UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENERÍA AGROINDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE ELABORADO A PARTIR DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE PAN DE ÁRBOL (*Artocarpus altilis*) CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE GLICERINA”.

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

GERARDO TREJO LOZANO

PUCALLPA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGROINDUSTRIA

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de la tesis, presentado por **GERARDO TREJO LOZANO,** denominada: **"Evaluación de plástico biodegradable elaborado a partir de almidón de semilla de Pan de árbol (*Artocarpus altilis*) con diferentes concentraciones de glicerina".** para cumplir con el requisito (académico o título profesional) de **TÍTULO PROFESIONAL**.

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por la sustentante lo declaramos: Aprobada por mayoría con el calificativo (*) Dieciseis (16)

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el: (Grado Académico .....), (Título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL**), de conformidad con lo estipulado en Art. 10 del reglamento general de grados académicos, título profesional y título de segunda especialidad profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 30 de Mayo de 2024.

Dr. Fernando Pérez Leal Presidente	Mg. Alex Rengifo Zumaeta Secretario
Dr. Edgardo García Saavedra Miembro	M. Sc. Carlos Ruiz Padilla Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial.

Dr. Fernando Pérez Leal ..... PRESIDENTE

Mg. Alex Rengifo Zumaeta ..... SECRETARIO

Dr. Edgardo García Saavedra ..... MIEMBRO

M. Sc. Carlos Ruiz Padilla ..... ASESOR

Bach. Gerardo Trejo Lozano ..... TESISTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/0151-2024**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**EVALUACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE ELABORADO A PARTIR DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE PAN DE ÁRBOL (Artocarpus altilis) CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE GLICERINA**"

Autor(es)	:	**TREJO LOZANO, GERARDO**
Facultad	:	**CIENCIAS AGROPECUARIAS**
Escuela	:	**ING. AGROINDUSTRIAL**
Asesor(a)	:	**M.SC. RUIZ PADILLA, CARLOS**

Presenta un **porcentaje de similitud de 3%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 20/03/2024

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Gerardo Trejo Lozano

Autor de la tesis titulada : Evaluación de Plástico biodegradable elaborado a partir de almidón de Semilla de Pan de arbol (Artocarpus altilis) con diferentes concentraciones de glicerina

Sustentada el año 2024

Asesor(a): Ing. Carlos Ruiz Padilla Msc.

Facultad: Ciencias Agropecuaria

Escuela Profesional: Ingeniería Agroindustrial

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 04 / 09 / 2024

Email: gerardoTrejo1ozano6@gmail.com Firma:

Teléfono: 933 360 047 DNI: 63751406

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA.

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría, salud y voluntad de terminar esta etapa de mi vida y mi trabajo de investigación, por bendecirme día a día con su amor y salud ya que si ello no hubiese sido nada posible.

A mis padres, Marcelina y Gerardo, porque ellos son mi razón de vivir, con sus consejos, su amor, apoyo incondicional tanto moral como económico, ya que sin ellos no soy la persona que soy hoy en día con los valores que me inculcaron.

A mis hermanas y hermanos Rosa, Flor, Julio, Jonás y Ismael, quienes con sus consejos influían en mí para lograr mis objetivos, por su apoyo y compañía en lo largo del camino de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO.

A la Universidad Nacional de Ucayali especialmente a mi facultad Ciencias Agropecuarias de la Carrera de Ingeniera Agroindustrial, gracias por haberme permitido formarme en ella y a todos los docentes, quienes fueron y son formadores de grandes profesionales

Al Ing. Carlos Ruiz Padilla, mi asesor, por su paciencia, consejo, tiempo, ayuda y apoyo durante el trayecto de todo el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Ader Guerra Ríos y el Ing. Manuel Trelles por las facilidades brindadas de poder trabajar dentro de las instalaciones del laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Ucayali y todas aquellas personas que directa o indirectamente fueron participes de este trabajo, eternamente agradecido.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO II 2

REVISIÓN LITERARIA.....2

2.1. ANTECEDENTES......2

2.2. GENERALIDADES DEL PAN DE ÁRBOL. 6

2.2.1. Generalidades. 6

Cuadro 1. Composición bromatológica de la fruta del árbol de pan (*Artocarpus altilis*) 6

2.2.2. Usos. 7

2.3. BIOPLÁSTICO.....7

2.3.1. ¿Qué son los bioclásticos? 7

2.3.2. Plásticos biobasados. 7

2.3.3. Plásticos biodegradables. 7

2.3.4. Bioplásticos representativos y sus propiedades......8

Cuadro 2. Bioplásticos y sus propiedades.....8

2.4. ALMIDÓN 9

Cuadro 3. Forma y tamaño de almidón.....9

2.4.1. Amilosa y amilopeptina. 9

Cuadro 4. Cantidad de Amilosa y Amilopeptina en almidones..... 10

2.5. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN 10

2.5.1. Método húmedo.....10

Figuras 1. Diagrama de proceso de extracción de almidón por método..... 11

húmedo 11

2.5.2. Método Seco.....11

Figuras 2. Diagrama de proceso de extracción de almidón por método seco.... 11

2.6. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL ALMIDÓN.....12

2.6.1. Gelatinización.....12

2.6.2. Gelificación.....12

2.6.3. Retrogradación 12

Figuras 3. Características funcionales del almidón..... 13

CAPÍTULO III 14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 14
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. 14
3.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA. 15
3.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 15
3.3.1. Objetivo general. 15
3.3.2. Objetivos específicos. 15
CAPÍTULO IV 16
MATERIALES Y MÉTODOS 16
4.1. LUGAR DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN. 16
4.2. MATERIA PRIMA. 16
4.3. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS. 16
4.3.1. Materiales. 16
4.3.2. Equipos e instrumentos. 17
4.3.3. Insumos. 17
Glicerina, agua destilada y vinagre blanco al 5%. 17
4.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL. 17
4.4.1. Obtención del pan de árbol. 17
4.4.2. Obtención del almidón del pan de árbol. 18
Figuras 4. Proceso de extracción del almidón del pan de árbol. 20
4.4.4. Elaboración de plástico biodegradable. 21
Figuras 5. Proceso de elaboración de bioplástico. 21
4.5. Análisis Fisicoquímicos. 22
4.5.1. Capacidad de absorción de agua: 22
4.5.2. Medición de la densidad: 22
4.5.3. pH. (Método del potenciómetro): 22
4.5.4. Resistencia: 22
4.5.5. Elasticidad: 23
4.5.6. Biodegradación. 23
4.6. Diseño estadístico. 23
4.7. Tratamientos 24
Cuadro 5. Tratamientos experimentales 24
4.7.1. Esquema experimental: 24

Figuras 6. Esquema experimetal 24
4.8. Análisis experimental 25
4.9. Medición de variables independientes y dependientes 25
4.10. Operacionalización de variables. 26
Cuadro 6. Operacionalización de variables 26
CAPÍTULO V 27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
5.1. OBTENCIÓN Y RENDIMIENTO DE MATERIA PRIMA: 27
5.1.1. Selección: 27
Cuadro 7. Biometría de semillas del pan de árbol 27
5.1.2. Rendimiento de extracción de almidón del pan de árbol: 28
Cuadro 8. Rendimiento de extracción de almidón del pan de árbol 28
5.2. ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO 28
Cuadro 9. Formulación de bioplástico 28
Cuadro 10. Relación de porcentaje de glicerina 29
5.3. PRUEBAS FISICOQUÍMICAS DE BIOPLÁSTICO 29
5.3.1. Capacidad de absorción de agua: 29
Cuadro 11. Capacidad de absorción de agua 30
Cuadro 12. Análisis de ANOVA de capacidad de absorción de agua 31
5.3.2. Medida de densidad 31
Cuadro 13. Densidad del bioplástico de almidón de pan de árbol 32
Cuadro 14. Análisis de ANOVA de densidad 32
Cuadro 15. Prueba de TUKEY de densidad 32
5.3.3. Prueba de pH 33
Cuadro 16. Resultados de pH 33
Cuadro 17. Análisis de ANOVA de pH 33
5.3.4. Prueba de resistencia: 33
5.3.5. Prueba de elasticidad 34
Cuadro 18. Resultados de elasticidad 34
Cuadro 19. Análisis de ANOVA de elasticidad 34

5.3.6. Biodegradación.....34
VI. DISCUSIONES. 35
VII. CONCLUSIONES. 36
VIII. RECOMENDACIONES. 37
LITERATURA CITADA. 38
ANEXOS…….40

LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. Composición bromatológica de la fruta del árbol de pan……....6

Cuadro 2. Bioplástico y sus propiedades 8

Cuadro 3. Forma y tamaño de almidón.....9

Cuadro 4. Cantidad de Amilosa y Amilopeptina en almidones..... 10

Cuadro 5. Tratamientos experimentales..... 24

Cuadro 6. Operacionalización de variables..... 26

Cuadro 7. Biometría de semillas del pan de árbol 27

Cuadro 8. Rendimiento de extracción de almidón del pan de árbol 28

Cuadro 9. Formulación de bioplástico..... 28

Cuadro 10. Relación de porcentaje de glicerina..... 29

Cuadro 11. Capacidad de absorción de agua 30

Cuadro 12. Análisis de ANOVA de capacidad de absorción de agua 31

Cuadro 13. Densidad del bioplástico de almidón de pan de árbol..... 32

Cuadro 14. Análisis de ANOVA de densidad..... 32

Cuadro 15. Prueba de TUKEY de densidad..... 32

Cuadro 16. Resultados de pH..... 33

Cuadro 17. Análisis de ANOVA de pH..... 33

Cuadro 18. Resultados de elasticidad..... 34

Cuadro 19. Análisis de ANOVA de elasticidad..... 34

LISTAS DE FIGURAS

Figuras 1. Diagrama de proceso de extracción de almidón por método húmedo.11

Figuras 2. Diagrama de proceso de extracción de almidón por método seco…...11

Figuras 3. Características funcionales del almidón.....…13

Figuras 4. Proceso de extracción del almidón del pan de árbol. 20

Figuras 5. Proceso de elaboración de bioplástico. 21

Figuras 6. Esquema experimetal 24

Figura 7A. Gráfico de biometria de la semilla de pan de árbol 41

Figura 8A. Gráfico de capacidad de absorción de agua 41

Figura 9A. Gráfico de densidad 42

Figura 10A. Gráfico de pH 42

Figura 11A. Gráfico de elasticidad 43

Figura 12A. Figura Filtrado del almidón de pan de árbol 44

Figura 13A. Pesado del almidón..... 44

Figura 14A. Pesado de almidón 45

Figura 15A. Secado de almidón 45

Figura 16A. Bioplástico de almidón de pan de árbol 46

Figura 17A. Lamina de almidón de pan de árbol..... 46

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado a latitud Sur 8°23’48,11”, longitud Oeste 74°35’10,93” y con altitud de 154 msnm en la carretera Federico Basadre Km 6,200. El trabajo que a continuación se presenta buscó extraer almidón de las semillas de pan de árbol, para luego emplearlo con glicerina y ácido acético en la elaboración de una lámina de bioplástico. Este trabajo presenta la evaluación de diferentes concentraciones de glicerina en la elaboración del bioplástico, al T_1 =10%, T_2 =20% y T_3 =30% en porcentaje en peso. La elaboración de bioplástico en base a almidón de semillas de pan de árbol cuenta con dos procesos, el primero que va desde la recolección de las semillas, pasando por su lavado y pelado, la etapa de molido y extracción del almidón por colado, para terminar con la sedimentación y purificación de la base obtenida. El segundo proceso continua con la gelificación del almidón con ácido acético (1.5 mL de vinagre a cada muestra) y la adición de glicerina. En los resultados para la caracterización fisicoquímica, basados en el parámetro de absorción de agua, (T_1 = 10%, T_2 = 20% y T_3 = 30%) indica que las en los tres tratamientos se tuvo poca absorción de agua, obteniendo bioplásticos muy poco porosos, los que hace bioplásticos más compactos. En la prueba de densidad nos muestra que si tiene presencia de diferencia significativa, los cual nos indica que el T_1 (0.735 g/mL) se obtuvo un mejor tratamiento. La prueba de pH (acidez) en sus tres tratamientos no presenta diferencia significativa (T_1 = 5.8, T_2 = 5.9 y T_3 = 6.2). El Análisis de ANOVA de la elasticidad nos indica que no presenta diferencia significativa, siendo el T_1 el que tuvo mayor elasticidad (0.13 cm). En cuanto a las pruebas de biodegradabilidad, el medio aerobio es bastante óptimo puesto que los bioplásticos se degradaron desde la tercera semana casi en su totalidad, demostrando que el producto obtenido es biodegradable y compostable.

Palabras claves: pan de árbol, almidón, bioplásticos, biodegradabilidad.

ABSTRACT

This research work was carried out at the National University of Ucayali, located at South latitude 8 ° 23'48.11 ", West longitude 74 ° 35'10.93" and at an altitude of 154 meters above sea level on the Federico Basadre highway Km 6,200. The work presented below sought to extract starch from breadfruit seeds, and then use it with glycerin and acetic acid in the production of a bioplastic sheet. This work presents the evaluation of different concentrations of glycerin in the production of bioplastic, at T_1 = 10%, T_2 = 20% and T_3 = 30% in weight percentage. The production of bioplastic based on breadfruit seed starch has two processes, the first one goes from the collection of the seeds, going through their washing and peeling, the grinding stage and extraction of starch by straining, to finish with the sedimentation and purification of the base obtained. The second process continues with the gelation of the starch with acetic acid (1.5 mL of vinegar to each sample) and the addition of glycerin. The results for the physicochemical characterization, based on the water absorption parameter, (T_1 = 10%, T_2 = 20% and T_3 = 30%) indicate that in the three treatments there was little water absorption, obtaining very little porous bioplastics, which makes more compact bioplastics. The density test shows that there is a significant difference, which indicates that T1 (0.735 g / mL) was a better treatment. The pH test (acidity) in its three treatments does not present a significant difference (T_1 = 5.8, T_2 = 5.9 and T_3 = 6.2). The ANOVA analysis of the elasticity indicates that it does not present a significant difference, with T_1 having the highest elasticity (0.13 cm).

As for the biodegradability tests, the aerobic medium is quite optimal since the bioplastics degraded almost entirely from the third week, demonstrating that the product obtained is biodegradable and compostable.

Keywords: tree bread, starch, bioplastics, biodegradability

I. INTRODUCCIÓN.

En Perú, casi 950 mil toneladas de plástico se consumen al año. De ellas, el 75 % se convierte en residuos municipales urbanos y solo el 25 % corresponde a productos con una vida útil mayor a un año. De acuerdo a cifras del Ministerio del Ambiente, solo el 56 % de los residuos plásticos que se generan en Perú terminan en un relleno sanitario, mientras que el 43 % llega a botaderos y termina en ríos y en el océano. Solo el 0.3 % es reinsertado en la cadena productiva a través del reciclaje.

El aumento excesivo del consumo de bolsas plásticas en Ucayali, exactamente en la ciudad de Pucallpa, crece cada año, ésta posee grandes índices de contaminación, de las cuales tiene procesos con efectos negativos y compuestos contaminantes para el planeta, lo que ha generado conciencia ciudadana y preocupación en las autoridades; dicho exceso se da mayormente en los mercados y los supermercados de la ciudad y aledañas a estas, que ha logrado generar una cantidad de desechos, debido al lento proceso de degradación de dicho producto, ocasionando una contaminación ambiental cada vez más severa, así mismo agotando cada vez más las reservas derivado del petróleo del cual son procesados las bolsas plásticas.

Debido a esta problemática nace la idea de elaborar plásticos biodegradables a base de almidón de la semilla del pan de árbol y someterlos a pruebas para determinar en qué procesos podrían reemplazar a la bolsa plástica derivado del petróleo, ya que el consumo excesivo de bolsas plásticas dañan considerablemente al medio ambiente, mediante esta problemática me conlleva al estudio e investigación de la semilla del fruto del pan de árbol (*Artocarpus altilis*), con la adición de la glicerina y agua, en diferentes proporciones experimentales, obteniendo así un plástico biodegradable y disminuir la contaminación ambiental que hay en nuestra región.

CAPÍTULO II

REVISIÓN LITERARIA.

2.1. ANTECEDENTES.

Espinosa (2015) en su trabajo de investigación denominado “Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata” tuvo como objetivo realizar un estudio para el proceso de plastificado de almidón de papa como producto alternativo para reemplazar el uso del plástico derivado del petróleo. En la elaboración de plástico biodegradable utilizaron almidón de papa (19,41%), mezclado con varios plastificantes como: glicerina, alcohol polivinílico y bórax las concentraciones que ha utilizado (Alcohol polivinílico (10%) 10 mL, Glicerina 1.5 mL). A partir de las mejores películas analizadas visualmente determinó, que el plastificante adecuado era la glicerina, a la cual añadió melamina como reticulante para disminuir su capacidad higroscópica, con lo que estableció mejores condiciones de trabajo. Posteriormente estudió la influencia de las variables: concentración de almidón, plastificante y reticulante en las biopelículas obtenidas a partir de diferentes mezclas que tienen en su composición glicerina 6,6 y melanina 1,8%, las cuales fueron definidas a través de un diseño factorial. En las biopelículas obtenidas analizo las siguientes propiedades: espesor, solubilidad, humedad, biodegradabilidad, permeabilidad, y la tracción en un solo sentido mediante el método de superficie de respuesta con puntos axiales escogiendo la película que presentó la mayor característica para el recubrimiento de frutas. Concluyó que, para cada una de las propiedades mecánicas, físicas y de biodegradabilidad de las películas varía de acuerdo a las concentraciones de almidón y plastificante.

Avellán & Zambrano (2020) en la investigación realizada “Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays L.)”*, extrajeron almidón de los granos de maíz para luego emplearlo con glicerina y ácido acético en la elaboración de una lámina de bioplástico. Para la extracción de almidón de maíz trabajaron con 100 g de granos del maíz y se mezcló con 300 mL de agua purificada. La misma colocó en una estufa Memmert-SN 55 a una temperatura de 60ºC por un periodo de 40 minutos, obteniendo como resultado 5.76g de almidón de maíz. Una vez obtenido el almidón del maíz, procedieron a la elaboración de bioplástico, mezclando 1.7 mL de glicerina y 17 mL de agua destilada, con movimientos constante en esta mezcla a una temperatura no superior a los 70ºC, seguidamente de un par de minutos añadieron 3 mL de ácido acético hasta llegar a una homogenización. Realizados los procesos correspondientes, obtuvieron un rendimiento de 5,72% inferior respecto a otros casos estudiados y un porcentaje de degradación del bioplástico de 89,40% para un periodo de 42 días de experimentación, siendo este último bastante satisfactorio si se compara con los requerimientos establecidos en normativas internacionales para este tipo de materiales.

Ruiz (2012) en su proyecto de investigación realizada “Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca”, evaluaron las condiciones para la obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca, determinaron las condiciones para su procesamiento mediante extrusión y posteriormente realizaron su respectiva caracterización. El polímero biodegradable se obtuvo al preparar diferentes mezclas de almidón modificado de yuca (80%) con glicerina como plastificante (20%) y agua destilada (15%), las cuales se procesaron en un molino abierto, hasta producir bandas con un espesor reducido, las muestras se secan antes de la extrusión donde las variables a controlar son: el perfil de temperatura, torque, y velocidad de rotación del husillo. Mediante el procedimiento dado por Averous (2004) se prepararon 20 mezclas con algunas modificaciones, variando la cantidad de almidón modificado, glicerina y agua, teniendo en cuenta la recomendación encontrada según la cual, la cantidad de plastificante debe fluctuar entre 20 y 34% para la obtención de un almidón termoplástico. De las 20 muestras tomadas, la muestra número cuatro (5.0g de ácido actico, 50ºC por 6.5 minutos en constante mezcla) dio un producto uniforme. Teniendo como resultado los espesores de banda con los cuales se obtiene una mezcla homogénea las cuales están entre

0.5 y 1.0 mm. El ácido esteárico debe adicionarse en cantidades hasta de 1.0%, para que actúe como lubricante externo y evitar que la mezcla se adhiera a los rodillos. Evaluaron algunas características mecánicas y fisicoquímicas mediante ensayos de tensión, calorimetría diferencial de barrido, análisis termogravimétrico, análisis infrarrojo por transformadas de fourier y morfología.

Ortega (2019) en su proyecto de investigación realizada “Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz”, tuvieron como objetivo aprovechar los residuos generados en la producción agrícola de arroz, utilizando la paja generada de la cual se plantea extraer la celulosa y de los residuos de granos partidos en el proceso de pulido de los que se obtendrá el almidón; para generar un bioplástico a nivel de laboratorio. Para la obtención del almidón trituraron los residuos de granos partidos, los mezclaron con agua destilada, dejaron sedimentar la mezcla durante 24 horas, posteriormente se procedió al filtrado y se dejó secar el almidón obtenido en placas Petri a una temperatura no superior a las 60ºC por 18 horas. Los porcentajes de recuperación para celulosa y almidón fueron de 42.06 ± 3.21 % y 47.44 ± 7.09 % respectivamente. Para la elaboración del bioplástico disolvieron el almidón obtenido con agua destilada, mezclaron con ácido acético al 5% y glicerina; la mezcla se sometió a calor en una plancha magnética a 60°C hasta que se forme una masa, la fibra de celulosa se añadió en suspensión; colocando luego la muestra en una placa Petri, secándola en una estufa para obtener el bioplástico como producto final.

Ramos (2016) “Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio”, tuvo como objetivo elaborar un bioplástico a nivel de laboratorio a partir de residuos de papa variedad Yungay” ` y evaluar su biodegradabilidad tomando como referencia la Norma ISO 17556:2012; para lo cual se dividió la investigación en tres etapas: Extracción del almidón, elaboración del bioplástico y ensayo de biodegradabilidad del bioplástico. En la primera etapa se utilizó el método por decantación con algunas variantes, ya que se trabajó con un residuo; asimismo se incluyeron evaluaciones como la adición de un antioxidante y la variación de la temperatura con la finalidad de evaluar la mejor metodología para obtener una mayor cantidad de almidón; una vez determinada esta metodología se procesó 20 Kg de papa para evaluar sus características así como para elaborar el bioplástico; se obtuvo una relación de amilosa/amilopectina de 26.21/73.79 y un 89.8% de similitud del espectro evaluado con respecto al espectro del almidón soluble. En la segunda etapa se utilizó una metodología basada en la hidrólisis química del almidón para lograr polimerizar el almidón, se incluye la adición de plastificantes como el agua y el glicerol; adicionalmente se evaluó las características físicas y mecánicas de los bioplásticos elaborados con distintas cantidades de aditivos, una vez determinado el bioplástico más resistente se utilizó dicha metodología para elaborar el bioplástico, las pruebas de tracción y elongación indicaron un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99%, el análisis infrarrojo (FTIR) indicó variaciones en los picos que explican la formación de enlaces característicos del bioplástico. En la última etapa se utilizó compost como medio de degradación, polietileno de baja densidad como control negativo, celulosa como control positivo y el bioplástico a analizar; el bioplástico alcanzó 64.21%, seguido muy de cerca por la celulosa con 63.51%, el polietileno de baja densidad (PEBD) obtuvo 6.95% y finalmente el blanco obtuvo 0.83%.

2.2. GENERALIDADES DEL PAN DE ÁRBOL.

2.2.1. Generalidades.

Melissa (2018) El árbol de pan o pan de árbol (*Artocarpus altilis*) es una especie que pertenece al género de *Artocarpus* y sus demás variedades que se encuentran distribuidas desde el sudeste asiático hasta la polinesia pasando por Oceanía, la cual es una de las especies más cultivadas del mundo.

El fruto del pan de árbol está compuesto por la unión de muchos ovarios y generalmente es redondo, ovalado u oblongo y estás miden alrededor de 9 a 20 cm de ancho y más de 30 cm de largo haciendo que posee la forma de un melón este fruto puede pesar en un rango de 250 g y 6 Kg. El color oscila entre verde claro, el verde amarillento y amarillo, su piel está cubierta de pequeñas espinas.

Cuadro 1. Composición bromatológica de la fruta del árbol de pan (*Artocarpus altilis*)

Alimento	Parte de la fruta	
	Semilla	Pulpa
Humedad (g/100 g)	35.1 – 56.8	62.7 – 89.2
Proteínas (g/100 g)	5.25 – 13.3	1.3 – 2.24
Grasas (g/100 g)	2.59 – 5.59	0.1 – 0.86
Cenizas (g/100 g)	1.5 – 5.58	0.56 – 1.2
Carbohidratos (g/100 g)	30.8 – 44	21.5 – 29.5
Fibra (g/100 g)	1.34 – 2.14	1.08 – 2.1
Calorías (kcal/100 g)	----	105 – 109
Calcio (mg/100 g)	0.1	0.05
Tiamina (mg/100 g)	0.25	0.08 – 0.09
Riboflavina (mg/100 g)	0.10	0.03 – 0.07
Niacina (mg/100 g)	3.54	0.51 – 0.92
Ácido ascórbico (mg/100 g)	13.7	15.33

Fuente: Melissa (2018)

En muchas regiones este fruto se llega en encontrar en tierras cálidas, es un exquisito alimento y suele comerse cocido o frito ya que su sabor es similar a la de la papa y se le puede sustituirlo con la yuca y papa. Arango & Quijano (1977).

2.2.2. Usos.

Parrotta (1994) El pan de árbol a pesar de ser blanda y liviana, pero con un peso específico entre 0.27 y 0.45 g por cm ^{3}, es considerado firme y fuerte. El uso es más de comestible, donde se hace el consumo en cocido, ya sea hervido, frito u horneado. El contenido de carbohidrato que posee es alto y se considera una fuente de vitamina B, vitamina A y C como fuente moderada. Este fruto también puede ser consumido frita y esta es un bocadillo en la India y partes del Caribe, en micronesia y las islas Marquesas, se le convierte pasta y se le fermenta obteniendo una sustancia similar al queso y esto se llega almacenar en un tiempo indefinido.

2.3. BIOPLÁSTICO

2.3.1. ¿Qué son los bioclásticos?

Alethia et al. (2014) Son materiales plásticos y refuerzos procedentes de fuentes renovables naturales como residuos agrícolas, celulosa, etc.; bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica o a partir de biomonómeros, o bien, plásticos biodegradables que puede ser catalogado como bioplástico si es biobasado o si es biodegradable o también si cumple con estas dos propiedades.

2.3.2. Plásticos biobasados.

Es aquella que se fabrican a partir de biomasa (masa orgánica que compone a los seres vivos) de los recursos naturales renovables, que pueden ser plantas, algas y microorganismos, que a diferencia de biopolímeros que genera la naturaleza, como el almidón, las proteínas, la lignina y el quitosano.

Los plásticos biobasados requieren de dos etapas de procesamiento químico antes de ser utilizado, a partir de la fermentación del almidón de las plantas y extracción de precursores y monómeros.

2.3.3. Plásticos biodegradables.

Estas son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica y anaeróbica por la acción de microorganismos como hongos, bacterias y algas bajo condiciones que ocurre naturalmente en la biósfera (Ecoplas 2020).

2.3.4. Bioplásticos representativos y sus propiedades.

Cuadro 2. Bioplásticos y sus propiedades

Bioplásticos	Biobasado	Biodegradable	Propiedades	Observaciones
Ácido poliláctico (PLA)	✓	✓	Similares a las del PET con menor resistencia a la temperatura	Generalmente se fabrica a partir de maíz. Uno de los bioplásticos más usados.
Bio-polietileno (BIO-PE)	✓	**X**	Idénticas a las del polietileno convencional	Generalmente se fabrica a partir de caña de azúcar, con bioetanol como producto intermedio.
Policaprolactonas (PCL)	**X**	✓	Resistente al agua, solventes y cloros	Se emplea en la fabricación poliuretanos.
Polihidroxialcanoatos (PHA)	✓	✓	Dependientes de polímeros específicos. Muy sensible a las condiciones de procesamiento.	Se extraen de las células de plantas y microorganismos. Su costo es hasta diez veces mejor al de los plásticos convencionales

Fuente: Alethia et al. (2014)**.**

2.4. ALMIDÓN

El almidón es un polímero de condensación de glucosa en una proporción de átomos de Carbono, Hidrógeno y Oxígeno de 6:10:5 que se encuentra presente de manera granular en las semillas, tubérculos y raíces. El almidón no es un producto uniforme la forma y el tamaño del granulo varía de acuerdo al producto. (Mendoza et al. 2017).

Cuadro 3. Forma y tamaño de almidón

	Almidón %	**Tipo**	**Diámetro del granulo (µm)**	**Forma**
Maíz	71	Cereal	3 – 26	R, P
Papa	82	Tubérculo	5 – 100	O, S
Trigo	74	Cereal	2 – 35	R, L
Yuca	77	Raíz	4 – 35	O, S
Maíz (waxy)	71	Cereal	3 – 26	R, P
Sorgo	75	Cereal	3 – 8	P, A
Arroz	89	Cereal	3 – 8	R, D

R: redondo; P: poligonal; O: oval; S: esférico; L: lenticular; T: truncado; A: angular

Fuente: Mendoza et al. (2017).

2.4.1. Amilosa y amilopeptina.

Mendoza, Ricalde, & Hernández (2017)**.** la mayoría de los almidones contiene dos polímeros que son la amilosa y amilopeptina. Amilosa es un polímero lineal que llega contener hasta 6000 unidades de glucosa con enlace α-1,4, con algunas ramificaciones que contiene de 3 a 20 cadenas de glucosa.

Amilopeptina llega a tener una estructura altamente ramificada y esta consta de cadenas de amilosa conectada con enlace α- 1,6.

Cuadro 4. Cantidad de Amilosa y Amilopeptina en almidones

	Amilosa %	Amilopeptina %	GP Amilosa	GP Amilopeptina
Maíz	28	72	800	2 000 000
Papa	21	79	3 000	2 000 000
Trigo	28	72	800	2 000 000
Yuca	17	83	-	2 000 000
Maíz (waxy)	0	100	-	2 000 000
Sorgo	28	72	-	-
Arroz	17	83	-	-

GP: Grado de Polimerización

Fuente: Mendoza et al. (2017)

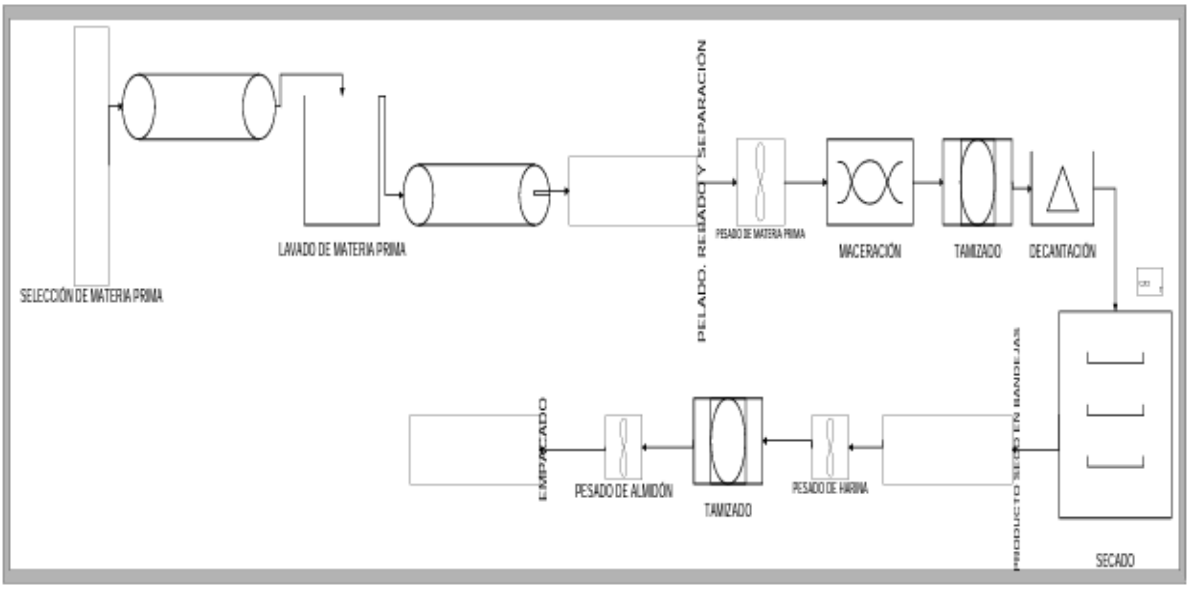
2.5. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

La forma de extraer almidón se puede realizarse de forma artesanal, así como también de manera tecnificado, en ambos casos el proceso suele a llegar a ser el mismo, con la diferencia de los volúmenes del procesamiento, y los principales son el método húmedo y el método seco. (Carrasco & Vásquez 2018).

2.5.1. Método húmedo

Este método llega a consistir de la trituración o reducción del tamaño de la materia y retirar en medio liquido aquellos componentes de la pulpa que son más grande como la fibra y proteína, posterior a esto se realiza la eliminación del agua mediante decantación y se lava el material sedimentado para eliminar las ultimas fracciones que son diferentes al almidón para someterlo finalmente a un secado. Carrasco & Vásquez (2018).

Figuras 1. Diagrama de proceso de extracción de almidón por método húmedo

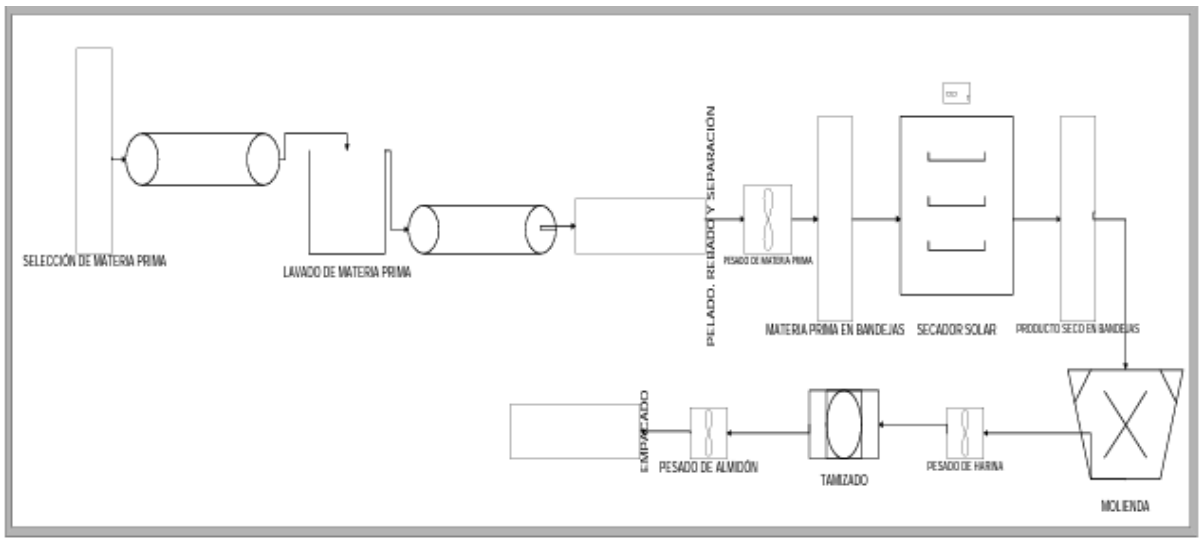


Fuente: Guadrón (2013)

2.5.2. Método Seco

Este método es la molienda de la materia prima después de pasar por el proceso de secado, obteniendo así la harina, para el posterior tamizado y así lograr obtener el almidón. Carrasco & Vásquez (2018).

Figuras 2. Diagrama de proceso de extracción de almidón por método seco.



Fuente: Guadrón (2013)

2.6. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL ALMIDÓN

Aristizábal & Sánchez (2007) Las propiedades funcionales del almidón dependen de la relación que posee entre la amilosa y amilopeptina, donde la relación es constante. Las características funcionales del almidón son: solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta, digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación.

Cuando llega a pasar por el tratamiento hidrotérmico, el almidón llega a sufrir una serie de modificaciones que influye en su estructura, llegando a pasar por tres fases importante: gelatinización, gelificación y retrogradación.

2.6.1. Gelatinización

Es la primera etapa donde el agua se llega a difundir por las zonas amorfas del granulo del almidón, produciendo así un primer hinchamiento que es reversible. Durante esta primera etapa de cocción, la amilosa se solubiliza y el almidón sufre una dispersión coloidal constituida por una fase continua o disolvente que se enriquece la amilosa y una fase dispersa de gránulos de almidón hi enriquecidos en amilopeptina. Aristizábal & Sánchez (2007)

2.6.2. Gelificación

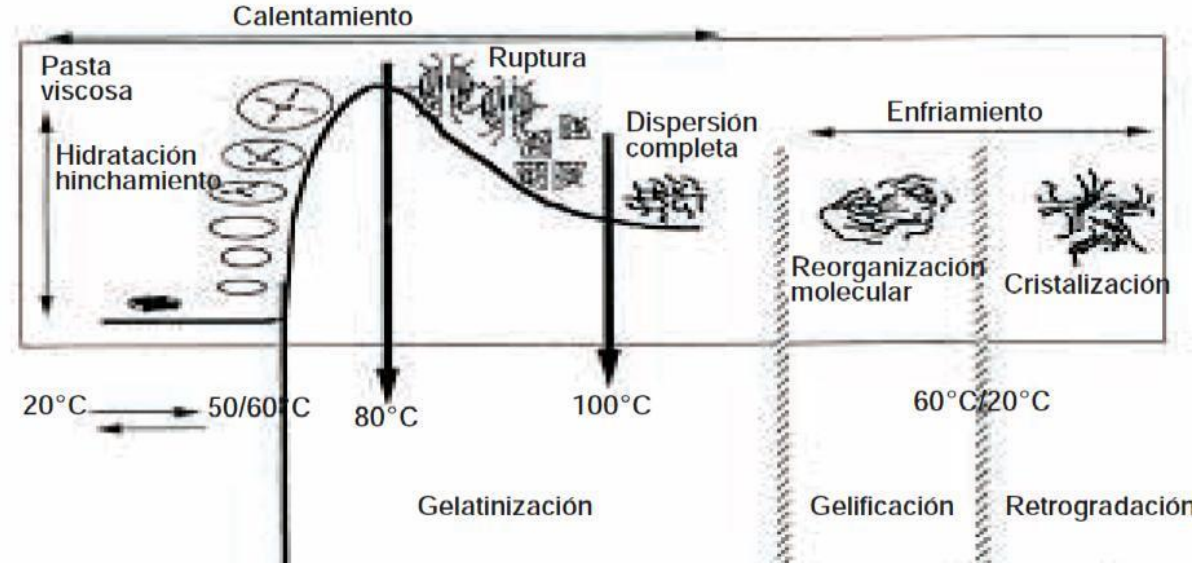
En la gelificación las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienen a agregarse.

2.6.3. Retrogradación

Es la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel, cuando las pastas de los almidones son enfriadas y ocurre en tres estados, dilatación de las cadenas, perdida del límite del agua y formación de enlaces de hidrogeno.

Diagrama de representación esquemática de los cambios de los gránulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico.

Figuras 3. Características funcionales del almidón



Fuente: Aristizábal & Sánchez (2007)

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En Perú, casi 950 mil toneladas de plástico se consumen al año. De ellas, el 75 % se convierte en residuos municipales urbanos y solo el 25 % corresponde a productos con una vida útil mayor a un año. De acuerdo a cifras del Ministerio del Ambiente, solo el 56 % de los residuos plásticos que se generan en Perú terminan en un relleno sanitario, mientras que el 43 % llega a botaderos y termina en ríos y en el océano. Solo el 0.3 % es reinsertado en la cadena productiva a través del reciclaje.

El aumento excesivo del consumo de bolsas plásticas en Ucayali, exactamente en la ciudad de Pucallpa, crece cada año, ésta posee grandes índices de contaminación, de las cuales tiene procesos con efectos negativos y compuestos contaminantes para el planeta, lo que ha generado conciencia ciudadana y preocupación en las autoridades; dicho exceso se da mayormente en los mercados y los supermercados de la ciudad y aledañas a estas, que ha logrado generar una cantidad de desechos, debido al lento proceso de degradación de dicho producto, ocasionando una contaminación ambiental cada vez más severa, así mismo agotando cada vez más las reservas derivado del petróleo del cual son procesados las bolsas plásticas.

Debido a esta problemática nace la idea de elaborar plásticos biodegradables a base de almidón de la semilla del pan de árbol y someterlos a pruebas para determinar en qué procesos podrían reemplazar a la bolsa plástica derivado del petróleo, mediante esta problemática me conlleva al estudio e investigación de la semilla del fruto del pan de árbol *(Artocarpus altilis)*, con la adición de la glicerina, en diferentes proporciones experimentales, obteniendo así un plástico biodegradable.

3.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuáles serán las características del plástico biodegradable elaborado a partir de almidón de la semilla de pan de árbol (*artocarpus altilis*) con diferentes concentraciones de glicerina?

3.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Objetivo general.

Evaluar el plástico biodegradable elaborado con diferentes concentraciones de glicerina a partir de almidón de la semilla del pan de árbol (A*rtocarpus altilis*).

3.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar parámetros tecnológicos en la extracción del almidón de pan de árbol.

- Evaluar sus características fisicoquímicas del plástico biodegradable elaborado con diferentes concentraciones de glicerina a partir del almidón de la semilla de pan de árbol.

- Determinar el tiempo de biodegradación del plástico biodegradable elaborado base de pan de árbol.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. LUGAR DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El desarrollo de la investigación para la obtención del fruto y la extracción del almidón y elaboración del bioplástico, se realizó en dos etapas:

En su etapa de campo, para la obtención de los frutos de pan del árbol se recolectó del distrito de Yarinacocha, caserío San Juan.

La segunda etapa de acondicionamiento, elaboración y análisis, se realizó en el ambiente del taller de Química de la Universidad Nacional de Ucayali.

4.2. MATERIA PRIMA.

Para la obtención de la materia prima de pan de árbol se recolectó del distrito de Yarinacocha, caserío San Juan, ubicado a latitud sur 8°19'25"S y longitud oeste 74°36'11"W, a orillas del lago de Yarinacocha.



4.3. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS.

4.3.1. Materiales.

- **Materiales de proceso:**

Bandejas con capacidad de 20 kg, sacos con capacidad de 50 kg, plumón marcador, libreta de apuntes y cámara fotográfica, tablas de picar 20 x 30 cm, cuchillo de acero inoxidable, cucharas grandes, jarra graduada de plástico x 2 L, bolsas de plástico y ollas x 10 L.

- **Materiales de laboratorio:**

Probetas graduadas de 500mL y 100 mL, vasos de precipitado de 50 mL, 100mL, 250mL y 500mL, folías de 100 mL, pizeta, tubos de ensayo de 10 mL, campana de desecación, matraces de Erlenmeyer de 150mL y 250mL; pipetas graduadas de 10mL, tinas y un termómetro.

4.3.2. Equipos e instrumentos.

Molino de mano, balanza digital, balanza analítica con precisión de 0,01mg, deshidratador de bandeja, centrífuga.

4.3.3. Insumos.

Glicerina, agua destilada y vinagre blanco al 5%.

4.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

4.4.1. Obtención del pan de árbol.

El fruto del pan de árbol se consiguió en la ciudad de Pucallpa-distrito de Yarinacocha. Generalmente la fruta que fue recién caída del árbol se recolectó a mano, debido a su gran altura.

- **Selección y clasificación de la semilla del pan de árbol:**

Se escogió manualmente las semillas más homogéneas y que estén en buenas condiciones. Se realizó un análisis biométrico de las semillas teniendo en cuenta su estado de madurez.

- **Lavado:**

Se retiró la poca sucia que hay en la semilla de pan de árbol, una por una, con ayuda de un estropajo rugoso y agua. Se agrega una solución de ácido cítrico al 5% para evitar la oxidación de las semillas y poder obtener el almidón con apariencia blanquecina.

- **Secado mediante deshidratador de bandeja:**

Se realizó el secado de la semilla en una estufa, donde se trabajó a una temperatura constante de 60 °C por 24h. Después del secado se prosiguió a pesar el producto donde se determinó el porcentaje de humedad perdido y así calcular el rendimiento obtenido.

4.4.2. Obtención del almidón del pan de árbol.

La masa inicial fue de 2.676 kg de semilla de pan de árbol ya seleccionadas y de color marrón oscuro brillante.

Se dispersaron las semillas de manera uniforme hasta cubrir todos los bordes de la bandeja metálica

Se realizó el seguimiento de la pérdida de peso de las semillas de pan de árbol a intervalos de tiempo previamente establecidos, hasta valores de pesada constante.

Se calculó el porcentaje de humedad con la siguiente formula:

$$\%\ Humedad\ \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}}\ x100$$

4.4.3. Obtención del almidón del pan de árbol.

- **Lavado**:

Luego se procedió al lavado eliminando impurezas como suciedad que llega a presentar el fruto.

- **Cortado**:

Posteriormente se pasó al cortado de la fruta, donde se cortaba en rodajas de 3 mm de espesor aproximadamente para tener mayor superficie de contacto.

- **Inmersión**:

La inmersión se hizo en una solución de agua ácido cítrico al 5%, para evitar la oxidación del pan de árbol, por un tiempo de 10 minutos, para luego sea enjuagado con agua corriente y así pasar a la siguiente operación.

- **Licuado o desintegración.**

En esta etapa se liberaron los gránulos de almidón contenido en la semilla, esta etapa es muy importante, ya que aquí es donde se extrajo el almidón y se determinó la eficiencia de la extracción, mediante el licuado.

- **Tamizado**:

Después de pasar por el licuado, se tamizó en una tela tocuyo, enjuagando con agua corriente hasta que la coloración del agua cambie de color lechoso a transparente y esto sea depositado en un recipiente transparente.

- **Sedimentación y deshidratación.**

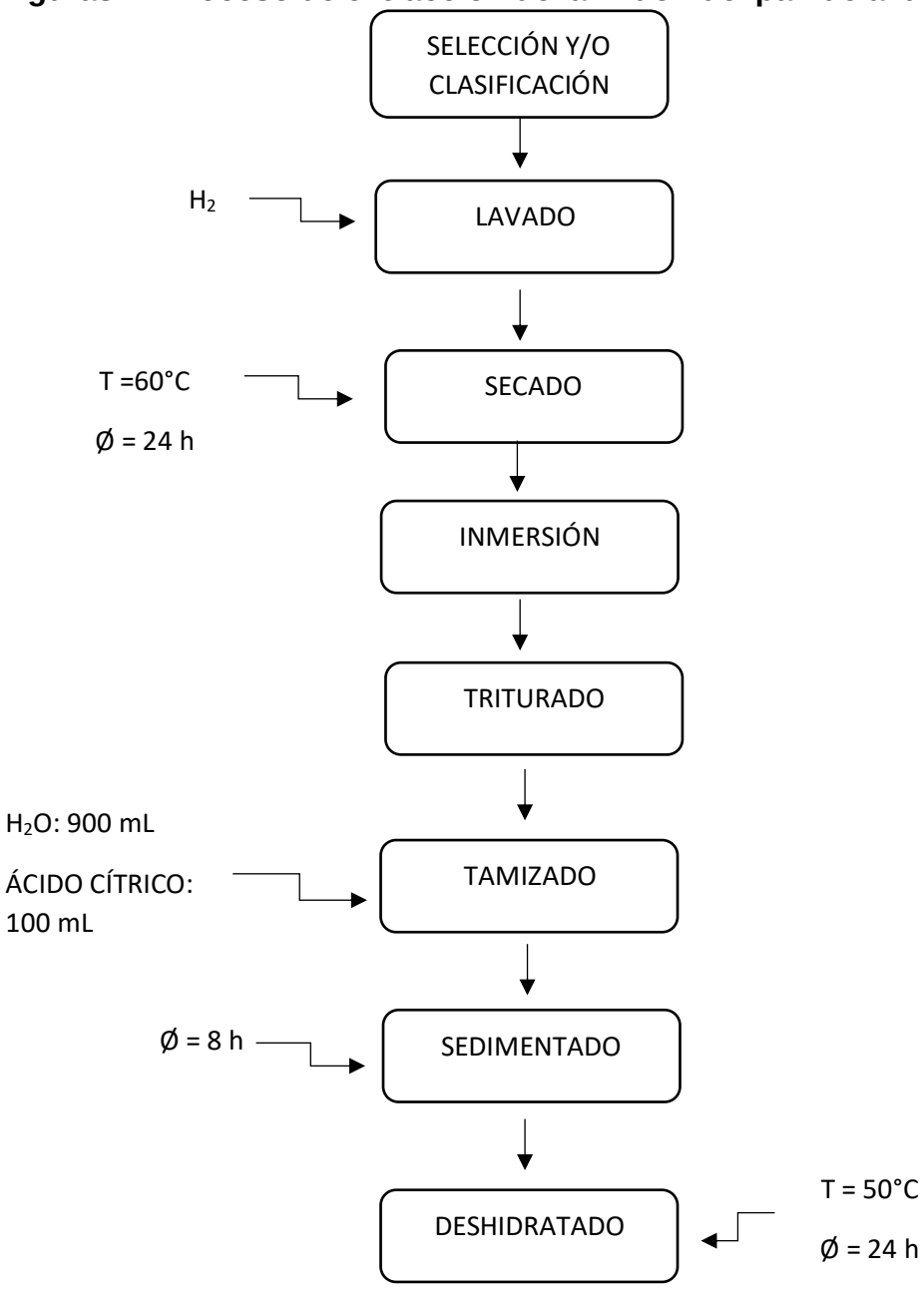
Se dejó en reposo por un espacio 8h para que la sedimentación sede de manera acelerada y así se pueda separar lo gránulos de almidón de su suspensión en agua.

Luego se extrajo el agua residual de la centrífuga, una vez que el almidón haya sedimentado. Una vez que se logró separar el almidón, se deshidrató en la estufa a 50ºC durante 24 horas, donde así obtuvimos el almidón requerido para la producción del bioplástico.

Con los resultados experimentalmente, se realizó el balance de masa sin reacción química en régimen estacionario. (Entrada = Salida), donde se determinó el rendimiento del proceso de extracción del almidón de la semilla del pan de árbol.

$$\%\ Rendimiento\ \frac{\text{masa de almidon obtenido}}{\text{masa de la semilla del pan de arbol}}\ x100$$

Figuras 4. Proceso de extracción del almidón del pan de árbol.



Fuente: Guzmán (2013)

Adaptación: Propia

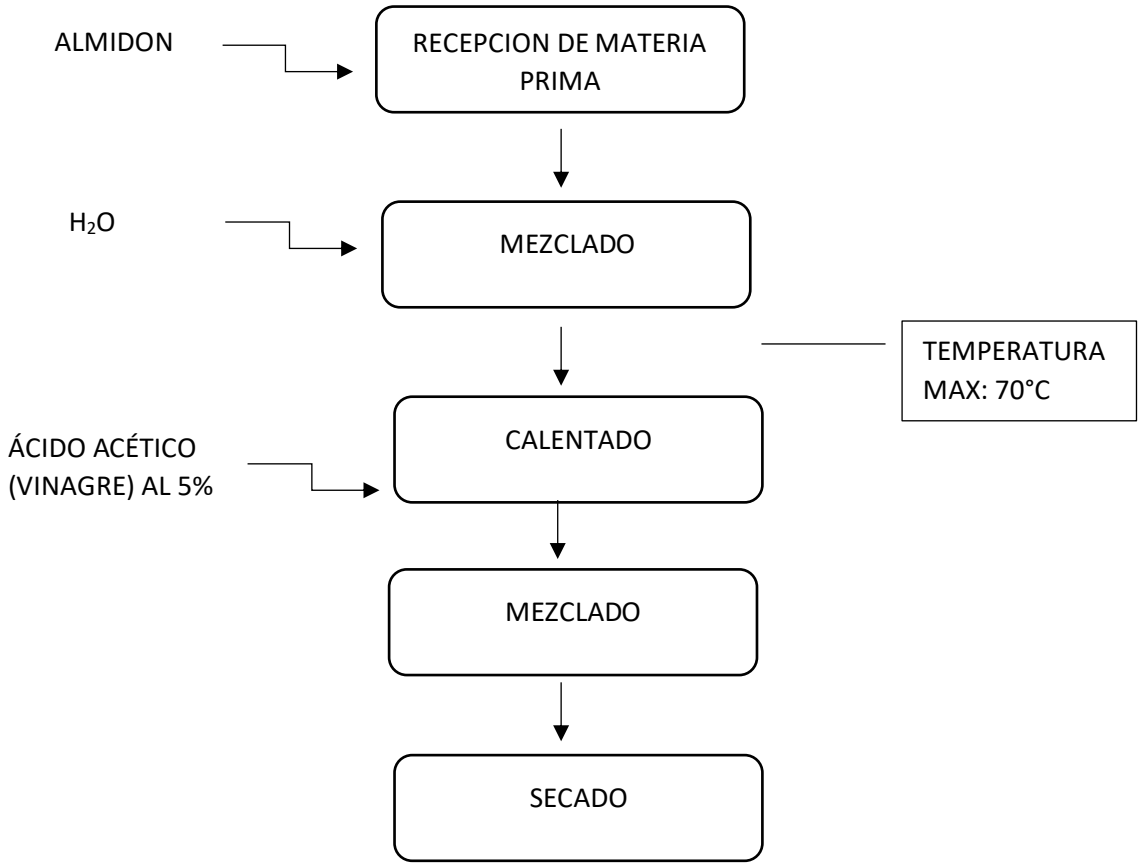
4.4.4. Elaboración de plástico biodegradable.

La elaboración del plástico biodegradable se llevó a cabo teniendo en cuenta la metodología que describe Guzmán (2013) con algunas modificaciones. Se colocó en un recipiente 8 ml de agua destilada junto con 2 g del almidón de la semilla de pan de árbol que se extrajo, mezclando constantemente hasta llegar a homogeneizar, cuidando en todo momento que la temperatura no se llegara a exceder a los 70ºC, con la constante supervisión de un termómetro digital.

Luego se agregó gota a gota las proporciones de glicerina en estudio con agitación constante, notando un cambio en la consistencia de la mezcla. Se añade 1.5 mL de ácido acético (vinagre) homogenizando hasta que se dejó de percibir vapor en la mezcla.

Finalizado este proceso, se colocó en una placa de vidrio formando así una película fina, se llegó a proveer de una estufa para su secado hasta obtener el bioplástico.

Figuras 5. Proceso de elaboración de bioplástico.



Elaboración Propia

4.5. Análisis Fisicoquímicos.

4.5.1. Capacidad de absorción de agua:

Para determinar la absorción del agua se realizó mediante el método de prueba estándar para la absorción de plásticos ASTM D570-98, en la que consiste en colocar una película de 2 cm x 2 cm x 0.5 mm con un peso inicial, en una placa Petri con agua y estar llevando un control de peso de 10 min por un total de tiempo de 30 min, hasta tener un peso final y por diferencia de pesos se determinó su capacidad de absorción.

La cantidad de agua absorbida se calculó como la diferencia de peso y se expresó como masa de agua absorbida por unidad de masa de la muestra original. Los valores reportados fuerón la media de tres valores determinaciones para cada formulación (Diaz 2017).

4.5.2. Medición de la densidad:

La densidad (g /cm^3) se calculó a partir de la masa (g) y el volumen (cm^3) de cada muestra (Shogren et al. 1998). Se acondicionó tiras rectangulares de aproximadamente 3 cm x 5 cm x espesor de muestra. Cada muestra se pesó, y se calculó el volumen multiplicando la longitud, anchura y espesor juntos.

4.5.3. pH. (Método del potenciómetro):

Se determinó en base al peso de 2 g de muestra de bioplástico, utilizando el potenciómetro, que debe estar calibrado.

4.5.4. Resistencia:

Para poder calcular la resistencia se basa en las normas generales que se emplean, la UNE-EN ISO 178, para materiales plásticos. Posteriormente se procede a calcular los esfuerzos en los puntos máximo y de rotura, las deformaciones correspondientes y el módulo elástico teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculado a partir del plástico biodegradable. En esta prueba se fija una escala de fuerzas para medir el tiempo de esta resistencia. La escala fue la siguiente:

- Fuerza 1: Baja

- Fuerza 2: Intermedia
- Fuerza 3: Fuerte

4.5.5. Elasticidad:

Mediante el método de tracción, se procedió a realizar esta prueba, teniendo en cuenta la aplicación de esfuerzo en la misma dirección que el eje longitudinal del plástico biodegradable. La norma general para materiales plásticos es la UNE-EN ISO 527. De los ensayos de tracción que se dio en la prueba experimental, se extrajo un gráfico con los datos esfuerzo-deformación registrado, a partir de las cuales se determinó el comportamiento elástico y plástico de un material.

4.5.6. Biodegradación.

Se procedió a realizar la biodegradación del bioplástico, mediante la prueba de composteo **(Contreras , 2013)**. Esta prueba se realizó colocando el plástico biodegradable en una maceta, donde se añadió el compost. Se registró datos de temperatura ambiente y humedad relativa local. Se midió los días de biodegradación.

4.6. Diseño estadístico.

El diseño estadístico que se aplicó es un Diseño Completamente al Azar (DCA) contando con 3 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento, contando así de esta forma con 09 unidades experimentales. El modelo estadístico para el diseño es la siguiente:

Modelo matemático

$$Yij = \mu + \tau i + \varepsilon i\text{j}$$

Dónde:

Yij : Resultado del “i” sujeto bajo el “i” tratamiento.

μ : Media común de todos los datos del experimento.

τi : Efecto del “i-ésimo” tratamiento.

εij : Error experimental o Efecto aleatorio de muestreo.

4.7. Tratamientos

Los tratamientos que se evaluaron en el presente trabajo de investigación fueron 3, tal como se muestra a continuación:

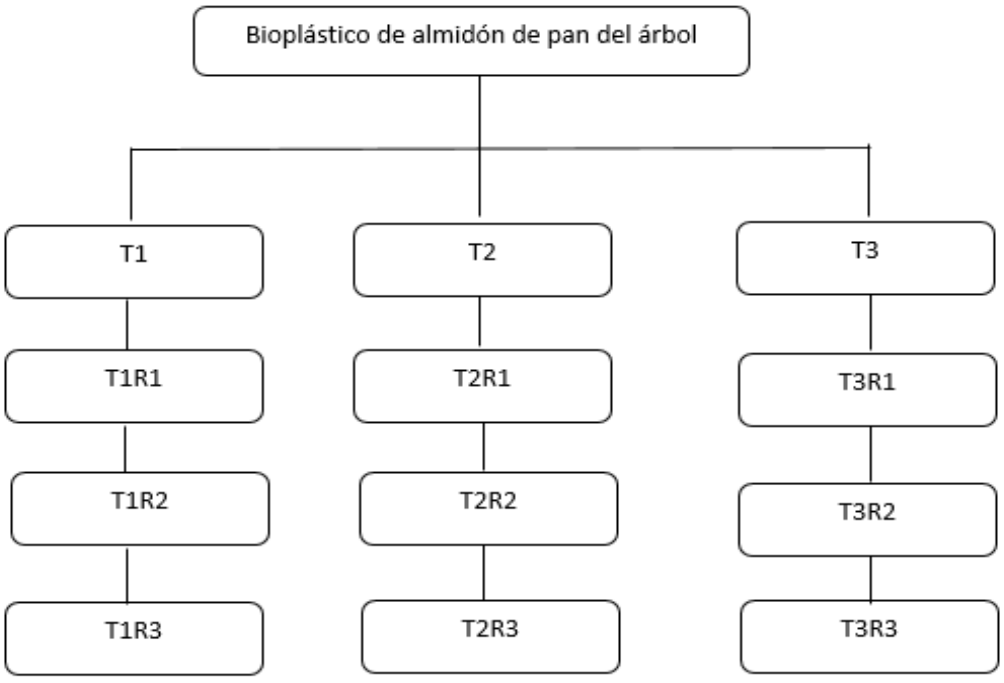
Cuadro 5. Tratamientos experimentales

Tratamientos	Repeticiones
T_1= 10% de glicerina	R_1, R_2, R_3
T_2 = 20 % de glicerina	R_1, R_2, R_3
T_3 = 30% de glicerina	R_1, R_2, R_3

4.7.1. Esquema experimental:

Para determinar el contenido adecuado de glicerina en la elaboración de plástico biodegradable, y así poder ver sus diferentes análisis fisicoquímicos y obtener los resultados, se presenta el siguiente esquema:

Figuras 6. Esquema experimetal



T_1: Bioplástico con 10% de glicerina, T_2: Bioplástico con 20% de glicerina, T_3: Bioplástico con 30% de glicerina y R_1= R_2= R_3: Repeticiones por tratamiento

4.8. Análisis experimental

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confianza y TUKEY para determinar las diferencias significativas mediante el programa estadístico INFOSTAT 2020.

4.9. Medición de variables independientes y dependientes

- Variables independientes

  Análisis de un factor = cantidad de glicerina

  T_1= 10% de glicerina

  T_2 = 20 % de glicerina

  T_3 = 30% de glicerina

- Variables dependientes

  Características fisicoquímicas del plástico biodegradable:

  Capacidad de absorción

  pH

  Densidad

  Resistencia

  Elasticidad

  Biodegradación

4.10. Operacionalización de variables.

Cuadro 6. Operacionalización de variables

VARIABLES	EVALUACIÓN	INDICADOR
INDEPENDIENTE		
Cantidad de glicerina	Análisis de la cantidad de glicerina	10% 20% 30%
DEPENDIENTE		
Características fisicoquímicas	Característica física y química	pH Capacidad de absorción Densidad Elasticidad Resistencia Biodegradación

Elaboración propia

(Carrasco & Vásquez 2018).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. OBTENCIÓN Y RENDIMIENTO DE MATERIA PRIMA:

La materia prima, en esta ocasión el pan de árbol, se recolectó de los alrededores del lago de Yarinacocha, de los árboles cuyos frutos ya se encontraban maduro. Para luego sea llevado al laboratorio de química de la Universidad Nacional de Ucayali.

5.1.1. Selección:

Se seleccionó frutos que estén en óptimas condiciones, que no presente golpes, cortes, hongos, entre otros factores que no afecte la calidad del almidón. Donde se obtuvo al final un peso de 2.676 Kg con la que se trabajó. Se procedió a realizar la biometría. Se seleccionaron 20 semillas a las cuales se evaluó las características físicas:

Cuadro 7. Biometría de semillas del pan de árbol

Semillas	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Peso de fruto (g)
1	3.15	1.83	0.5178
2	2.82	1.58	0.5054
3	2.96	1.68	0.5160
4	2.60	1.55	0.5005
5	2.86	1.66	0.5010
6	2.98	1.82	0.5132
7	2.78	1.64	0.5112
8	3.02	1.78	0.5166
9	2.86	1.66	0.5043
10	3.10	1.86	0.5146
11	3.10	1.87	0.5152
12	2.95	1.78	0.5148
13	3.05	1.77	0.5164
14	2.80	1.68	0.4990
15	2.82	1.71	0.5002
16	2.94	1.80	0.5138
17	2.72	1.66	0.4968
18	2.76	1.64	0.4979
19	2.84	1.72	0.5026
20	2.88	1.74	0.5058
PROMEDIO	2.90	1.72	0.51

Elaboración propia

5.1.2. Rendimiento de extracción de almidón del pan de árbol:

Una vez aplicado los procedimientos para obtener el almidón del pan de árbol se obtuvo como resultado 22,4088 g.

Cuadro 8. Rendimiento de extracción de almidón del pan de árbol

OPERACIÓN	INGRESA (g)	SALIDA (g)	QUEDA (g)	PORCENTAJE %
RECEPCIÓN	2676	0	2676	100%
SELECCIÓN	2676	518	2158	81%
LAVADO	2158	15	2143	80%
PELADO	2143	571	1572	59%
SECADO	1572	0	1572	59%
INMERSIÓN	1572	0	1572	59%
TRITURADO	1572	0	1572	59%
TAMIZADO	1572	986	586	22%
SEDIMENTADO	586	513	73	3%
DESHIDRATADO	73	50.59	22.41	0.84%

Elaboración propia

5.2. ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO

Para la elaboración del bioplástico, se trabajó se determinó el parámetro exacto para la investigación, donde se trabajó la relación de almidón – glicerina de acuerdo a las cantidades proporcionadas.

Cuadro 9. Formulación de bioplástico

INGREDIENTES	CANTIDAD
Almidón	2 g
Agua	8 g
Ácido acético al 5%	1.5 ml o 1.56 g
Glicerina	T_1=10% - T_2=20% - T_3=30% Del peso total

Cuadro 10. Relación de porcentaje de glicerina

RELACIÓN DE PORCENTAJE DE GLICERINA			
Tratamiento	**% Glicerina**	**Glicerina (g)**	**Almidón (g)**
T_1	10	1.16 g	2 g
T_2	20	2.31 g	2 g
T_3	30	3.47 g	2. g

Se trabajó en los ambientes del laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Ucayali, donde se realizó la elaboración y las pruebas requeridas para la investigación.

Para el proceso de elaboración se trabajó con la relación ya mencionada, donde nuestro primer paso fue pesar el almidón 2 g, luego se diluyó con 8 ml de agua en todos los tratamientos hasta homogenizar por completo y se lo llevó a calentar sin que sobrepase los 70°C para evitar la gelificación, se añadió de a poco la glicerina en sus proporciones respectivas (1.16 g, 2.31 g y 3.47 g), para luego adicionar el ácido acético al 5%, la cantidad por igual para todos los tratamientos de 1.5 ml, hasta que se llegó a formar una consistencia pastosa, y expandirlo en placas Petri.

Una vez de llegar a expandir las muestras y los tratamientos del bioplástico, se procedió a secar a la estufa a 40°C por un tiempo de 48 horas para su posterior evaluación.

5.3. PRUEBAS FISICOQUÍMICAS DE BIOPLÁSTICO

5.3.1. Capacidad de absorción de agua:

No se mostraron variaciones en la absorción de agua, para los tres tratamientos, es decir la capacidad de absorción de agua es indistinto a la cantidad de glicerina agregada en cada tratamiento (T1 = 10%, T2 = 20% y T3 = 30%). La poca absorción de agua indica que en los tres tratamientos se obtuvo bioplásticos muy poco porosos, los que hace bioplásticos más compactos y frágiles.

Cuadro 11. Capacidad de absorción de agua

Proporción de glicerina	Peso inicial de bioplástico (g)	Tiempo (min)	Peso final (g gel/100 mL)
T_1= (10%)	0.2366	10	0.2380
		20	0.2457
		30	0.2536
	0.2149	10	0.2163
		20	0.2243
		30	0.2429
	0.2263	10	0.2291
		20	0.2442
		30	0.2529
T_2 = (20%)	0.2315	10	0.2440
		20	0.2568
		30	0.2680
	0.2267	10	0.2330
		20	0.2468
		30	0.2612
	0.2230	10	0.2325
		20	0.2403
		30	0.2564
T_3 = (30%)	0.2147	10	0.2287
		20	0.2413
		30	0.2593
	0.2359	10	0.2512
		20	0.2635
		30	0.2764
	0.2248	10	0.2357
		20	0.2489
		30	0.2597

Elaboración propia

Cuadro 12. Análisis de ANOVA de capacidad de absorción de agua

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3.9e-4	2	2.0e-04	3.56	0.0958
Error	3.3e-04	6	5.5e-04		
Total	7.2e-04	8			

El análisis de ANOVA nos indica que la prueba de absorción de agua no presenta diferencia significativa debido a que el p-valor es mayor al 0.05 de confianza, por lo que no se recurrió a una la prueba de TUKEY.

5.3.2. Medida de densidad

Para la medición de la densidad se aplicó la metodología de la medida de empuje, donde se tenía las muestras de dimensiones de 2cmx2cmx2mm, donde cada muestra se le pasó a pesar para tener un peso inicial, para que luego en una probeta con 10 ml de agua se introducirá las muestras y observaremos el empuje que este realiza y así obtener su densidad mediante la fórmula:

$$D = m/v$$

Donde:

D= densidad

m= masa

v= volumen empujado

Cuadro 13. Densidad del bioplástico de almidón de pan de árbol

Muestras	Peso de muestras (g)	Volumen empujado de agua (ml)	Densidad (g/mL)
T1= 10%	0.1840	0.25	0.736
	0.222	0.3	0.74
	0.219	0.3	0.73
T2= 20%	0.2625	0.35	0.75
	0.225	0.3	0.75
	0.2607	0.35	0.745
T3= 30%	0.195	0.25	0.78
	0.234	0.3	0.78
	0.196	0.25	0.785

Cuadro 14. Análisis de ANOVA de densidad

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3.4e-03	2	1.7e-03	122.39	<0.0001
Error	8.4e-05	6	1.4e-05		
Total	3.5e-03	8			

El análisis de ANOVA de la prueba de densidad nos muestra que, si tiene presencia de diferencia significativa, por lo que se procede a realizar la prueba de TUKEY.

Cuadro 15. Prueba de TUKEY de densidad

Tratamientos	N	Medias	Agrupación
T3= 30%	3	0.78	A
T2= 20%	3	0.75	B
T1= 10%	3	0.74	C

Medias con una letra común no son significativamente diferente (p>0.05)

La prueba de TUKEY nos indica que los tres tratamientos son significativamente diferentes respecto a la prueba de densidad.

5.3.3. Prueba de pH

Para la prueba de pH se realizó con la medición del potenciómetro donde se colocó muestras de 2cmx2cmx2mm en un recipiente con agua, se dejó reposar por un tiempo de 5 minutos y se obtuvo los siguientes resultados.

Cuadro 16. Resultados de pH

Muestras	T1	T2	T3
T1=10%	5.7	5.8	6.1
T2=20%	5.8	5.9	6.2
T3=30%	5.5	5.8	6.2

Cuadro 17. Análisis de ANOVA de pH

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	0.03	2	0.01	0.21	0.8191
Error	0.42	6	0.07		
Total	0.45	8			

El análisis de ANOVA nos indica que la prueba de pH no presenta diferencia significativa, debido a que el p-valor es mayor a 0.05 del valor de confianza.

5.3.4. Prueba de resistencia:

En el caso de la prueba de resistencia no se llegó a determinar con exactitud, debido a que el bioplástico elaborado con las diferentes concentraciones de glicerina era muy frágil y no se podía determinarlo, por lo que podemos decir que el bioplástico de pan de árbol en las concentraciones de glicerina en estudio no presenta tanta resistencia.

5.3.5. Prueba de elasticidad

Para la prueba de elasticidad se determinó mediante una prueba convencional, donde se hizo la medición con la ayuda de un vernier y ver que tanto se llega a estirar una muestra de 2cmx 2cm x 2mm, los resultados fueron los siguientes.

Cuadro 18. Resultados de elasticidad

Muestras	T1 (cm)	T2 (cm)	T3 (cm)
T1=10%	0.12	0.11	0.1
T2=20%	0.1	0.1	0.1
T3=30%	0.13	0.12	0.11

Cuadro 19. Análisis de ANOVA de elasticidad

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	6.0e-04	2	3.0e-04	4.5	0.0640
Error	4.0e-04	6	6.7e-05		
Total	1.0e-03	8			

El Análisis de ANOVA de la elasticidad nos indica que no presenta diferencia significativa, por lo que no fue necesario trabajar con la prueba de TUKEY.

5.3.6. Biodegradación

En la biodegradación se pudo determinar mediante el tiempo que transcurría, colocando una pequeña muestra de 2cmx2cmx2mm en macetas con tierra y abono y observar a través del tiempo como se desintegra, viendo los cambios desde el día 10 y una desintegración total en 18 días en los 3 tratamientos y las 3 repeticiones.

VI. DISCUSIONES.

Respecto a la biodegradación Avellán, Díaz, Mendoza, & Zambrano (2020), nos dice que la elaboración de su bioplástico tiene una degradación de 42 dias, en nuestro caso se llegó a presentar la degradación a los 10 dias y a los 18 días estas ya se encontraba totalmente degradado, esto puede ser devido al tipo de almidon, que trabajaron con almidon de maíz y para el caso de lainvestigación se hizo con almidón de pan de árbol, y una de las cusas posibles sea por la estructura que estas puede presentar.

Espinosa Charro (2015) trabajó con diferentes tipos de plastificantes, de las cuales la glicerina fue la que mejor visualmente se formó, al igual que en el trabajo de investigación se presentó que la glicerina tiene el mismo efecto incluso su plastificación es mucho más veloz, teniendo en cuenta que ambos se trabajó con 70°C.

La obtención del almidón es diferente para cada caso, todo depende de la materia prima a utilizar, en nuestro caso se aplicó una adaptación basándonos en el proceso de Guzmán (2013) y Ortega Cahui (2019).

VII. CONCLUSIONES.

De acuerdo con los resultados descritos y obtenidos en la presente investigación, se concluye de la siguiente manera:

La elaboración de bioplástico en base a almidón de semillas de pan de árbol es viable con la ayuda productos como la glicerina como factor plastificante, ácido acético y agua destilada como solvente. Para obtener un almidón de buena calidad se tiene que llevar a cabo un proceso de inmersión de los granos de pan de árbol en una solución de ácido crítico al 5%, ya éste ayuda a inhibir la oxidación.

En la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, el bioplástico elaborado a partir del almidón de pan de árbol en su parámetro capacidad de absorción de agua nos tuvo diferencia significativa entre los tratamientos y los resultados obtenidos están ligados directamente proporcional a la adición de plastificante glicerina. El parámetro densidad es muy importante en la elaboración de bioplásticos, ya que un producto de baja densidad tiene mucho más elasticidad y menor costo de producción, en este sentido el T_1 es el mejor tratamiento ya que es el menor entre ellos, se obtuvo 0.73 g/mL. En los resultados de pH no hay diferencia significativa entre los tratamientos (T1 = 5.7, T2 = 5.8 y T3 = 6.2) en promedio.

En el parámetro de elasticidad, el tratamiento T_1 tuvo el mejor resultado 0.13 cm de elongación, por sobre los demás tratamientos; Por lo tanto; de acuerdo a la evaluación de los parámetros densidad y elasticidad se puede decir que el mejor tratamiento es el (T1= 1.16 g de glicerina) ya que obtuvo los mejores resultados, sin embargo, muy alta comparada con la del poliestireno expandido, que es el polímero sintético fósil objetivo de sustitución

En la prueba de degradación los tres tratamientos se degradaron a la tercera semana de evaluación, exactamente a los 18 días, llegando a la conclusión que el producto obtenido es biodegradable y comportable.

VIII. RECOMENDACIONES.

Realizar un estudio de la relación amilosa – amilopectina contenida en el almidón de pan de árbol, ya que este parámetro indica la calidad del almidón que se puede modificar y de este modo, determinar la proporción de ácido acético, este aditivo fue una variable constante en los tratamientos,

Realizar otros estudios de obtención de bioplásticos a partir de almidón de pan de árbol con métodos mucho más tecnológicos, en los cuales se disminuirán pérdidas en el proceso y obtener productos de mayor calidad.

Realizar un estudio de plan de costos de la obtención de bioplásticos a partir de almidón de pan de árbol, para una producción a gran escala.

Trabajar con otros tipos de almidones de nuestra región, y compararlo con los parámetros establecidos y evaluar comportamientos mecánicos y fisicoquímicos.

LITERATURA CITADA.

Arango Acosta , G. J., & Quijano Tobón , J. 1977. ESTUDIO QUÍMICO ANALÍTICO DE LOS FRUTOS DEL PAN DE ÁRBOL . Atualidades Biológicas , 8-14.

Aristizábal , J., & Sánchez , T. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentanción .

Avellán díaz, Mendoza, & zambrano, (2020). obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (zea mays l.). revista colón ciencias, tecnología y negocios, 0(0), 0–11.

Cabrera Durán , E., & Castillo Martinez, J. (2018). Aprovechamiento de la fruta del árbol de pan (Artocarpus altilis) para la obtención de un derivado alimenticio (harina). En P. A. Sánchez-Sánchez, Revista Investogación e Innovación en Ingeniería (págs. 30-46). Colombia : Paola Andrea Sánchez-Sánchez.

Carrasco Huanca , L. D., & Vásquez Reyes, M. (Julio de 2018). Universidad Nacional Autonóma de Chota . Obtenido de Extracción de almidón: https://www.calameo.com/read/005193087c8fe3b2314cf

CODEX STAN 247. (2005). NORMA GENERAL DEL CODEX PARA ZUMOS (JUGOS) Y NÉCTARES DE FRUTAS. 1.

Contreras Rabell & Villavicencio, (2013). metodológica para la evaluación de la degradabilidad de plásticos mediante composteo. universidad autónoma metropolitana, 0, 1–7.

Ecoplas. (2020). ¿Qué son los Plásticos Biodegradables, Biobasados, Degradables, Oxodegradables, Compostables? Argentina .

Espinosa Charro, (2015). obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. universidad central del ecuador, 3(2), 54–67.

Guadrón, d. D. (Octubre de 2013). Universidad de el salvador. Obtenido de Diseño de desarrollo del proceso para la exracción de almidón a partir de guineo majocho verde (Musa sp. Variedad cuadrado) para su uso en la industria de alimentos: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4

927/1/Dise%C3%B1o%20y%20desarrollo%20del%20proceso%20para%20la%20extracci%C3%B3n%20de%20almid%C3%B3n%20a%20partir%20del%20guineo%20majoncho%20verde%20%28musa%20sp.varieda

Madrigal Hernandez , F., Montanez Gomez , C., De la cruz Burelo , P., Bolio Lopez , G. I., Hernadéz Villegas, M. M., Valerio Cárdenas , C., & Vélazquez Carmona, m. A. (2020). Preparación y caracterización de bioplastico a partir del almidon del fruto de pan de sopa (Artocarpus (S.Park) Fosberg). Agroproductividad , 37-42.

Mendoza M. , G., Ricalde V. , R., & Hernández G., P. (2017). Estructura del almidón . En S. A. Animal, Alimentanción de ganado bovino con dietas altas en granos (págs. 1-3). Argentina : Engormix.

Ortega Cahui, (2019). “ elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz .” universidad nacional agraria la molina facultad de ciencias, 2–9.

Parrotta, J. A. (1994). Artocarpus altilis (S. Park.) Fosb. 53-58.

Ramos Meza, (2016). “elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio.” universidad nacional agraria la molina facultad de ciencias, 12–16.

Ruiz Avilés, (2012). pólimeros biodegradables a partir de almidón de yuca. universidad eafit icipc medellínv, 0–97. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/gladys_ruizaviles_2005.pdf?sequence=2

Vásquez Morilla , A., Espinoza Valdemar , R. M., Beltrán Villavicencio, M., & Velasco Pérez , M. (s.f.). Universidad Autónoma Metropolitana. Obtenido de Bioplásticos y plásticos degradables: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://anipac.org.mx/wp-content/uploads/2021/01/bioplasticos.pdf

