M. (Enero de 2024). c- A review. *ELSEVIER*, 240(2).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117465>
- Nora, S. L., & Ramírez, A. S. (Marzo de 2022). Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentesI. 39(3), 191-197.
doi:ISSN: 0378-1844
- ONU, P. p. (25 de Abril de 2023). *ONU*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos#:~:text=Puede%20tardar%20cientos%20de%20a%C3%B1os,consecuencias%20para%20la%20salud%20humana>.
- Pardo C, J. C. (Diciembre de 2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa y yuca. (A. Agronómica, Ed.) *Acta Agronómica*, 62(4), 289-295. doi:ISSN: 0120-2812
- PlasticsEurope. (2023). *Plastics - the Facts*.
Obtenido de <https://www.plasticseurope.org/plastics-the-facts-2023>
- plasticseurope. (2023). *Plastics europe*. Obtenido de <https://plasticseurope.org/>
- Riera, M. A. (Noviembre de 2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. 11. Recuperado el Octubre de 2044, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93368279005>
- Riera, M., & Palma, R. (2018). idades en EcuadorObtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialoo. 13(3), pág. 70.
doi:<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93368279005>

- Samantha Franco, J. T. (MARzo de 2023). Evaluación de propiedades físicas de películas plásticas biodegradables elaborados utilizando una combinación de subproductos de arroz (*Oryza sativa*) y Yuca (*Manihot esculenta*). 7(2).
doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.7614
- Sánchez, T. D. (2010). *Physicochemical properties of cassava starch*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.062>
- Tamrat Tesfaye, B. S. (Diciembre de 2017). *Researchgate*. doi:10.1007/s10098-017-1443-9
- Vivian Offiah, V. K. (2018). *Food Science and Nutrition*. (F. S. Nutrition, Ed.)
doi:doi=10.1080/10408398.2018.1480007
- WWF, W. t. (10 de Junio de 2024). *WWF.org*. Obtenido de
<https://www.wwf.org.ec/?389213/Ecuador-lidera-una-historica-hoja-de-ruta-para-reducir-la-contaminacion--por-plasticos#>
- Yurnakis. (2008). *Xente Mundo Quimica*. Obtenido de <http://www.xente.mundo-r.com/explora/quimica3/Polimeros.pdf>.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior