



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“FABRICACIÓN DE BIOPLÁSTICO DE *MUSA PARADISIACA* “BANANO” Y SUS PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y DE BIODEGRADACIÓN”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autoras:

Elena Alcalde Quisquiche
Flor Mary Huaman Muñoz

Asesor:

Dra. Sc. Irma Geralda Horna Hernández

Cajamarca - Perú

2022

DEDICATORIA

Ha sido un esfuerzo y mucho sacrificio apoyándome cada día y lo más importante que nunca faltó el aliento moral de grandes personas que me acompañaron a lograr este objetivo hasta finalizar este trabajo, es por ello que dedico a mis padres Oscar Huamán Ruíz y Elvira Muñoz Llatas, del mismo modo a mi hermana Nancy Mardelí Huamán Muñoz.

Huaman Muñoz, Flor Mary

La dedico en especial a mi hija que ha sido mi mayor innovación para nunca rendirme, a mis padres por darme la vida, grandes principios y enseñanzas que fueron fundamental para lograr concluir esta investigación.

Elena Alcalde Quisquiche

AGRADECIMIENTO

Hoy como todos los días agradezco a Dios por darme la salud de poder seguir cumpliendo cada escalón, así como también a mi familia que siempre estuvo apoyándome, del mismo modo agradecer al Programa Nacional de Becas y Créditos del Perú (Beca 18) por la gran oportunidad de haber llegado a formarme profesionalmente y culminar mi carrera, a los maestros por compartir sus conocimientos en el día a día, y agradecer rotundamente a nuestra asesora Dra. Sc. Irma Geralda Horna Hernández, por el apoyo que se hizo para realizar esta tesis.

Huamán Muñoz, Flor Mary

Agradezco a Dios por darme la salud, su bendición y su amor incondicional; de la misma manera a todas las personas que me dieron el aliento y la energía para lograr uno de mis objetivos, también a la gran oportunidad que me dio el Programa Nacional de Becas y Créditos del Perú (Beca 18) gracias a ello logré terminar mi carrera profesional.

Elena Alcalde Quisquiche

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos	13
1.4. Hipótesis.....	14
1.5. Antecedentes del estudio.....	14
1.6. Bases teóricas	19
1.7. Justificación.....	28
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	29
2.1. Diseño de investigación.....	29
2.2. Población y muestra (Materiales y equipos, instrumentos y métodos).....	29
2.2.1. Población.....	29
2.2.2. Muestra.....	30
2.2.3. Materiales y equipos	30

2.2.3.1.	Materiales.....	30
2.2.3.2.	Equipos.....	31
2.2.3.3.	Insumos	31
2.2.3.4.	Método	31
2.2.4.	Muestreo.....	32
2.2.5.	Instrumentos	32
CAPÍTULO III. RESULTADOS		38
3.1.	Análisis de las propiedades del bioplástico elaborado	38
3.2.	Determinación de la permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m) del bioplástico.....	38
3.3.	Determinación de resistencia a la tensión (cm/mL) del bioplástico	48
3.4.	Determinación de la biodegradabilidad (g/día) del bioplástico.....	50
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		55
4.1.	Discusión	55
4.2.	Conclusiones.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		60
ANEXOS		68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de la cáscara de banano	22
Tabla 2 Clasificación taxonomía de <i>Musa paradisiaca</i>	23
Tabla 3 Codificación de ejemplares de bioplástico de <i>Musa paradisiaca</i>	29
Tabla 4 Ficha de análisis del bioplástico	36
Tabla 5 Permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m) del bioplástico haciendo uso del agua	42
Tabla 6 Permeabilidad (mL/s) del bioplástico haciendo uso del aceite	44
Tabla 7 Medida de resistencia a la tensión (cm/mL) del bioplástico con respecto al vinagre	49
Tabla 8 Biodegradabilidad (g/día) del bioplástico durante ocho semanas	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Almidón licuado de cáscara de <i>Musa paradisiaca</i>	20
Figura 2. Partes de <i>Musa paradisiaca</i>	21
Figura 3. Almidón licuado obtenido de cáscara de <i>Musa paradisiaca</i> (plátano)	24
Figura 4. Balanza analítica de 250 miligramos	33
Figura 5. Vernier digital de 6 centímetros	34
Figura 6. Diagrama de flujo del procedimiento de la obtención del bioplástico	37
Figura 7. Bioplástico elaborado de almidón de <i>Musa paradisiaca</i>	38
Figura 8. Prueba de permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) utilizando agua de potable	39
Figura 9. Prueba de permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) utilizando agua potable	43
Figura 10. Permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) del aceite en el bioplástico en función al grosor	45
Figura 11. Comparación de permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) entre dos líquidos agua y aceite	46
Figura 12. Inflamabilidad del bioplástico	47
Figura 13. Medida de resistencia a la tensión (cm/mL) haciendo uso de una botella plástica	48
Figura 14. Resistencia a la tensión (cm/mL) con respecto a la glicerina y el vinagre blanco	50
Figura 15. Biodegradabilidad (g/día) del bioplástico alcanzado durante ocho semanas	53
Figura 16. a. Biodegradación en tierra húmeda b. Biodegradación en agua c. Biodegradación a temperatura ambiente	54
Figura 17. a. Biodegradabilidad (g/día) en fuente de agua en cuatro semanas b. Biodegradabilidad (g/día) en fuente de agua en ocho semanas	54

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Gradiente de presión	40
Ecuación 2. Ley de Henry	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO n.º 1. Ficha de análisis de las propiedades del bioplástico	68
ANEXO n.º 2. Materiales para realizar el bioplástico	69
ANEXO n.º 3. Proceso de obtención del bioplástico	70
ANEXO n.º 4. Proceso para determinar la resistencia a la tensión (cm/mL)	71
ANEXO n.º 5. Medición de flujos de diferentes densidades	72
ANEXO n.º 6. Biodegradación de bioplástico en agua.....	73
ANEXO n.º 7. Biodegradación de bioplástico en tierra húmeda	73
ANEXO n.º 8. Bioplástico de mayor grosor en degradación en un líquido.....	74
ANEXO n.º 9. Bioplástico de menor grosor degradándose en agua.....	74

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo fabricar bioplástico de *Musa paradisiaca* (banano) y estudiar sus propiedades tecnológicas y de biodegradación. El ensayo tiene procesos por el cual se añade insumos como agua destilada, fécula de maíz, glicerina, vinagre blanco, canela molida, colorante natural; colocado a fuego de temperatura 70°C hasta formar una pasta, después agregando el almidón licuado realizado para 4 tratamientos cada uno con diferente contenido de cada insumo, para lograr detectar sus propiedades y ver cuál es la similitud que tiene el bioplástico. Los resultados obtenidos permitieron identificar que a mayor glicerina, vinagre blanco y almidón se obtiene que la permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m) ante un líquido es más lenta, y tiene mayor resistencia a la tensión (cm/mL) y su espesor es mayor, a diferencia que el bioplástico de menor grosor se degrada en menos tiempo. En conclusión, el bioplástico se degrada en corto tiempo colocado en fuente de agua la descomposición es más acelerada a diferencia de condiciones a temperatura ambiente que tarda más tiempo, por esta razón no genera impactos negativos al medio ambiente, por ende, se puede sustituir al plástico sintético que es tardío en su degradación por plástico orgánico.

Palabras clave: Bioplástico, almidón de *Musa paradisiaca*, propiedades tecnológicas y biodegradabilidad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los residuos sólidos se generan diariamente a nivel mundial, a su vez existen distintos tipos de contaminantes, entre ellos están los polímeros derivados de petróleo (plásticos), que sin duda es un gran problema debido a las grandes cantidades que se generan y el tiempo de vida para su eliminación o degradación se encuentra en un rango de 100 a 1000 años (Márquez, 2019, p. 1).

Por ende, durante las últimas décadas ha dado una gran preocupación debido a su abundancia y persistencia en el medio ambiente; dado que vivimos rodeados de plásticos, desde los empaques de los materiales, cubiertos hasta artefactos plásticos y dispositivos médicos Sarria y Gallo (2016). La producción de plástico está aumentando exponencialmente desde que comenzó su comercialización en la década de los 50 y, debido que no se biodegrada, la mayor parte persiste en el ambiente. Desde que comenzó a comercializarse en el siglo XX hasta ahora, se han producido 7.8 billones toneladas de plástico, lo que significa que hoy existe una tonelada de plástico por persona en el mundo (Buteler, 2019, p. 56-60).

En el Perú el impacto negativo de los desechos plásticos en los ecosistemas, son un problema que ha aumentado de manera significativamente con tasas más altas de residuos plásticos gestionados inadecuadamente debido a que pertenece a uno de los países de ingresos medios, porque la infraestructura para la gestión de residuos sólidos no ha seguido el ritmo del consumo en aumento. De tal manera que, en el año 2016, Perú generó 708,000 toneladas de plásticos al año, de las cuales 304,440 toneladas que equivale al 43.7% se eliminó de forma inadecuada y deficiente (USAID, 2020, p. 4).

Por esta razón las empresas formales de producción y comercialización del mercado nacional de plásticos han crecido a un ritmo promedio anual de 5.4% pasando de 1,618% en el 2014 a 1,998% empresas en el 2018. En dicho periodo, las microempresas presentaron una participación promedio de 72.4% del total, seguido de las pequeñas empresas con el 19.9%, las grandes empresas con el 6.5% y las medianas empresas con el 1.2%, los efectos de los problemas son tendencias actuales de tal manera que si se van acumulando tendremos aproximante 12 000 millones de toneladas de residuos plásticos no tratados para el año 2050, así lo indica el (Ministerio de la Producción, 2021, p. 14).

Según Eliasury et al., (2015, p. 35), el bioplástico fabricado a partir de almidón de plátano comparte características con derivados de petróleo, a diferencia que el bioplástico es completamente biodegradable y no tóxico, y se está extendiendo en varios sectores: medicina (prótesis, hilos de sutura); alimentación (productos de catering, empaques); juguetes, e incluso en el mundo de la moda y por supuesto en bolsas biodegradables, así mismo se reduce la emisión de dióxido de carbono (CO₂), durante la producción convencional se reducen con la producción de bioplástico entre 0.8 y 3.2 toneladas de CO₂.

La producción creciente de derivados de petróleo es cada vez mayor, siendo un recurso no renovable y perjudicial al medio ambiente, esto ha hecho que en los últimos siglos demanda un producto sustituto y menos contaminante, muchos estudios se han venido investigando para disminuir las preocupaciones de consecuencias negativas del uso de plástico derivado de polímeros puesto que afecta a la cadena trófica alternando el ámbito, por ello es que se utiliza productos similares como nuevas alternativas de tratamiento y tecnología de productos vegetales, es así como nacen los bioplásticos que

se degrada dependiendo del contenido microbiano del ambiente en el que se desecha (Garrido, 2020, p. 15).

La importancia del aprovechamiento de *Musa paradisiaca* en la elaboración de bioplástico es una alternativa beneficiosa que es utilizada por el ser humano debido a que su proceso no genera contaminantes al medio ambiente, siendo esto derivado de recursos naturales renovables en comparación de la elaboración de plástico derivado de petróleo, del mismo modo que será posible reducir los contaminantes, sirviendo también como compostaje.

1.2. Formulación del problema

¿El bioplástico elaborado a partir de *Musa paradisiaca* posee propiedades tecnológicas adecuadas para su uso de permeabilidad, resistencia a la tensión y biodegradabilidad?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Fabricar bioplástico de *Musa paradisiaca* (banano) y estudiar sus propiedades tecnológicas y de biodegradación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la permeabilidad del bioplástico fabricado de cáscara de *Musa paradisiaca* (banano).
- Determinar la resistencia a la tensión del bioplástico elaborado a partir de la cáscara de *Musa paradisiaca*.
- Estudiar el tiempo de biodegradabilidad del bioplástico.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al utilizar cáscara de *Musa paradisiaca* (plátano) será posible fabricar bioplástico y medir sus propiedades tecnológicas y de biodegradación.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Bioplástico fabricado de *Musa paradisiaca* tiene una adecuada permeabilidad ante los líquidos de agua y aceite.
- Bioplástico fabricado de *Musa paradisiaca* es resistente a la tensión.
- La descomposición del bioplástico fabricado es fácil biodegradabilidad.

1.5. Antecedentes del estudio

1.5.1. Internacionales

En el estudio realizado, Razak et al., (2020), Malaysia, tiene de título; “*Biodegradable Banana Peels-Based Plastic –A Review*”, con el objetivo de analizar las propiedades del bioplástico producido en términos de fuerza, composición química y propiedades físicas. En este estudio se utiliza la cáscara de plátano como posible reemplazo del material plástico derivado del petróleo de tal manera mejorar la eficiencia de la industria del plástico. Para tener mayor flexibilidad se añade glicerol como plastificante, así mismo se agrega metasulfito de sodio o canela molida, el cual inhibe el crecimiento de bacterias y hongos, por lo tanto, la degradación del bioplástico comienza después de tres o cuatro meses a partir de la fecha de fabricación, y tiene suficiente resistencia a la tracción. Concluyeron que el almidón tiene una larga cadena de polímeros para hacer bioplástico libre de químicos y sustancias tóxicas.

En el estudio realizado por Jiménez (2019), Colombia, tiene de título; *“Análisis del bioplástico de banano desde la perspectiva del diseño industrial para posible aplicación en diseño de producto”*, con el objetivo de analizar las características y propiedades del bioplástico fabricado con cáscara de banano a través de exploraciones formales, estéticas y de escenarios para identificar una posible aplicación en diseño de producto; este estudio industrial el cual se divide en tres secciones: estética, donde se realiza la pigmentación con colores azul, rojo y verde para identificar si absorbe o no el color y si sufre alguna alteración, así como la textura para identificarse si es de fácil material copiarlas, así mismo aplicar brillo natural y generarlo para identificar capacidad de acabados, como la fragancia natural para eliminar su olor base de banano, por otro lado la sección formal, indica la unión utilizando características pegajosas de la unión de dos muestras del material, el doblado para conocer la resistencia de la ruptura, el ensamble para mejorar la resistencia, cuya propiedad es característica que soporte peso, así mismo en su aplicación el empaque que determinará conocer su capacidad como también ver si puede albergar tierra y plantas para verificar si resiste a la oxidación y su capacidad para contener estos elementos. Este estudio concluye que el material se puede transformar en 15 aspectos diferentes tales como forma, color, textura, doblado y ensamblado además de encontrar una gran resistencia a los golpes.

En la investigación realizada por Joaqui y Villada (2013) Colombia, tiene de título *“Propiedades ópticas y permeabilidad (de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón)”*, con el objetivo de estudiar las propiedades ópticas y la permeabilidad al vapor de agua realizadas a partir de dos variables: almidón de yuca e hidrolizado y ácido poliláctico, las propiedades se evaluaron en 1; 8; 60 y 120 días por un proceso de extrusor de tornillo simple, utilizó 75% almidón y 25% glicerina a temperatura de 103.3°C, a partir de ello se obtuvo con películas con una ligera tendencia a color amarillo

con longitud de 83.92 cm y 87.89 cm, se obtuvo una permeabilidad del primer día a 7.39×10^{-11} g/Pa*s*m y en el día 120 se obtuvo 4.73×10^{-11} g/Pa*s*m, así es que durante el envejecimiento el contenido de plasticidad disminuye y por ende también disminuye la permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) al vapor de agua.

Según estudios realizados por Asqui y Jarrin (2015) Guayaquil – Ecuador, tiene de título “*Producción y Comercialización de Plástico Biodegradable a partir de la Cáscara de Banano en la ciudad de Guayaquil*”, con el objetivo de disminuir los niveles de contaminación, ayudando a conservar el medio ambiente, ya que los plásticos a base de petróleo no se deterioran con facilidad. Esta investigación indica que con el plástico biodegradable se obtiene una sustancia producida a partir de fuentes naturales que no contienen cargas químicas y no representan riesgo para el medio ambiente, los cuales ayuda a la descomposición natural que sirve como compost, por lo tanto el banano que se utiliza como material rico en almidón para la elaboración de bioplásticos es rica en carbohidratos y fibra, especialmente es un tipo llamado “FOS” (fructooligosacáridos), este tipo de carbohidrato no digerible apoya al crecimiento de bacterias que beneficia al colon, por ende dicho estudio propone que a partir de la cáscara de plátano se puede lograr realizar el lanzamiento de plástico biodegradable al mercado en que una empresa pretenda instaurarse en alta calidad.

1.5.2. Nacionales

En el estudio realizado por Barrios (2017) Lima-Perú, tiene de titulado; *“Reaprovechamiento de las cáscaras de plátano Musa paradisiaca para la elaboración de bioplástico en Yangas - Santa Rosa de Quives, 2017”*, con el objetivo de elaborar un bioplástico a partir del reaprovechamiento de las cáscaras de plátano *Musa paradisiaca* en Yangas - Santa Rosa de Quives. Esta investigación se dividió en tres etapas: extracción de almidón, elaboración del bioplástico y ensayo de biodegradabilidad de bioplástico a nivel casero tomando una referencia de la norma ISO 17556:2012. En la primera etapa se utilizó el método por decantación y cuarteo con algunas variantes, se varió la temperatura y la utilización de un oxidante. En la etapa dos se realizó la hidrólisis química para lograr polimerizar. En la última etapa se utilizó compost como medio de degradación. Se concluyó que si es eficiente la elaborar un bioplástico con el almidón de cáscara de plátano.

En la tesis realizada por Garrido (2020) Piura-Perú; de título *“Elaboración de bioplástico a partir de la palta (Persea americana) con cáscara de plátano (Musa Paradisiaca) y almidón de papa (Solanum tuberosum), con su efecto de elasticidad”*. Para esta investigación se elaboró láminas biodegradables, estas se elaboraron con la reestructuración del almidón de papa que fue obtenido por el método húmedo; el almidón al tener contacto con el agua y ser sometido a una temperatura de 70°C aumentó, esto sucede ya que las moléculas de hidrógeno al unirse con el almidón forman un gel, el mismo que al enfriarse forma láminas dejándolo reposar en superficies planas. Se realizaron 3 muestras con 0,05 g, 0,10g y 0,15 g de cáscara de palta; de estas 3 muestras se logró determinar las características físico-químicas de las láminas como lo es pH, el mismo que fue 7.89, 7.71 y 7.24; para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente, en cuanto a las muestras evaluadas no presentaron acidez titulable, mientras que la humedad fue de

8.48%, 11.25% y 11.51% para las formulaciones con 0,05 g, 0,10g y 0,15 g de cáscara de palta respectivamente.

En la investigación realizada por Chinchayhuara y Quispe (2018) Trujillo-Perú; su investigación titulada “*Elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos a base de cáscara de plátano y mango para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos en Trujillo – 2018*”, la investigación se basó en elaborar bioplásticos con cáscara de plátano y mango como materia prima, con características iguales a los plásticos convencionales. En el proceso de elaboración se utilizó el ácido acético o vinagre blanco, glicerina vegetal, agua, cáscara de plátano licuado con todos ellos se hizo una mezcla homogénea a una cierta temperatura de la misma forma con la cáscara de mango luego en un molde se dejó secar a temperatura ambiente; como resultado se consiguió una biodegradabilidad de 0.009g en tiempo de dos semanas, densidad de 0.6049 (g/cm³), si es flexible, peso de 1.2098g para el bioplástico de cáscara de plátano y el bioplástico de cáscara de mango tuvo una biodegradabilidad de 0.001g en tiempo de dos semanas, densidad de 0.2752 (g/cm³), si es flexible y pesó 0.5510 g.

1.6. Bases teóricas

Bioplástico

Es un material sustituto del plástico, con la finalidad de disminuir las desventajas que trae la producción de polímeros al medio ambiente y la población humana, material de fácil degradación, que se obtiene principalmente utilizando recursos renovables y en algunos casos sus características se asimilan con los plásticos provenientes del petróleo, para su elaboración de fuentes vegetales existen diferentes tipos: polímeros obtenidos a partir de biomasa, polímeros a partir de síntesis química obtenidos a partir de recursos naturales y polímeros obtenidos por microorganismos (Pacheco, 2014, p. 10).

Cáscara de *Musa paradisiaca* (plátano)

El nombre de plátano, banano, cambur o guineo, clasificado por Carlos Linneo como *Musa paradisiaca* en 1753, teniendo como origen en Asia Meridional, siendo el cuarto cultivo de frutas más importante del mundo, la cáscara de plátano se caracteriza por transformar alrededor del 90% de su almidón a azúcares en 12 días después de su cosecha, la cáscara de plátano tiene una propiedad de adsorción. La cáscara molida tiene capacidad para extraer iones de metales pesados del agua y de los parámetros que intervienen en este proceso, la adsorción de la cáscara de plátano se debe en gran parte a la lignina que son polímeros insolubles, presenta un elevado peso molecular, presentando un elevado peso molecular, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (cumaralíco, coniferílico y sinapílico). El acoplamiento aleatorio de estos radicales de origen a una estructura tridimensional, polímero amorfo, característicos de la lignina (González y Guerra, 2016, p.37).



Figura 1. Almidón licuado de cáscara de Musa paradisiaca

Del mismo modo para Ríos (2014), la harina de cáscara de banano maduro, cuenta con los siguientes porcentajes: carbono (C) 45.4%, hidrógeno (H) 4% y nitrógeno (N) 1.1%, la biomasa representó el 1.26% de la biomasa estudiada. Por lo tanto, la adsorción de metales pesados estudiados en el presente trabajo mediante el uso de la harina de cáscara de banano es favorecida por el porcentaje alto de carbono que contiene, y en bajas cantidades los porcentajes de H, N y cenizas (p. 60).

Según Quinceno, Giraldo y Villamizar (2014) indican que el plátano durante el proceso de maduración tiene grandes cambios fisicoquímicos, como aumento en los sólidos solubles totales y la acidez titulable (ácido málico), aumentando el contenido de azúcares en el fruto, la concentración de almidones disminuye debido a la hidrólisis que sufren estos en el proceso de maduración, además de reducir el pH por la presencia de mayores concentraciones de ácido málico en la fruta. El plátano en procesos industriales de preparación de pastas es del segundo día de cosecha, con propiedades fisicoquímicas y 24% de almidón, balance óptimo para moldear y someter a fritura la pasta obtenida (p.53).

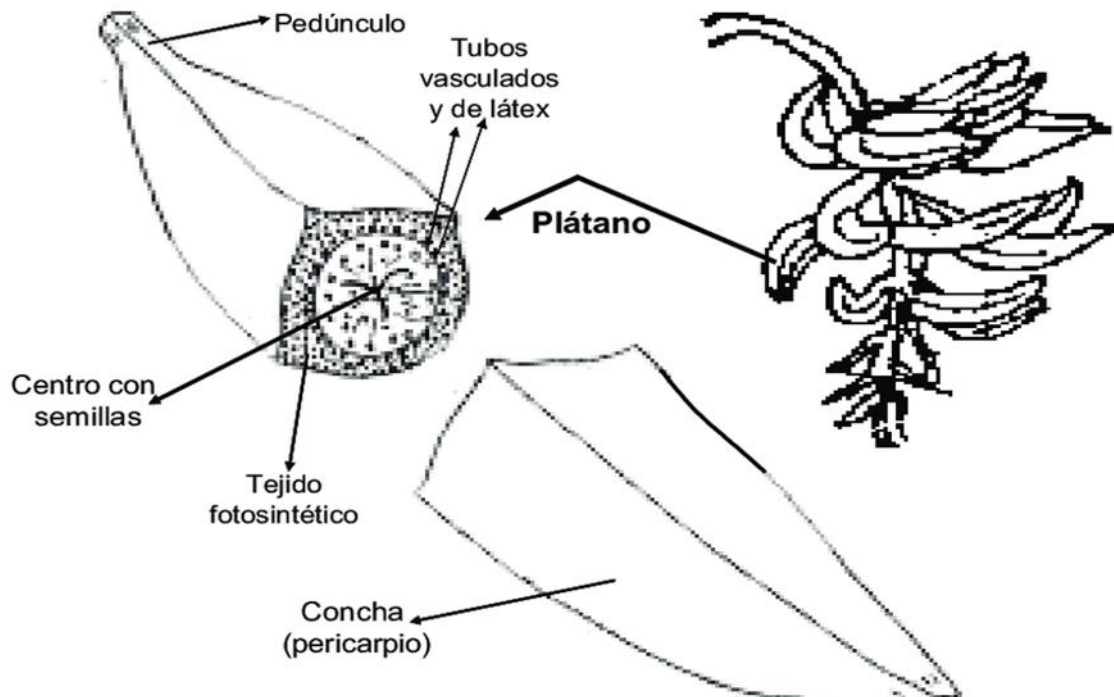


Figura 2. Partes de *Musa paradisiaca*

Fuente. Anido et al., 2018, p. 24

Se considera además que la cáscara de *Musa paradisiaca* es un compuesto lignocelulósico que contiene: celulosa, hemicelulosa y lignina; pues la cáscara de banano maduro es el material lignocelulósico, que representa alrededor del 40% del peso total de la fruta (Monsalve, Medina y Ruíz, 2006, p. 24).

Tabla 1

Composición química de la cáscara de banano

Cáscara de banano	
Componentes	% base seca
Almidón	39.89
Humedad	89.1
Hemicelulosa	14.8
Celulosa	13.2
Lignina	14
Magnesio	0.16
Calcio	0.29
Cenizas	11.37

Fuente. (Monsalve, Medina y Ruíz, 2006, p. 24).

Nota. En la tabla 1 se muestra la composición química de la cáscara de plátano, en dónde describe que contiene 89.1% de humedad seguidamente un 39.89% de almidón y en pequeñas proporciones calcio 0.29% y magnesio 0.16%.

La planta de *Musa paradisiaca* se considera una planta herbácea perenne, que puede alcanzar hasta 8m de altura, pues el tallo de la planta es un órgano subterráneo que solo sobresale del suelo en su época de floración, considerándose así que *Musa paradisiaca* fue descrita por Carlos Linneo y publicado en *Species plantarum*, con la siguiente taxonomía:

Tabla 2

Clasificación taxonomía de Musa paradisiaca

Reino	<i>Plantae</i>
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	<i>Musa L.</i>
Especie	<i>Musa paradisiaca L.</i>
Nombre común	Plátano, banano(a), cambur, topocho o guineo

Fuente. (Araneda, Correa y Irazabel, 2019, p.12).

Nota. En la tabla 2 se describe la clasificación taxonómica de la planta de *Musa paradisiaca*.

Almidón de cáscara de plátano

El almidón extraído de la cáscara de plátano es uno de los componentes principales para la elaboración de bioplástico de banano el cual se extrae y se combina con otros ingredientes para que sea viable la elaboración del bioplástico u otros usos industriales, de tal manera que en la ciencia de la física es importante por sus propiedades puede ser en líquido o sólido, compuesto de cadenas de azúcares o glucosa, puesto que esto es producto de la fotosíntesis y representa el material alimenticio de reserva o en el endospermo de las semillas (Sánchez K, 2017).



Figura 3. Almidón licuado obtenido de cáscara de Musa paradisiaca (plátano)

Agua destilada

El agua destilada es obtenida mediante el proceso de destilación por medio de evaporación para luego ser recolectada el agua condensada, cuya finalidad es desproveer al agua de sales minerales, electrolitos microorganismos y posibles sustancias dañinas disueltas en ella en la que se obtiene su máxima pureza, definidos por parámetros físico-químicos como conductividad eléctrica, resistividad, contenido de carbono, oxígeno o

sílice, propia para ser utilizada en laboratorio para métodos de ensayo (Valdivia, Pedro y Laurel, 2010).



Vinagre blanco

El vinagre blanco permite que la estructura del plástico del polímero se estabilice, al neutralizar los polímeros irregulares que se encuentran presentes en el almidón; y consume además la amilopectina, la cual genera una correcta plastificación del bioplástico (Sierra, Solano, y Valderrama , 2019, p.13).



Glicerina

La glicerina es un insumo químico que genera elasticidad y flexibilidad proporcionalmente a su cantidad, por lo que es de fácil biodegradación por especies *Bacillus circulans* y *Aspergillus fumigatus* (Barrios, 2017, p. 62).



Canela

La canela es una planta aromática que al incorporar en un bioplástico es para obtener propiedades antimicrobianas, reduciendo la proliferación de hongos y bacterias que se generan durante el almacenamiento de larga vida (Fundación Descubre, 2016).



Maicena o fécula de maíz

El almidón de maíz es un polímero natural, que puede ser plastificado, biodegradable y resistente en la elaboración de objetos de uso cotidiano como vasos, bolsas platos y hasta pañales para sustituir los fabricados derivados de petróleo los cuales contaminen el medio ambiente y se degradan por lo menos en cien años. En cambio, los productos elaborados a base de almidón de maíz son amigables con el medio ambiente por sus características biodegradables pues tienen capacidad de degradarse en menos de un año en el medio ambiente (DICYT, 2010).



Colorante natural

El colorante natural u orgánico en sector de los plásticos tiene en cuenta una complejidad creciente del mercado, la elección y el desarrollo de los colores ideales involucrados se acompletejan los niveles de tolerancia a la pieza, resina utilizada, temperatura de procesamiento a toxicidad y otros, así mismo poseen bajo índice de refracción elevado poder tintóreo, alta solidez a la luz a la temperatura y alto brillo (Mariano, 2011, p. 2).

1.7. Justificación

La presente investigación tiene como finalidad elaborar bioplástico a partir del material orgánico cáscara de *Musa paradisiaca* (banano o plátano de seda) para la obtención del almidón, en el que posee propiedades tecnológicas de permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$), resistencia a la tensión (cm/mL) y es fácil de degradación, siendo un pilar fundamental que atribuye en la reutilización del material vegetal, y así dejar la dependencia y utilización de los plásticos derivados de petróleo que nos encamina a la alteración negativa del medio ambiente.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

La presente investigación es de tipo Experimental con análisis cuantitativo continuo, mediante el cual se analizará la medición de parámetros como: resistencia a la tensión (cm/mL), permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) y biodegradabilidad (g/día); por tal sentido se realiza la manipulación de una variable, cáscara de plátano como variable independiente y el bioplástico así mismo las propiedades tecnológicas y de biodegradación como variables dependientes. “Así contribuir favorablemente a la protección del medio ambiente, debido que permitirá reducir el consumo de los plásticos provenientes del petróleo, ya que el bioplástico posee mayores capacidades de degradación” (Jiménez, 2019, p.8).

2.2. Población y muestra (Materiales y equipos, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La población está conformada por 16 ejemplares de bioplásticos de *Musa paradisiaca* codificados, de todos ellos se medirá sus propiedades de tal manera que se ordenó por 4 tratamientos cada uno con 4 repeticiones.

Tabla 3

Codificación de ejemplares de bioplástico de Musa paradisiaca.

Tratamiento I	Tratamiento II	Tratamiento III	Tratamiento IV
Ejemplar 001	Ejemplar 005	Ejemplar 009	Ejemplar 013
Ejemplar 002	Ejemplar 006	Ejemplar 010	Ejemplar 014
Ejemplar 003	Ejemplar 007	Ejemplar 011	Ejemplar 015
Ejemplar 004	Ejemplar 008	Ejemplar 012	Ejemplar 016

Nota. En la tabla 3 se muestra cuatro tratamientos haciendo un total de 16 ejemplares de bioplástico que serán medidos sus propiedades tecnológicas y de biodegradación.

2.2.2. Muestra

Para la muestra se sacó 3 fragmentos de distintas medidas, de cada uno de los ejemplares haciendo un total de 48 fracciones, de los cuales 16 tienen una medida de 20 cm x 2 cm para medir la resistencia a la tensión (cm/mL), 16 con medida de 15 cm x 13 cm para medir la permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) y por último 16 tienen una medida de 5 cm x 3 cm para medir la biodegradabilidad (g/día).

2.2.3. Materiales y equipos

Para lograr con el objetivo propuesto, en la presente investigación se utilizó los siguientes materiales:

2.2.3.1. Materiales

- Olla de acero inoxidable.
- Canela molida
- Papel aluminio
- Regla de 30 cm
- Tijera punta roma
- Espátula
- Cocina de mesa
- Placas Petri de vidrio
- Pipeta de 3 mL
- Calculadora CASIO fx-991LA PLUS

2.2.3.2.Equipos

- Balanza analítica de 250 mg
- Vernier digital Starrett de 6 cm
- Celular Samsung S8
- Licuadora Oster

2.2.3.3.Insumos

- Glicerina $C_3H_8O_3$
- Cáscara de *Musa paradisiaca* (plátano maduro)
- Vinagre blanco o Ácido acético CH_3COOH
- Agua destilada
- Maicena o fécula de maíz
- Colorante natural

2.2.3.4.Método

Se empleó el método científico experimental con análisis cuantitativo continuo.

- En un recipiente plástico se diluyó en 250 mL de agua destilada, con la finalidad de diluir los demás insumos a agregar.
- Se adicionó 30 g de maicena llamado también fécula de maíz.
- Se agregó 0.5 g de canela molida.
- Se añadió 10, 15, 20 y 25 mL de vinagre blanco.
- Se añadió 10, 20, 30 y 40 mL de glicerina.
- La mezcla se colocó en una olla de acero inoxidable y se puso a fuego de $70^{\circ}C$ por 25 min con agitación constante hasta obtener una pasta uniforme.
- Se agregó 05 gotas de colorante natural.
- La *Musa paradisiaca* maduro fue lavado y posteriormente se procedió a sacar 30, 35, 40 y 45 g de almidón de la cáscara, con ayuda de una espátula.

- Luego se procedió a licuar el almidón con agua destilada por 3 minutos.
- Una vez licuado se adicionó a la pasta que estaba siendo homogenizada y se colocó el almidón licuado haciendo agitación por 5 minutos para eliminar posibles grumos que puede haber.
- Se dejó enfriar 1 minuto, luego se procedió a colocar en una fuente plana de papel aluminio dispersando con la espátula en una fina capa uniformemente.
- Dejó secar durante 5 días a temperatura ambiente para luego proceder a realizar el análisis.

2.2.4. Muestreo

El muestreo es no probabilístico, debido a que se tomó como criterio la selección por promedio de espesor en los cuatro tratamientos de bioplásticos cáscara *Musa paradisiaca* conocido comúnmente como plátano de seda o banano, que cuenta con la siguiente característica.

- ✓ El plátano tiene que tener un color amarillo rojizo, en buen estado.

2.2.5. Instrumentos

La ficha es utilizada como instrumento de recolección de datos, según Arias (2006) afirma: si se hace uso de la técnica de análisis documental para recabar la información el instrumento a utilizar es la ficha para el registro y clasificación de los datos e información obtenida para la investigación (p. 68).

Se utilizó balanza analítica Denver Instrument Company, del laboratorio IN-VITRO de Semillas Forestales de la Asociación Civil para la Investigación y el Desarrollo Forestal (ADEFOR) en la ciudad de Cajamarca, ubicado en Carretera Otuzco km 3.5 localizada en el norte del país, entre las coordenadas geográficas 4° 30' y 7° 30' de latitud sur y entre 77° 47' y los 79° 20' de Longitud

Oeste, presenta una superficie aproximada de 33,317.5 Km², la balanza analítica consistente en medir pequeñas masas, cuya capacidad es de 250 miligramos, identificada con código 11-064-1011, apta para mediciones de muestras de laboratorio utilizada desde el año 2010.



Figura 4. Balanza analítica de 250 miligramos

Así mismo se utilizó Vernier Digital Starrett de Tecniprecisión del Laboratorio de Metrología del Servicio de Creditación Ecuatoriano N°SAE-LCA-17-003 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN descargado de Aplicación, para realizar medidas de grosor del bioplástico, así como también la elongación en resistencia a la tensión (cm/mL).

Su servicio de calibración designa a la longitud como una magnitud determinada por la distancia física, es una de las magnitudes física fundamentales en tanto que no puede ser definida en términos de otras magnitudes que se puedan medir. El Sistema Internacional de Unidades reconoce al metro (m) como la unidad básica de longitud, y a todas las unidades derivadas de éste. El Laboratorio de Dimensional Longitud calibra instrumentos como:

- Calibradores pie de rey.
- Micrómetros de exteriores.
- Reloj comparador y palpador.



Figura 5. Vernier digital de 6 centímetros

✓ **Determinación de propiedades físico-químicas del bioplástico**

Después de 5 días de secado a temperatura ambiente se procedió a retirar la muestra del papel aluminio, en el cual se obtuvo bioplástico de medida 46.1 cm de largo y 29.1 cm de ancho para luego ser medido sus propiedades:

✓ **Determinación de la permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) del bioplástico**

Para determinar la permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) se colocó el bioplástico sobre un vaso de vidrio transparente de capacidad de volumen de 250 mL, al bioplástico se le hizo un empuje de 0.015m^2 hacia el vacío del vaso, en forma de colador para agregar agua y aceite para observar en tiempo de 1440 minutos o 24 horas y verificar si es permeable o no es permeable.

✓ **Determinación de resistencia a la tensión (cm/mL) del bioplástico**

Para medir la resistencia a la tensión (cm/mL) que tenía el bioplástico, se cortó el bioplástico en medida de 20 cm de largo por 2 cm de ancho, para posteriormente en un lado del bioplástico se colocó atado a ello una botella plástica con volumen de 600 mL, y se procedió a llenar agua potable empezando a medir su resistencia de volumen desde 50mL hasta 500mL en el que a su vez se pudo observar que mientras el volumen aumentaba en la botella plástica, su medida del bioplástico era en aumento debido a que se podía destacar que existe elongación, medido por vernier digital.

✓ **Determinación de la biodegradabilidad (g/día) del bioplástico**

En un recipiente de reciclaje se colocó suelo agrícola y en pequeños trozos de 1cm^2 se cortó el bioplástico y se colocó dentro de este suelo y se esparció gotas de agua potable puesto que tenemos épocas de lluvia y concentraciones de humedad en el suelo, controlando así cada 5 días el agua que exista en la tierra y poder de esta manera verificar en cuanto tiempo se ha biodegradado el bioplástico de *Musa paradisiaca*. Por otro lado,

en dos recipientes transparentes plásticos, se adicionó 450 mL de agua potable en cada uno y se cortó en trozos pequeños de 1 cm² de bioplástico y se colocó en el agua diferenciando bioplástico con grosor de 0.01mm y 0.03 mm, y observar cuál de ellos se degrada con mayor facilidad, motivo por el cual hoy en día hay una gran cantidad de plásticos en fuentes hídricas presentes en agua dulce o salada, así mismo el mismo tamaño de corte de trozos de bioplástico se dejó a degradar bajo condiciones ambientales.

Tabla 4

Ficha de análisis del bioplástico

		Insumos					
	Código	Almidón (g)	Maicena (g)	Glicerina (mL)	Vinagre blanco (mL)	Agua destilada (mL)	Canela molida (g)
Tratamiento I	E-001	30	20	10	10	250	0.5
	E-002	30	20	10	10	250	0.5
	E-003	30	20	10	10	250	0.5
	E-004	30	20	10	10	250	0.5
	E-005	35	20	20	15	250	0.5
Tratamiento II	E-006	35	20	20	15	250	0.5
	E-007	35	20	20	15	250	0.5
	E-008	35	20	20	15	250	0.5
	E-009	40	20	30	20	250	0.5
Tratamiento III	E-010	40	20	30	20	250	0.5
	E-011	40	20	30	20	250	0.5
	E-012	40	20	30	20	250	0.5
Tratamiento IV	E-013	45	20	40	25	250	0.5
	E-014	45	20	40	25	250	0.5
	E-015	45	20	40	25	250	0.5
	E-016	45	20	40	25	250	0.5

Nota. En la tabla 4 se presenta una ficha análisis de 4 tratamientos cada uno con 4 repeticiones, haciendo un total de 16 ejemplares de bioplásticos a partir de *Musa paradisiaca*, para determinar sus propiedades tecnológicas de permeabilidad, resistencia a la tensión (cm/mL) y biodegradación.

Método

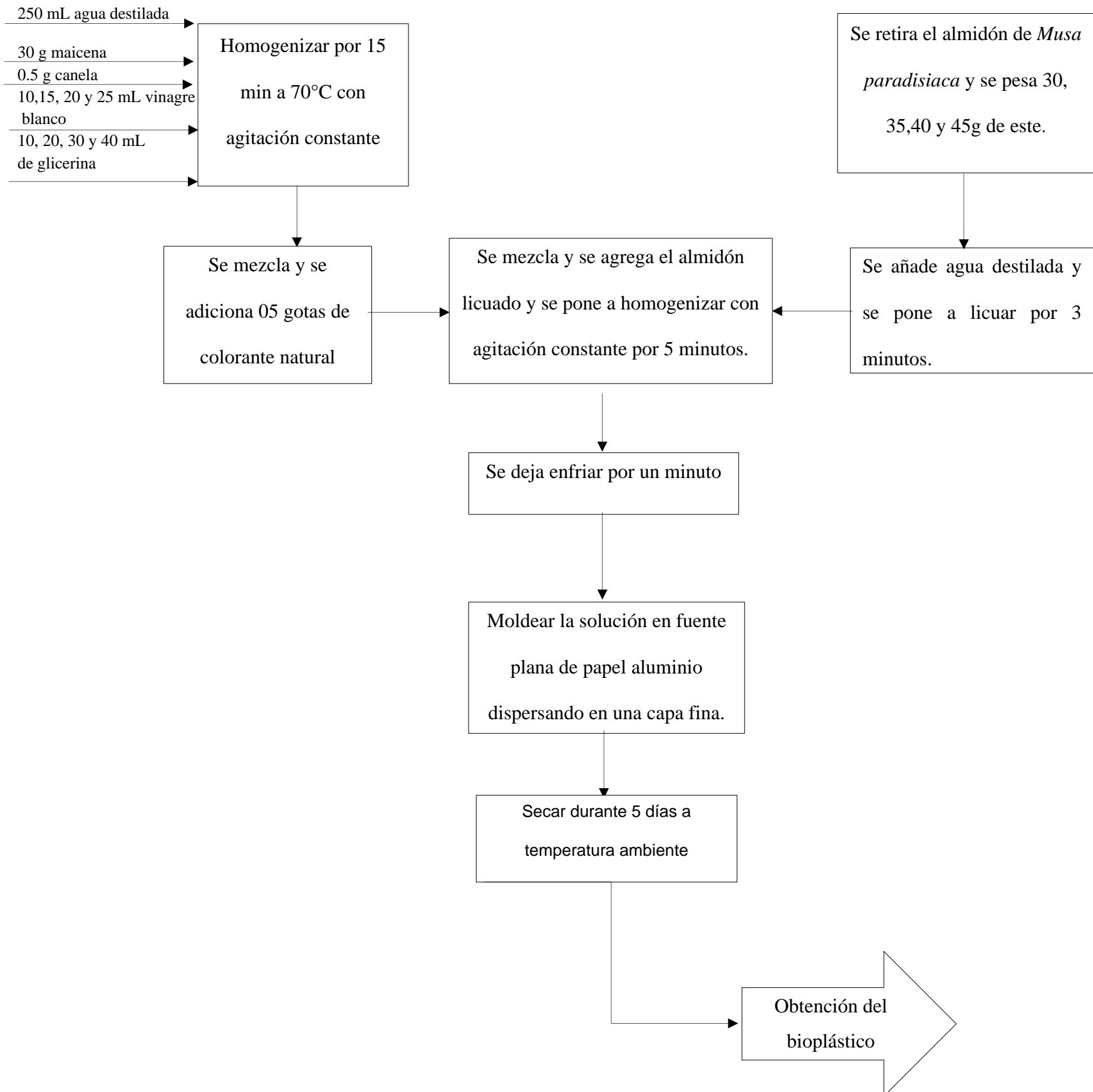


Figura 6. Diagrama de flujo del procedimiento de la obtención del bioplástico

En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo de proceso que se utilizó para obtener el bioplástico a partir de almidón de *Musa paradisiaca*.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Análisis de las propiedades del bioplástico elaborado

Es importante establecer que se estudiaron 4 tratamientos diferentes cada uno con 4 repeticiones haciendo un total de 16 ejemplares de bioplástico de Musa paradisiaca



Figura 7. Bioplástico elaborado de almidón de Musa paradisiaca

Según la figura 7 mostrada, es el resultado del bioplástico en el que se pudo descubrir que el almidón de banano es eficiente para fabricar plásticos biodegradables, puesto que además es un material orgánico, demostrando características como permeabilidad, resistencia a la tensión (cm/mL), y de fácil degradación, cuyas características dependen de su temperatura de cocción durante su proceso de gelatinización, así como también el grosor del bioplástico.

3.2. Determinación de la permeabilidad ($\text{mL} \cdot \text{s} \cdot \text{Kg} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}$) del bioplástico

Se realizó la determinación de la permeabilidad del bioplástico de *Musa paradisiaca*, cuyo resultado se obtiene mediante el contacto con agua potable y aceite mostrando la reacción y demostrar la capacidad del material para permitir que un líquido pase a través del bioplástico sin que se altere su composición y ver la efectividad que retiene los líquidos menos y más densos.



*Figura 8. Prueba de permeabilidad ($mL*s*Kg*Pa*m$) utilizando agua de potable*

Según la figura 8 se puede apreciar que se agregó agua hasta el borde del vaso el cual se esperó 1440 minutos equivalente a 24 horas y no se obtuvo ninguna gota que haya caído al vacío del vaso cristalino, esto indica que es impermeable a los líquidos de mayor y menor densidad, puesto que de la misma manera fue medido el aceite vegetal.

De tal manera que la permeabilidad es el proceso de transferencia de masa/volumen en el cual se produce el paso de moléculas a través del material polimérico, proceso que puede ser descrito por dos mecanismos por un lado el flujo capilar, que implica el paso de moléculas a través de poros o bien defectos propios del material de envase, y el proceso de permeabilidad por difusión, también la afinidad del permeable con la matriz polimérica actúan con filtros de membrana permitiendo el paso de algunas moléculas (Huanchi S, 2013, p. 43).

De tal manera que para calcular la permeabilidad se obtiene la gradiente de presión y se calcula a partir de:

$$P = P_{\text{atm}} + \rho gh.$$

Ecuación 1. Gradiente de presión

Dónde:

P: Gradiente de presión

P_{atm} : Presión atmosférica

ρ : Densidad

g: Gravedad

h: Altura

Así mismo para calcular la permeabilidad ($\text{mL}\cdot\text{s}\cdot\text{Kg}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}$) del bioplástico en cuenta con la Ley de Henry determinada por la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{L \cdot Q}{A \cdot t \cdot \Delta P}$$

Ecuación 2. Ley de Henry

Dónde:

μ : Permeabilidad

L: Espesor de una membrana

Q: Cantidad de masa o volumen de una sustancia

A: Área del bioplástico

t: Tiempo de contacto

ΔP : Gradiente de presión o concentración

Tabla 5

*Permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m) del bioplástico haciendo uso del agua*

Tratamientos	Espesor (mm)	Volumen H ₂ O (mL)	Área (cm ²)	Tiempo (min)	Gradiente de presión (Psi/pie)	Permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m)
Tratamiento I	0.01	50	195	1440	394.7171	4.51E+09
Tratamiento II	0.015	50	195	1440	394.7171	6.77E+09
Tratamiento III	0.02	50	195	1440	394.7171	9.02E+09
Tratamiento IV	0.03	50	195	1440	394.7171	1.13E+10

Nota. En la tabla 5 se evidencia el promedio de permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m) en cada tratamiento del bioplástico de *Musa paradisiaca* en relación al espesor, a cada una de ellas se colocó 50 ml de agua potable que se dejó en contacto con el material elaborado por 1440 minutos equivalente a 24 horas, teniendo como resultado que a mayor grosor de bioplástico se obtuvo menor permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m), con esto se logró comprobar que en cada muestra de bioplástico las moléculas de agua son impermeables.

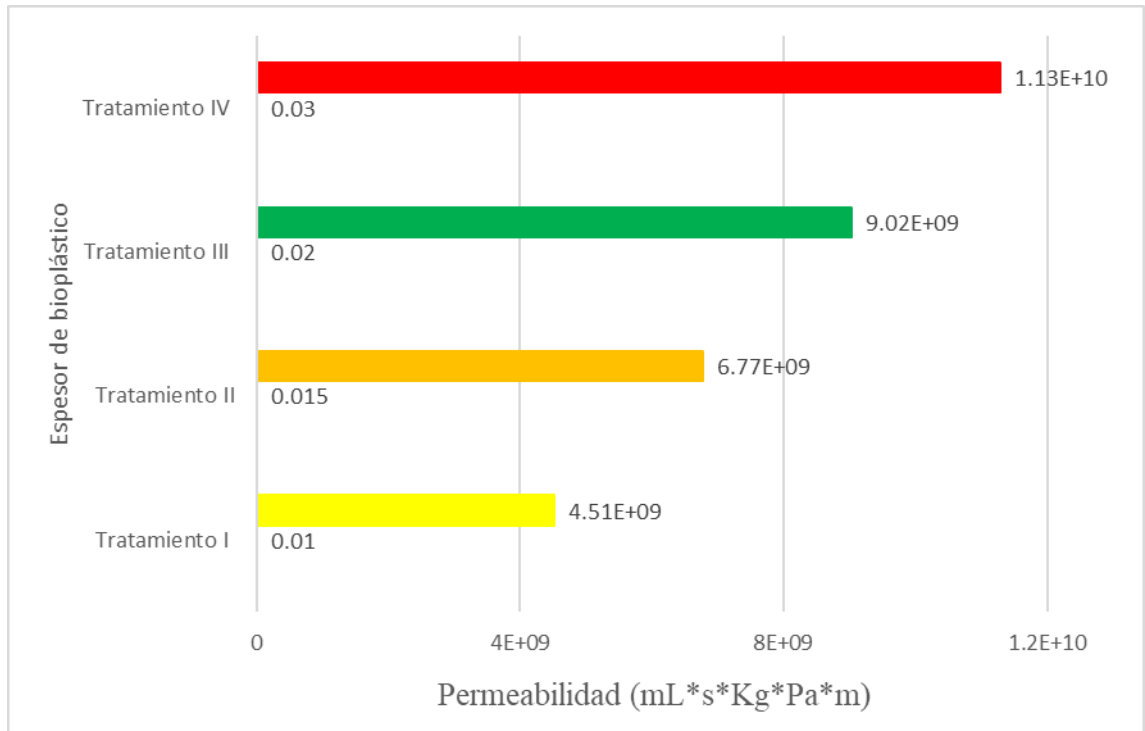


Figura 9. Prueba de permeabilidad ($mL*s*Kg*Pa*m$) utilizando agua potable

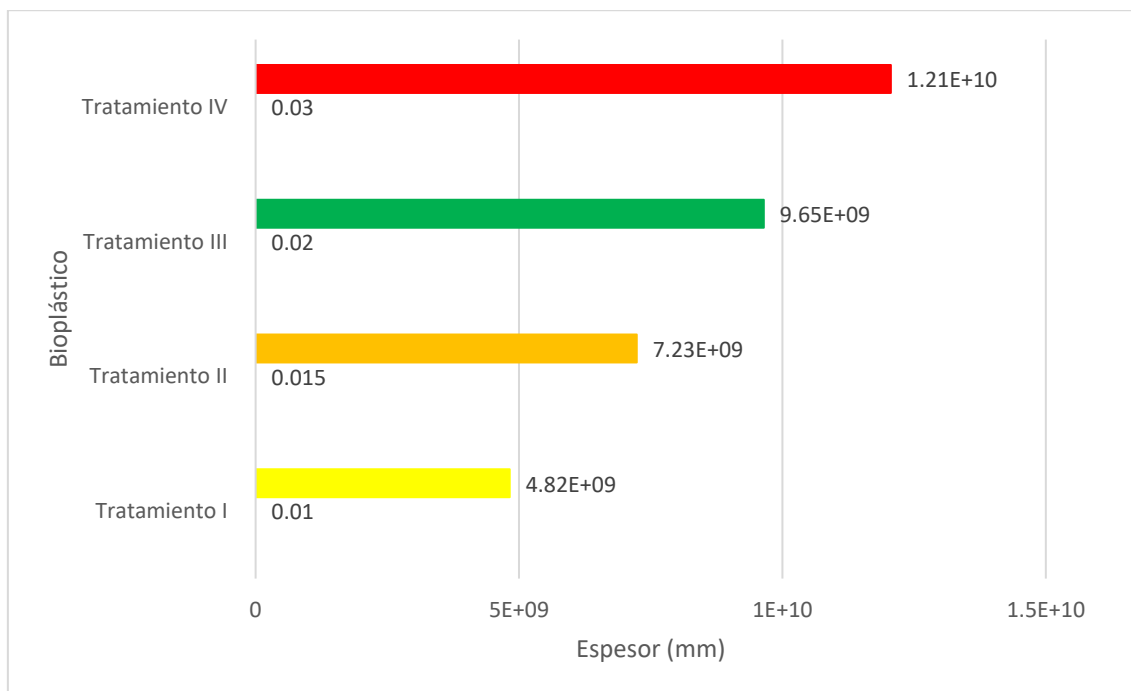
Según la figura 9 se observa que las cuatro tratamientos de bioplástico elaborado de *Musa paradisiaca*, son permeables en agua de acuerdo al espesor; por lo tanto, se determinó que a un espesor de 0,01 mm la permeabilidad es de $4.51 \times 10^{-9} mL*s*Kg*Pa*m$ siendo la primera en ser permeable ante moléculas de agua y en segundo lugar está el espesor de 0,015 con una permeabilidad de $6.77 \times 10^{-9} mL*s*Kg*Pa*m$, en tercer lugar se encuentra el espesor 0.02 con permeabilidad de $9.02 \times 10^{-9} mL*s*Kg*Pa*m$ y finalmente con espesor de 0.03 se tiene una permeabilidad de $1.13 \times 10^{-10} mL*s*Kg*Pa*m$, el cual se considera que está sometido a ser menos permeable. De tal manera que a mayor grosor de bioplástico la permeabilidad es más tardía.

Tabla 6

Permeabilidad (mL/s) del bioplástico haciendo uso del aceite

Tratamientos	Espesor (mm)	Volumen de aceite (mL)	Área (cm ²)	Tiempo (min)	Gradiente de presión (Psi/pie)	Permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m)
Tratamiento I	0.01	50	195	1440	369.17186	4.82E+09
Tratamiento II	0.015	50	195	1440	369.17186	7.23E+09
Tratamiento III	0.02	50	195	1440	369.17186	9.65E+09
Tratamiento IV	0.03	50	195	1440	369.17186	1.21E+08

Nota. En la tabla 6 se evidencia la permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m) del bioplástico ante una grasa menos denso como es el aceite para cada una de las muestras, en un tiempo de contacto de 1440 min equivalentes a 24 horas, con esto se logró comprobar que el bioplástico no fue permeable al aceite.



*Figura 10. Permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m) del aceite en el bioplástico en función al grosor*

En la Figura 10 se demuestra que durante los cuatro tratamientos realizados el agua está sometida a ser permeable en menor tiempo, en cambio el aceite tiende a tardar más tiempo en ser permeable ante este material debido a su densidad, también depende a su espesor de cada bioplástico, para mayor espesor es menos la permeabilidad a menos espesor la permeabilidad es más rápida.

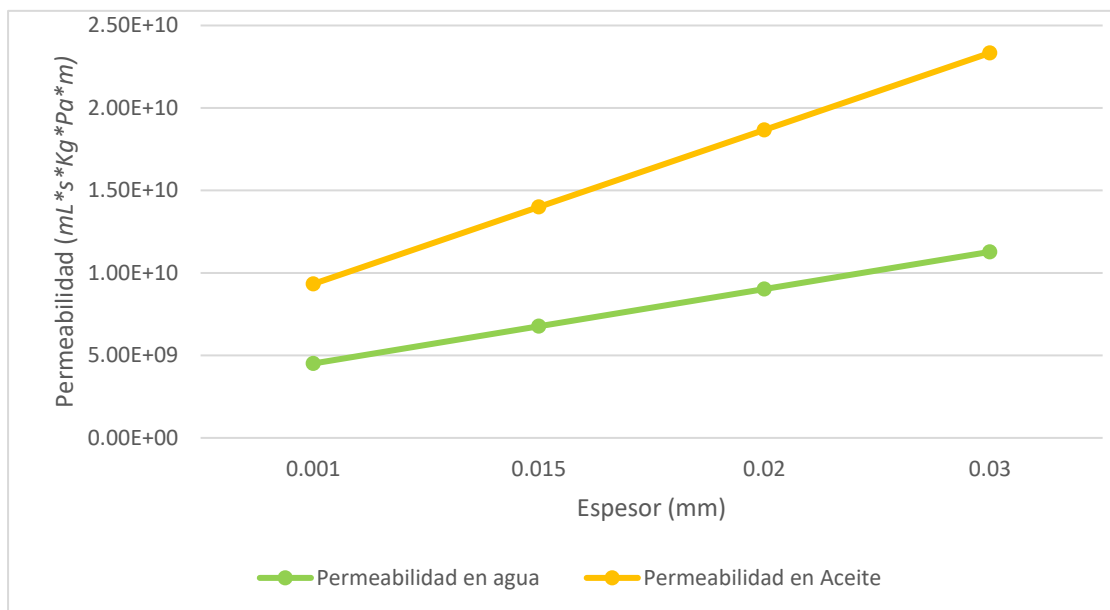


Figura 11. Comparación de permeabilidad ($mL*s*Kg*Pa*m$) entre dos líquidos agua y aceite

Según la figura 11 la permeabilidad ($mL*s*Kg*Pa*m$) en relación con que si un fluido es más o menos denso, se sabe que el aceite tiene una densidad de 910.20 kg/m^3 a diferencia del agua que cuenta con densidad de 997.0 kg/m^3 , por esta razón el agua tiene mayor volumen y por ello facilidad de filtrarse por el bioplástico, en el que se pudo apreciar que a mayor espesor de 0,03 la permeabilidad en aceite será más lenta; a diferencia que se cuenta con menor espesor de 0,01 la permeabilidad es más rápido es decir es más factible de filtrar aceite.



Figura 12. Inflamabilidad del bioplástico

Según la figura 12 se puede apreciar que el bioplástico cambia sus propiedades físicas mediante la combustión, en el que se ha convertido en gases y cenizas. puesto que es incinerado con mucha facilidad y no se extingue rápidamente, mientras no haya llegado al punto final, así mismo se logró percibir un olor a papel quemado, puesto que es elaborado por material vegetal.

3.3. Determinación de resistencia a la tensión (cm/mL) del bioplástico

Para determinar la resistencia a la tensión (cm/mL), se modeló un prototipo, para ello fue extraído un fragmento de bioplástico de 20 cm x 2 cm en unión a una botella con contenido de agua a diferentes cantidades (50, 100, 200, 350 y 500 mL).



Figura 13. Medida de resistencia a la tensión (cm/mL) haciendo uso de una botella plástica

En la figura 13 se presenta un prototipo de cómo ha sido sometido el bioplástico para ser medido la resistencia a la tensión (cm/mL) mediante el agua que va incrementando hasta llegar a un punto de ruptura cada muestra.

Tabla 7

Medida de resistencia a la tensión (cm/mL) del bioplástico con respecto al vinagre

Grosor (mm)	Glicerina (mL)	Vinagre blanco (mL)	0 mL	50 mL	100 mL	200 mL	350 mL	500 mL	Tiempo de rotura (minutos)	Elasticidad (cm)
0.01	10	10	20	20.1	20.1	20.3			13	0.3
0.015	20	15	20	20.1	20.2	20.4	20.6		18	0.6
0.02	30	20	20	20.2	20.4	20.5	20.7	21	21	1.0
0.03	40	25	20	20.3	20.5	20.6	20.8	21.1	23	1.1

Nota. Según la tabla 7 se puede observar que el vinagre blanco y la glicerina son los principales insumos para lograr una mejor resistencia a la tensión (cm/mL) así como también hace que sea flexible, y es utilizado para la fabricación de bioplástico a diferentes concentraciones; en el cual se constata que para espesor de 0.03mm al agregar 40 mL de glicerina y 25 mL de vinagre blanco se logra una mayor resistencia a la tensión (cm/mL), debido a que se rompió después de 23 minutos aplicando la fuerza de 500 mL de agua potable y se obtuvo 1.1 cm de elongación; a diferencia del bioplástico que tiene 0.01 mm de grosor, en donde se agrega menor cantidad 10 mL de glicerina y 10 mL de vinagre blanco, el cual se rompe después de 13 minutos y únicamente tiene una resistencia a la tensión (cm/mL) de 200 mL de agua potable y la elongación más baja con 0.3 cm.

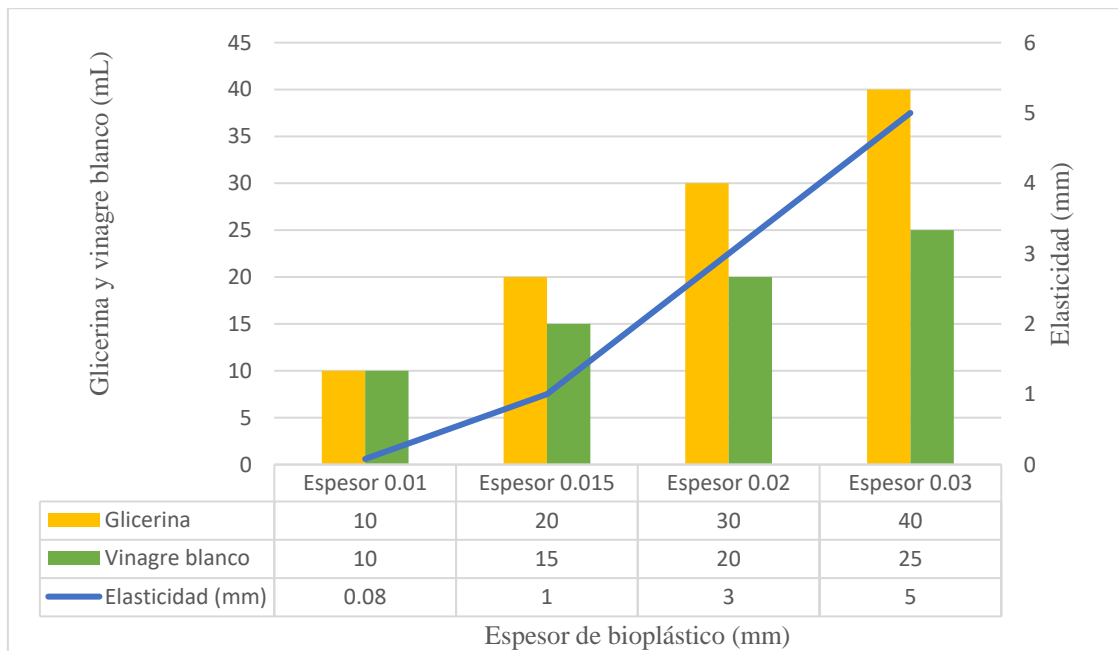


Figura 14. Resistencia a la tensión (cm/mL) con respecto a la glicerina y el vinagre blanco

En esta figura 14 se reafirma la capacidad de dos insumos tales como vinagre blanco y la glicerina para la resistencia a la tensión (cm/mL) del bioplástico elaborado a base de cáscara de *Musa Paradisiaca*; se puede observar que, a mayor grosor 0.03 de bioplástico adicionado más cantidad de glicerina y vinagre blanco existe mayor resistencia a la tensión (cm/mL).

3.4. Determinación de la biodegradabilidad (g/día) del bioplástico

Para determinar la biodegradabilidad (g/día) del bioplástico se realizó bajo condiciones de tres medios: agua potable, tierra húmeda y temperatura ambiente, en la cuales las muestras de bioplástico se procedieron a colocar en estos medios cortado en tamaño de 1cm x 1cm, durante 8 semanas.

Tabla 8

Biodegradabilidad (g/día) del bioplástico durante ocho semanas

Medios de biodegradación	Área de la muestra (cm ²)	Espesor 0.001		Espesor 0.015		Espesor 0.02		Espesor 0.03	
		Peso (g)	biodegradación (%)	Peso (g)	biodegradación (%)	Peso (g)	biodegradación (%)	Peso (g)	biodegradación (%)
Sem-01									
Agua	1	0.16	26.9%	0.17	18.89%	0.189	17.17%	0.192	14.73%
Tierra	1	0.16	8.2%	0.17	6.12%	0.189	5.77%	0.192	4.89%
T° Ambiente	1	0.16	1.5%	0.17	1.30%	0.189	1.16%	0.192	0.96%
Sem-02									
Agua	1	0.14	23.5%	0.15	16.67%	0.175	15.89%	0.183	14.04%
Tierra	1	0.15	7.6%	0.16	5.76%	0.18	5.50%	0.187	4.76%
T° Ambiente	1	0.16	1.5%	0.17	1.30%	0.185	1.13%	0.19	0.95%
Sem-03									
Agua	1	0.125	21.0%	0.14	15.56%	0.16	14.53%	0.17	13.04%
Tierra	1	0.13	6.6%	0.15	5.40%	0.165	5.04%	0.179	4.56%
T° Ambiente	1	0.15	1.4%	0.16	1.22%	0.18	1.10%	0.182	0.91%
Sem-04									
Agua	1	0.08	13.4%	0.12	13.33%	0.14	12.71%	0.16	12.28%
Tierra	1	0.12	6.1%	0.135	4.86%	0.15	4.58%	0.161	4.10%
T° Ambiente	1	0.14	1.4%	0.15	1.14%	0.17	1.04%	0.18	0.90%

Sem-05									
Agua	1	0.05	8.4%	0.105	11.67%	0.12	10.90%	0.14	10.74%
Tierra	1	0.09	4.6%	0.13	4.68%	0.135	4.12%	0.143	3.64%
T° Ambiente	1	0.125	1.2%	0.15	1.14%	0.163	1.00%	0.175	0.88%
Sem-06									
Agua	1	0.03	5.0%	0.08	8.89%	0.10	9.08%	0.127	9.74%
Tierra	1	0.06	3.1%	0.12	4.32%	0.12	3.66%	0.131	3.33%
T° Ambiente	1	0.11	1.1%	0.14	1.07%	0.15	0.92%	0.166	0.83%
Sem-07									
Agua	1	0.01	1.7%	0.06	6.67%	0.08	7.27%	0.111	8.52%
Tierra	1	0.04	2.0%	0.11	3.96%	0.11	3.36%	0.12	3.05%
T° Ambiente	1	0.1	1.0%	0.13	0.99%	0.14	0.86%	0.16	0.80%
Sem-08									
Agua	1		0.0%	0.03	3.33%	0.06	5.45%	0.09	6.91%
Tierra	1	0.035	1.8%	0.08	2.88%	0.097	2.96%	0.105	2.67%
T° Ambiente	1	0.09	0.9%	0.11	0.84%	0.13	0.80%	0.15	0.75%
% Total H ₂ O			100.0%		95%		93%		90.00%
% Total de tierra			40.0%		38.00%		35.00%		31.00%
% Total T° ambiente			8.5%		9.00%		8.00%		7.00%

Nota. En la tabla 8 se evidencia que el porcentaje de los espesores diferentes colocadas durante ocho semanas para su biodegradación, puestos en tres medios; agua potable, tierra húmeda y a temperatura ambiente, en donde se observa cada uno de los trozos de bioplástico de diferentes espesores, destacando así que la biodegradabilidad (g/día) en agua llegó al 100% de efectividad, a diferencia de la biodegradabilidad (g/día) en tierra fue de 40.0% y a temperatura ambiente sólo llegó hasta 8.5% a espesor de 0.01 mm, por otro lado la biodegradabilidad (g/día) a espesor de 0.03 en agua llegó en agua 90.00%, tierra 31% y temperatura ambiente 7%, llegando así a la conclusión que menor espesor es más fácil la biodegradación.

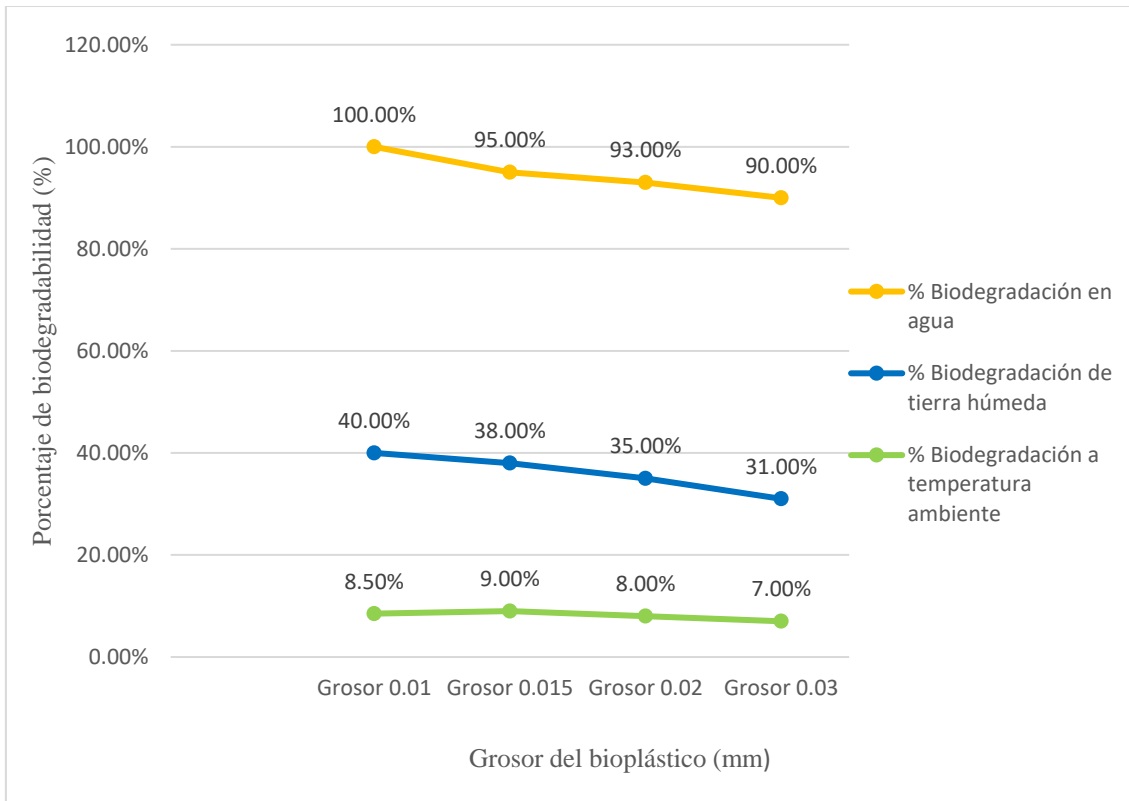


Figura 15. Biodegradabilidad (g/día) del bioplástico alcanzado durante ocho semanas

Según la figura 15 se puede apreciar que el bioplástico elaborado de *Musa paradisiaca* fue sometido al procesos de biodegradación durante ocho semanas, en diferentes medios como: agua, tierra húmeda y temperatura ambiente, en dónde se puede apreciar que la biodegradabilidad (g/día) en estado líquido de agua (H₂O) es la primera fuente de degradación alcanzando el 100%, esto se debe a que tiene menor grosor validado en 0.01 mm, a diferencia de la exposición a degradación en temperatura ambiente que se degradó 8.50%. En contraste con el mayor grosor de 0.03 mm, se biodegradó un 90% en agua y al ambiente sólo un 7.00%, indicando así que a mayor grosor y en medio líquido será más factible la degradación.



Figura 16. a. Biodegradación en tierra húmeda b. Biodegradación en agua

c. Biodegradación a temperatura ambiente

Según la figura 16 se observa la biodegradación en los tres medios (tierra húmeda, agua potable y temperatura ambiente), cada trozo tiene una medida de 1cm² expuestos en el primer día.



a.



b.

Figura 17. a. Biodegradabilidad (g/día) en fuente de agua en cuatro semanas b.

Biodegradabilidad (g/día) en fuente de agua en ocho semanas

En la figura 17 a se puede apreciar con claridad que el agua utilizada biodegrada con más rapidez, por ende, en la semana cuatro ya está en proceso de descomponerse el bioplástico, así mismo se ve que el color ha ido desapareciendo, así como en la figura 5b se observa que en la semana ocho ya no hay ninguna muestra de bioplástico y además no existe color, solo se apreció una mínima turbiedad de agua.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La interpretación de resultados está centrada en las propiedades tecnológicas y de biodegradación tales como permeabilidad, resistencia a la tensión (cm/mL) y biodegradabilidad (g/día), por tal manera se considera que los 16 bioplásticos elaborados a partir de materia vegetal teniendo una mayor facilidad de degradación en menor tiempo a diferencia de los plásticos derivados del petróleo, que su degradación es más prolongada.

La permeabilidad del bioplástico de *Musa paradisiaca* según la figura 9 muestra los resultados de permeabilidad de dos líquidos de diferentes densidades por un lado el aceite con menor densidad de 910.2 kg/m^3 y el agua con una mayor densidad de 997.0 kg/m^3 , donde se logró una permeabilidad de $4.51 \times 10^{-9} \text{ mL*s*Kg*Pa*m}$ de agua por un tiempo de reposo de 1440 min o 24 horas, siendo ésta la primera muestra con un espesor de 0.01 mm a diferencia de la permeabilidad del aceite que se dejó en reposo el mismo tiempo y se obtuvo $6.77 \times 10^{-9} \text{ mL*s*Kg*Pa*m}$, siendo las dos muestras impermeables, a diferencia de la última muestra que se obtuvo con mayor grosor de 0.03 mm y se obtuvo $9.02 \times 10^{-9} \text{ mL/s}$ en agua y en aceite se obtuvo $1.13 \times 10^{-8} \text{ mL*s*Kg*Pa*m}$, esto indica que a mayor plastificante será menor la permeabilidad, tal como lo confirma Fabián y Villada (2013), refiere que la permeabilidad es alterado de acuerdo a los plastificantes, debido a que su presencia aumenta las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero, dando una mayor movilidad molecular el cual va aumentando su permeabilidad al agua o aceite, de tal manera que la glicerina es compatible con material polimérico.

Como se muestra en la Figura 10, donde los resultados obtenidos a diferente dosis de vinagre blanco, con un fragmento inicial de 20 cm de largo por 2 cm de ancho, dónde la primera muestra logró resistir 200 mL con una elasticidad de 0.08 mm en tiempo de 10 minutos, de la misma forma para la segunda muestra resistió 350 mL y se obtuvo una elasticidad de 1 mm en tiempo de 15 minutos, de la misma forma para la tercera muestra resistió 500 mL con una elasticidad de 3 mm en tiempo de 17 minutos y finalmente para la última muestra se obtuvo una máxima elasticidad de 5 mm congruente a resistir 500 mL de agua en tiempo de 19 minutos. Por ende el vinagre blanco logra una mayor consistencia del bioplástico, debido a que consume la amilopectina del polisacárido del almidón, y así permitir una correcta plastificación del bioplástico elaborado, en comparación con Chinchayhuara y Quispe (2018), quién aplica insumos para dos diferentes tipos de bioplástico uno de cáscara de mango de 10 g de almidón y para cáscara de plátano también en 10 g de almidón en cantidades de 50 mL de glicerina, 10 mL de vinagre, 10 g de maicena y 20 mL de agua, misma cantidad para los dos bioplásticos, concluyendo que la cáscara de plátano es más eficiente ya que tuvo un resultado de 1,2098 g a diferencia de la cáscara de mango que fue de 0.5510 g. Por lo tanto este bioplástico es útil para su fabricación en el mercado.

Según la figura 13 el porcentaje de biodegradabilidad (g/día) del bioplástico de *Musa paradisiaca* se analizó en ocho semanas, para el estado líquido (agua potable); el bioplástico de espesor 0.01 mm logró su efectividad al 100.00% en menor tiempo durante siete semanas, del mismo modo que en tierra húmeda se biodegradó en 40.00% y a temperatura ambiente en 8.5%, a diferencia de la biodegradación del bioplástico de espesor de 0.03 mm que conlleva mayor tiempo, el porcentaje obtenido en las ocho semanas para el agua 90%, tierra 31% y temperatura ambiente 7%, demostrando que fue

factible para su degradación hasta completar 100% pronosticando en mayor tiempo, de acuerdo con el estudio de Garrido (2020), indica que pesó las láminas de bioplástico y que fue sometida a degradación aeróbica y anaeróbica colocado por 30 días, concluye que obtuvo un porcentaje de biodegradabilidad (g/día) de 13% con espesor promedio de de 0.135 mm.

4.2. Conclusiones

El presente estudio se concluye que fue posible la fabricación de bioplástico a partir de almidón extraído de cáscara de *Musa paradisiaca* (banano), alcanzando medir sus propiedades tecnológicas y de biodegradación en base a cuatro diferentes espesores de 0.01, 0.015, 0.02, 0.03mm; logrando firmeza en beneficio al medio ambiente, para alcanzar ser utilizado en sectores de agricultura, industria textil, medicina y sobre todo en el mercado de embalajes en envases ecológicos y saludable.

Del mismo modo se logró una eficiencia significativa en la permeabilidad del bioplástico haciendo uso como medio filtrante el agua potable y el aceite dejando en reposo 1440 minutos (24 horas); en consecuencia el bioplástico de espesor de 0.01mm obtuvo una permeabilidad de 4.51×10^{-9} mL*s*Kg*Pa*m a diferencia de la permeabilidad del aceite que fue 4.82×10^{-9} mL*s*Kg*Pa*m por otro lado, el bioplástico de mayor espesor de 0.03mm para agua alcanzó una permeabilidad de 1.13×10^{-10} mL*s*Kg*Pa*m de igual manera la permeabilidad del aceite adquirió 1.21×10^{-10} mL*s*Kg*Pa*m, lo que indica que el bioplástico tiene una mínima facilidad de ser filtrado por líquidos de mayor o menor densidad en sus diferentes espesores.

Se determinó la resistencia a la tensión (cm/mL) del bioplástico, para mayor grosor o espesor de 0.03mm logró resistir como peso máximo 500 mL de agua potable en donde llegó a su punto máximo de fraccionamiento de 5mm de elasticidad durante 23 minutos; así mismo para el bioplástico de 0.01mm de espesor se determinó que llega a resistir 350mL de agua obteniendo una elasticidad 0.8mm en un tiempo de contacto 13 minutos, en tal sentido se muestra que al añadir mayor concentración de vinagre blanco y glicerina hace posible una mejor consistencia y elasticidad de la misma, siendo de esta

manera efectiva para elaboración de materiales plásticos biodegradables para sustituir el plástico sintético.

Se logró estudiar el porcentaje de biodegradabilidad (g/día) del bioplástico sometido a ocho semanas colocados en diferentes fuentes, en estado líquido que fue el agua, en estado sólido suelo húmedo y a temperatura ambiente, los resultados obtenidos alcanzó una eficiencia del 100.00% de degradación en agua, esto es debido a las propiedades de protones y neutrones del agua faciliten la descomposición más acelerado a diferencia del suelo agrícola que tiene menor porcentaje de biodegradabilidad (g/día) de 40.00% y en temperatura ambiente en 8.5%; por otro lado el bioplástico de grosor de 0.03 mm es biodegradado con más lentitud obteniendo tan solo 90% en agua, 31% tierra y 7% temperatura ambiente, por ende siendo este un material vegetal reduce los impactos negativos que genera el plástico derivado del petróleo que tarda cientos de años en degradarse y es una alternativa sumamente importante y de gran similitud al plástico convencional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (INEI), I. d. (2018). Estadísticas ambientales . *INEI*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/estadisticas-ambientales.pdf>
- Anido , J., Liliana , M., Gutiérrez A, & Molina , L. (2018). El cultivo de plátano en Venezuela. Desde el campo hasta la mesa. *Discover the world's research* . Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/264544492_El_Cultivo_del_platano_en_Venezuela_Desde_el_Campo_Hasta_la_Mesa/link/5b51fa8f45851507a7b366df/download
- Aqeel, M., Wajid, A., Mahmood, K., Jamil, M., & Yusoff, I. (2011). Low cost biosorbent banana peel (*Musa sapientum*) for the removal of heavy metals. *Scientific Research and Essays*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/6132310/ashraf_et_al-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1642826362&Signature=UceZfJVfsTDTys1Ymph9z12hbxMaGgFmkGW-Og06THuPMaxNXt6YI86TIYLSBFcxS0C7xd3irpWelLIsE13yKPDwDa1Kd3SDGxvSoD2DCVd8miB6kg0x~q7PFWHdBW3f4isabIekf2biURD9
- Araneda , I. R., Correa , C. J., & Irazabel , F. (2019). Obtención de bioetanol a partir del banano orgánico (*Musa paradisiaca*) no exportable. *Universidad Nacional de piura*. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1954/IND-ARA-AGU-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Argibay, J. C. (2009). Muestra en investigación cuantitativa. *Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3396/339630252001.pdf>
- Arias, F. G. (2006). *El Proyecto de Investigación*. Venezuela. Obtenido de https://issuu.com/fidiasgerardoarias/docs/fidias_g._arias._el_proyecto_de_inv
- Asqui C, K. A., & Jarrin C, M. B. (2015). Producción y Comercialización de Plástico Biodegradable a partir de la Cáscara De Banano en la ciudad de Guayaquil. *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Obtenido de

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3233/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-146.pdf>

ATSDR. (2012). Resumen de salud pública Cromo. *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*.

Cencho, S. (2018). Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio - 2018. *Universidad César Vallejo*. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20198/Ccencho_MS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN). (2019). *INFORME DE EMERGENCIA N°040-18/01/2019/COEN-INDECI/16:50 HORAS (INFORME N°09)*. Expositivo, Instituto Nacional de Defensa Civil, Cajamarca, Perú. Obtenido de <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/20190118170624.pdf>

Chalco, Y. (2018). Adsorción de plomo (Pb) y cobre (Cu) con biomasa de la cáscara de plátano “*Musa paradisiaca*” en efluentes de la unidad minera Carahuacra, Yauli - La Oroya. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6086>

Collantes Z, L. (2019). Capacidad Biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* (L.) y la vaina de taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze). *Universidad Nacional de Cajamarca*. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3392/TESIS%20BIOSORCION%20DE%20PLOMO%20EN%20EFLUENTES%20DE%20LA%20UNIDAD%20MINERA%20CARAHUACRA%20Y%20LA%20VAINA%20DE%20TAYA%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20NACIONAL%20DE%20CAJAMARCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). (2005). Indicadores ambientales Cajamarca. *Consejo Nacional del Ambiente*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/38985#:~:text=El%20departamento%20de%20Cajamarca%20tiene%20un%20clima%20variado%2C%20teniendo%20una,los%20meses%20de%20octubre%20a>

Correa, O., Fuentes, F. E., & Coral, R. G. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray - Perú. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 87(1). Obtenido de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2021000100026

Der Hagopian, T. H. (2016). Artículo para el debate científico. *Investigación económica*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/601/60144179002.pdf>

DICYT. (2010). *Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología*. Obtenido de Eventos de alimentación México: <https://www.dicyt.com/noticias/plastico-biodegradable-hecho-a-base-de-almidon-de-maiz#:~:text=%E2%80%9CEI%20almid%C3%B3n%20de%20ma%C3%ADz%20es,estados%20del%20pa%C3%ADs%E2%80%9D%2C%20explic%C3%B3>

Eliasury E, R. C., Fernández , D., Gutiérrez , R., Morcillo , J., Núñez , N., & Peñaloza , S. (2015). Bioplastico a base de la cáscara de plátano. *Revista de iniciación científica*. Obtenido de <file:///D:/2022/TESIS%20ING.%20AMBIENTAL%20PRE-GRADO/BIOPLASTICO%20DE%20MUSA%20PARADISIACA/document.pdf>

Fabián J, D., & Villada , H. S. (2013). Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>

Flores , H. H. (2016). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera. *Universidad Nacional de Cajamarca*. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1299/TESIS%20HERNAN%20post%20privada%202%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fundación Descubre. (2016). *Sinc*. doi:<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Aceites-esenciales-para-fabricar-bioplasticos-antimicrobianos>

Gallardo, E. E. (2017). Metodología de la Investigación. *Universidad Continental*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4278/1/DO_UC_EG_MAI_UC0584_2018.pdf

- González , A. E., & Guerra , J. C. (2016). Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo (Pb) y zinc (Zn) con cáscara de plátano (*Musa Sapientum*), en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico. *Universidad Nacional de Trujillo*. Obtenido de <file:///D:/2022/TESIS%20ING.%20AMBIENTAL%20PRE-GRADO/1.%20GONZALES%20JIMENEZ,%20ALEJANDRO%20EDER%3B%20GUERRA%20MORENO,%20JULIO%20CESAR.pdf>
- Hamlet , P., Rolando , S., Ramírez, C., Villanueva , S., & Zapata, A. (2017). Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú. *Universidad de Pira* . Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf
- Hernández, L. M., Majano , G. E., & Mira, E. E. (2019). Elaboración de un material biosorbente a partir de la cáscara de plátano (*Musa sp.*) para ser utilizado en la remoción de cromo VI proveniente de las aguas residuales de la industria de curtiembre. *Universidad de el Salvador*. Obtenido de <file:///D:/2022/TESIS%20ING.%20AMBIENTAL%20PRE-GRADO/275580232.pdf>
- Hossain, M. A., Ngo, H. H., Guo , W. S., & Nguyen, T. V. (2012). Biosorption of Cu (II) from water by banana peel based biosorbent: experiments and molds of adsorption and desorption. *Centre for Technology in Water and Wastewater, School of Civil and Environmental Engineering, University of Technology Sydney, Broadway*. Obtenido de file:///D:/2022/TESIS%20ING.%20AMBIENTAL%20PRE-GRADO/Biosorption_of_CuII_From_Water_by_Banana_Peel_Base.pdf
- Huanchi S, R. (2013). Determinación de la permeabilidad en empaques plásticos. *Universidad Nacional de la Amazonía Peruana*. Obtenido de <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/2449/Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20permeabilidad%20en%20empaques%20pl%C3%A1sticos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jara , E., Gómez , J., Montoya, H., Sánchez, T., Tapia , L., Cano , N., & Dextre , A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin.

- ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa* 24 (2): 583 - 598, 2017, 24(2).
Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a10v24n2.pdf>
- Jiménez. (2019). Análisis del bioplástico de banano desde la perspectiva del diseño industrial para posible aplicación en diseño de producto. *Universidad San Buenaventura Colombia*. Obtenido de http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/6619/1/Analisis_Bioplastico_Banano_Jimenez_2019.pdf
- Jiménez C, J. J. (2019). Análisis del bioplástico de banano desde la perspectiva del diseño industrial para posible . *Universidad de San Buenaventura Colombia* . Obtenido de http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/6619/1/Analisis_Bioplastico_Banano_Jimenez_2019.pdf
- K, P. (2019). Determinación de los niveles de concentración de plomo en la sangre y problemas en la salud en el poblador del Distrito de Chaupimarca, Provincia y Región Pasco, año 2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1000/1/T026_73669987_T.pdf
- Mariano . (2011). Coloración de plásticos . *Tecnología de los plásticos* . Obtenido de <https://docs.google.com/document/d/1zJBd1-6VPDjKmX2zY0K7VZxc6NV6K4a3f1wnMgP8iQc/edit?hl=es>
- Monsalve , J., Medina , V., & Ruíz , A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v73n150/a02v73n150.pdf>
- Monsalve, G., Medina , J. F., & Ruiz, V. I. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Universidad Nacional de Colombia*, 73(150). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49615002.pdf>
- Muñoz, F G; Londoño F, L F; Londoño M, P T;. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2). Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado* . Obtenido de [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)
- Ortíz S, E. Y., & Vega C, L. G. (2019). Estudio de la bioadsorción de metales pesados (Pb y Cu) en las aguas del río Puyango, utilizando cáscara de naranja y plátano manzano. *Universidad de Guayaquil*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45580>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Gallo, J. A., & Sarria , R. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009
- Paz Corrales , O. A. (2018). Biorremoción de cromo total en los efluentes de curtiembres, empleando vainas de arvejas *Pisum sativum* L. Para obtener agua categoría 3 d 2 d.s. 004- 2017 minam. En Arequipa 2018. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11359/UPpacoa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pino , E. (2013). La dimensión social de la Universidad del Siglo XXI creación del programa de aprendizaje-servicio en la Universidad Técnica de Ambato. *Universidad Complutense de Madrid*. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/22393/1/T34660.pdfv>
- Poma, P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *An. Fac. med.*, 69(2). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832008000200011
- Quinceno, M. C., Giraldo, G. A., & Villamizar, R. H. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. *Universidad la gran Colombia*. Obtenido de <file:///D:/2022/TESIS%20ING.%20AMBIENTAL%20PRE-GRADO/313-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1139-1-10-20150825.pdf>

- Quinceno, M. C., Giraldo, G. A., & Villamizar, R. H. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. *Universidad la gran Colombia*. Obtenido de <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/313>
- Razak, S. N., Yahaya, N. A., Rohmadi, R. N., & Nordin, N. S. (2020). Biodegradable Banana Peels-Based Plastic –A Review. *Multidisciplinary Applied Research and Innovation* . Obtenido de <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/mari/article/view/376/198>
- Ríos, P. E. (2014). Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro maduro en polvo. *Universidad Técnica de Machala*. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1579/7/CD00006-TESIS.pdf?fbclid=IwAR3sWJJNgVj1pFsqxbMo_Ca8D75jQUbS0Za73Gki1PKi3AtZU8WaDa0Au2A
- Rodríguez, Y. M., Salinas, L. P., Ríos, C. A., & Vargas, L. Y. (2012). Adsorbentes a base de cascarillade arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a17.pdf>
- Sánchez K, J. G. (2017). *INECOL* . Obtenido de Instituto de ecología : <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1376-que-es-el-almidon>
- Sierra R, A., Solano S, F., & Valderrama V, J. E. (2019). Elaboración de bioplástico a partir del almidón presente en papas. *Instituto Mexicano Madero Sistema Bilingüe*. Obtenido de <https://dspace.umad.edu.mx/bitstream/handle/11670/264/10%20Secundaria%20Elaboracion-de-bioplastico-a-partir-del-almidon-presente-en-papas%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Se%20logr%C3%B3%20elaborar%20el%20biopl%C3%A1stico,encuentran%20presentes%20>
- Tejada, C., Villabona, A., & Garcés, L. (2014). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Universidad de Cartagena*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a10.pdf>

Valdivia M, R. Y., Pedro V, S., & Laurel G, M. (2010). Agua para uso en laboratorios. *Boletín Científico Técnico INIMET*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>

Vejarano , R., Gurreonero, J., & Castillo , A. (2018). Adsorción de plomo (Pb) de aguas contaminadas mediante cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *Universidad privada del Norte*. Obtenido de <file:///D:/2022/TESIS%20ING.%20AMBIENTAL%20PRE-GRADO/2.%20FP67.pdf>

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Ficha de análisis de las propiedades del bioplástico

Código	Insumos						Propiedades tecnológicas		
	Almidón (g)	Maicena (g)	Glicerina (mL)	Vinagre blanco (mL)	Agua destilada (mL)	Canela molida(g)	Permeabilidad (mL*s*Kg*Pa*m)	Resistencia a la tensión cm/mL	Biodegradabilidad (g/día)
T-001	30	20	10	10	250	0.5			
T-002	35	20	20	15	250	0.5			
T-003	40	20	30	20	250	0.5			
T-004	45	20	40	25	250	0.5			

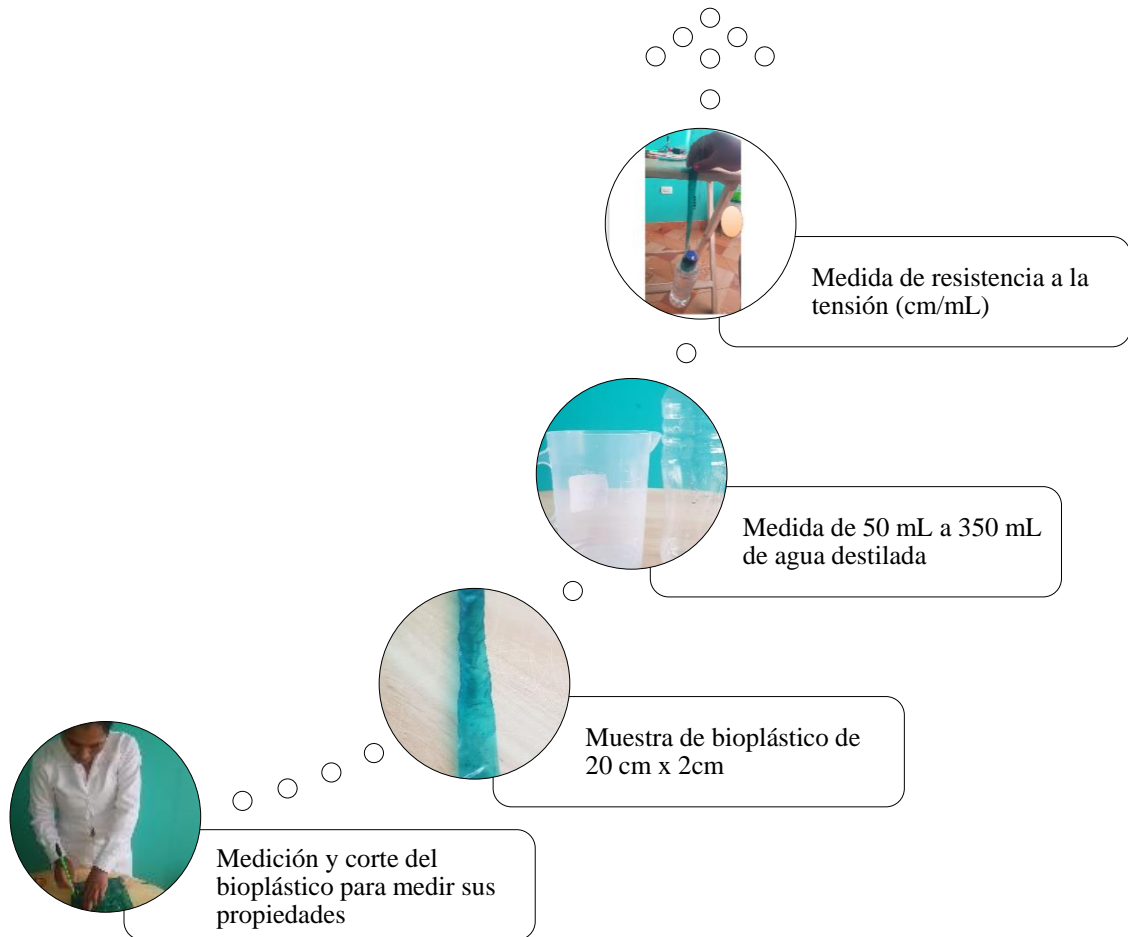
ANEXO n.º 2. Materiales para realizar el bioplástico



ANEXO n.º 3. Proceso de obtención del bioplástico



ANEXO n.º 4. Proceso para determinar la resistencia a la tensión (cm/mL)



ANEXO n.º 5. Medición de flujos de diferentes densidades



ANEXO n.º 6. Biodegradación de bioplástico en agua



ANEXO n.º 7. Biodegradación de bioplástico en tierra húmeda



ANEXO n.º 8. Bioplástico de mayor grosor en degradación en un líquido



ANEXO n.º 9. Bioplástico de menor grosor degradándose en agua