ANEXOS

Anexo 1

GRÁFICOS DE LOS ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN DE TESIS

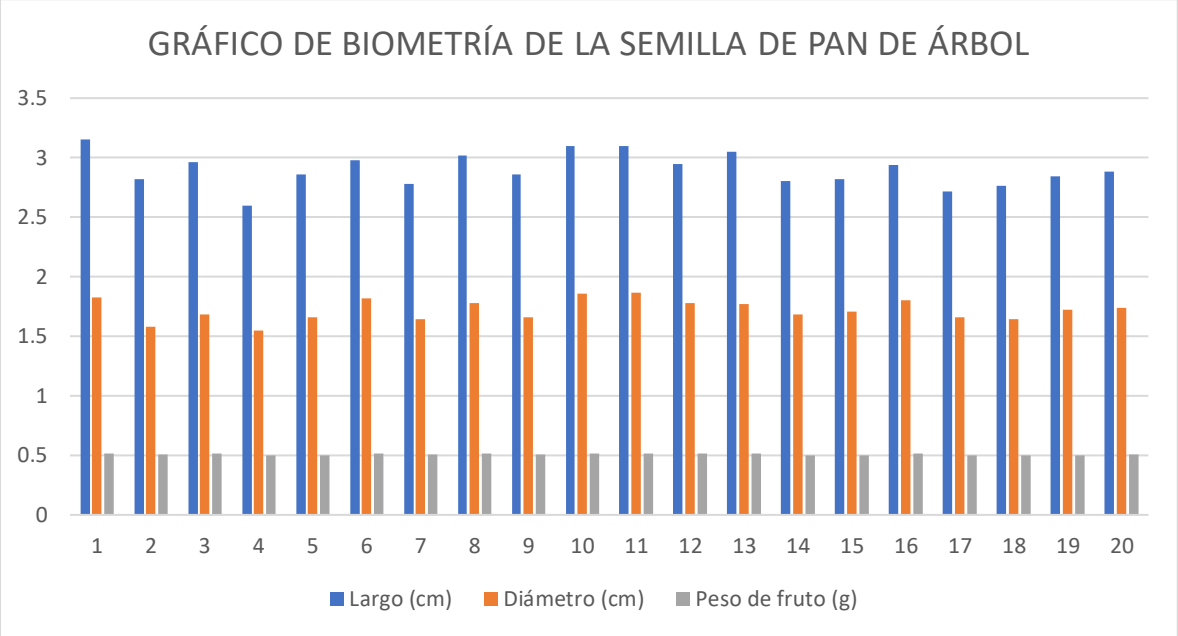


Figura 7A. Gráfico de biometria de la semilla de pan de árbol

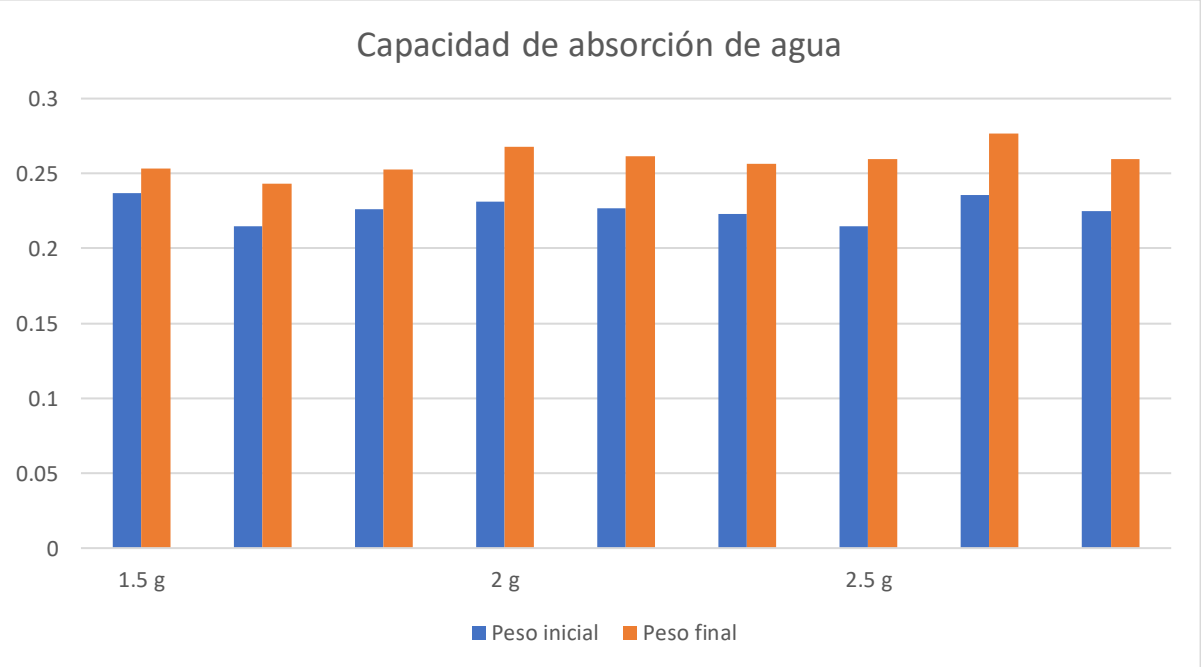


Figura 8A. Gráfico de capacidad de absorción de agua

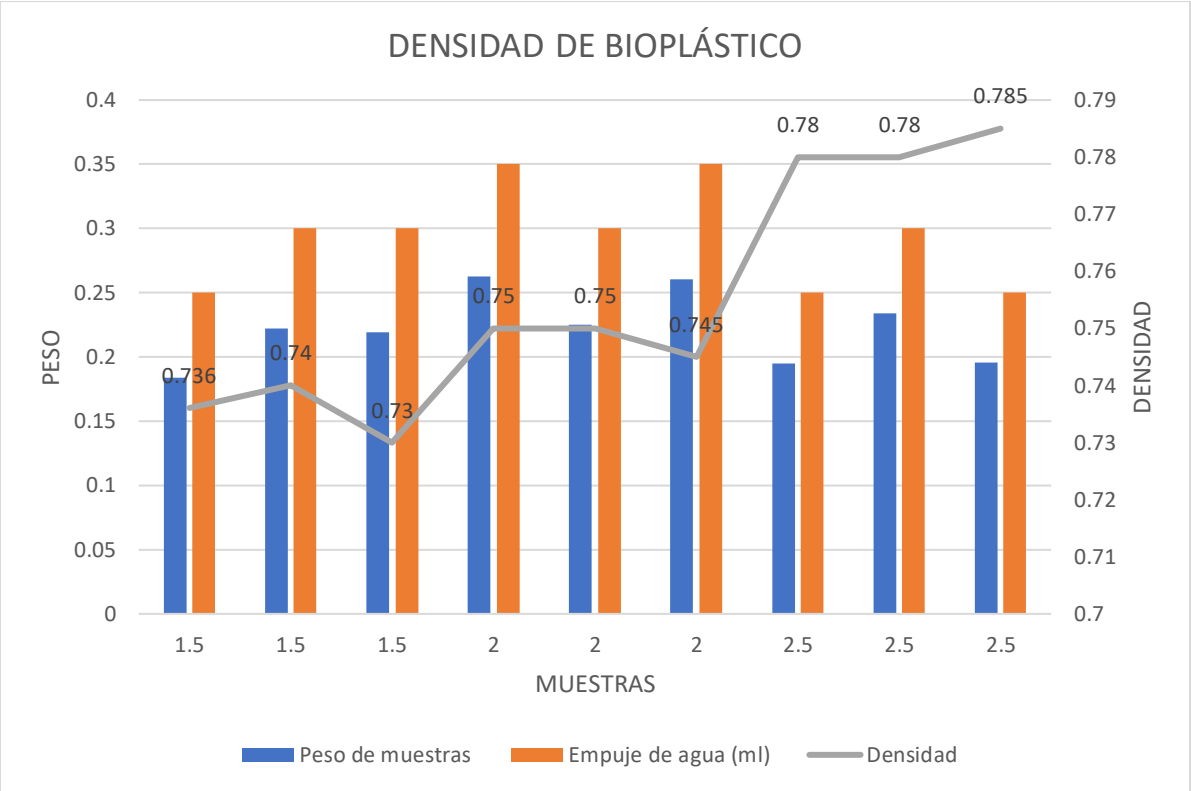


Figura 9A. Gráfico de densidad

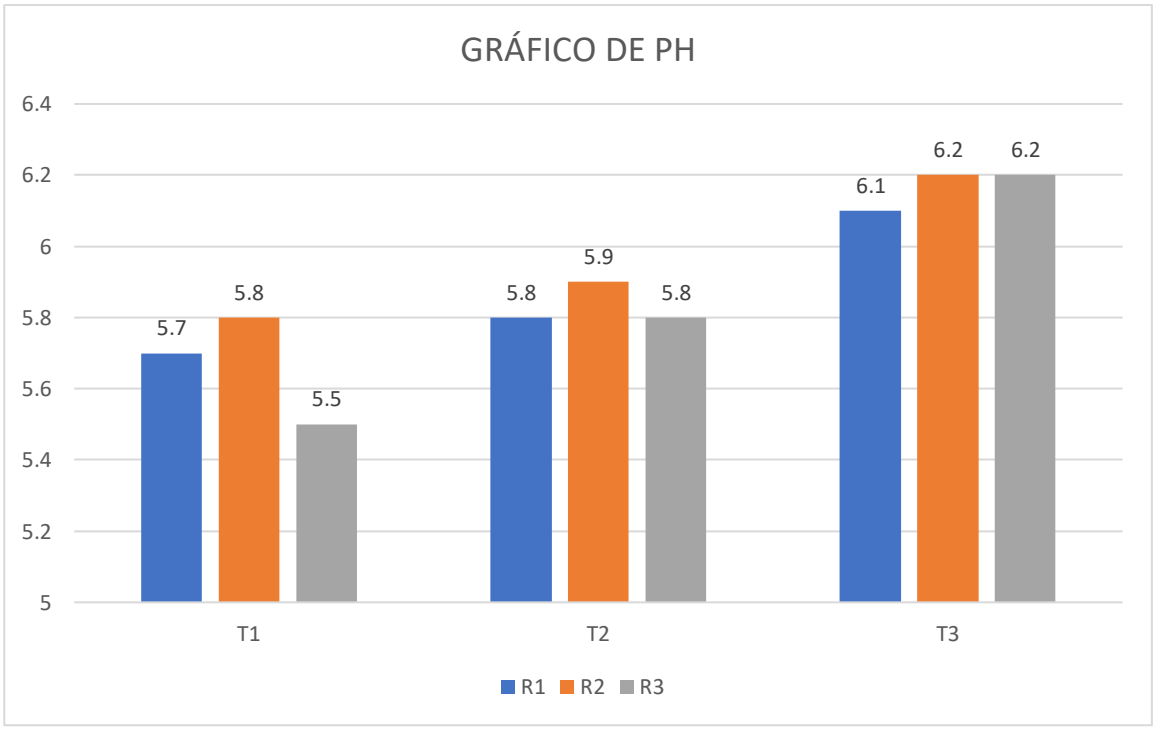


Figura 10A. Gráfico de pH

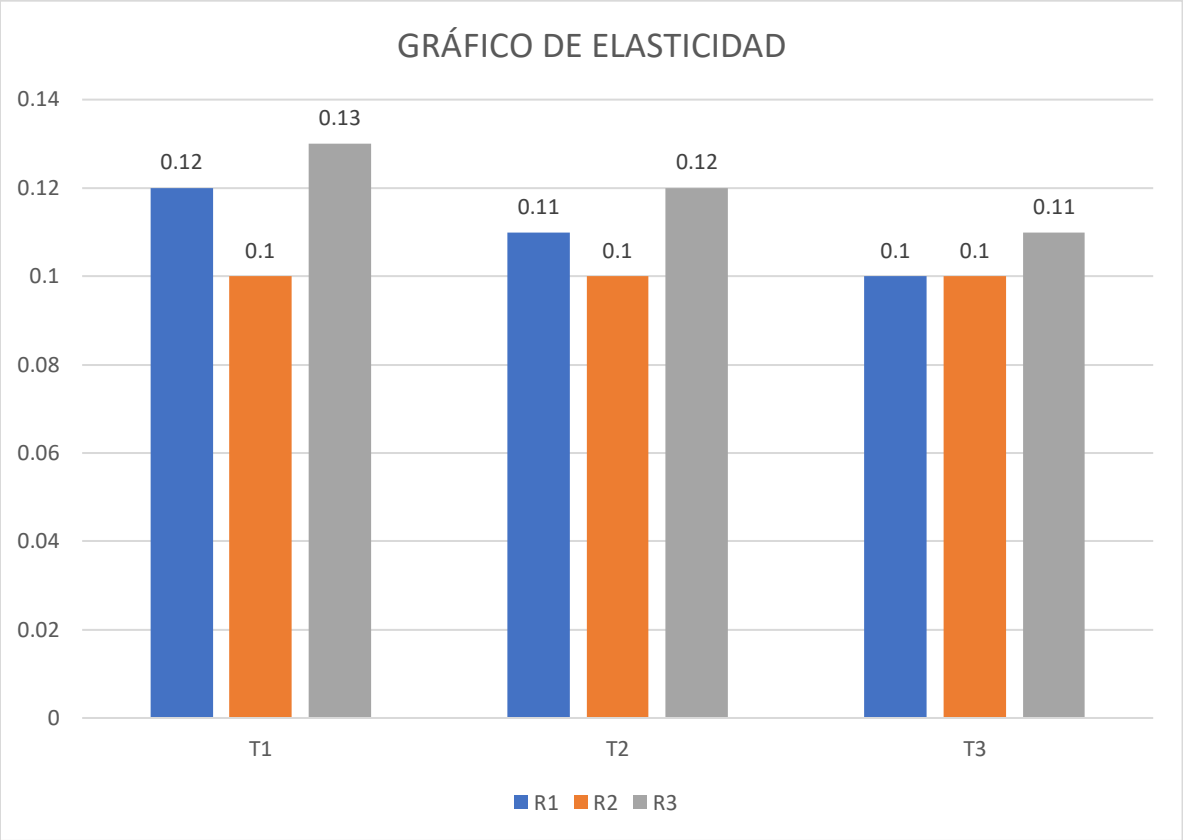


Figura 11A. Gráfico de elasticidad

Anexo 2

FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN DE TESIS



Figura 12A. Figura Filtrado del almidón de pan de árbol



Figura 13A. Pesado del almidón



Figura 14A. Pesado de almidón



Figura 15A. Secado de almidón

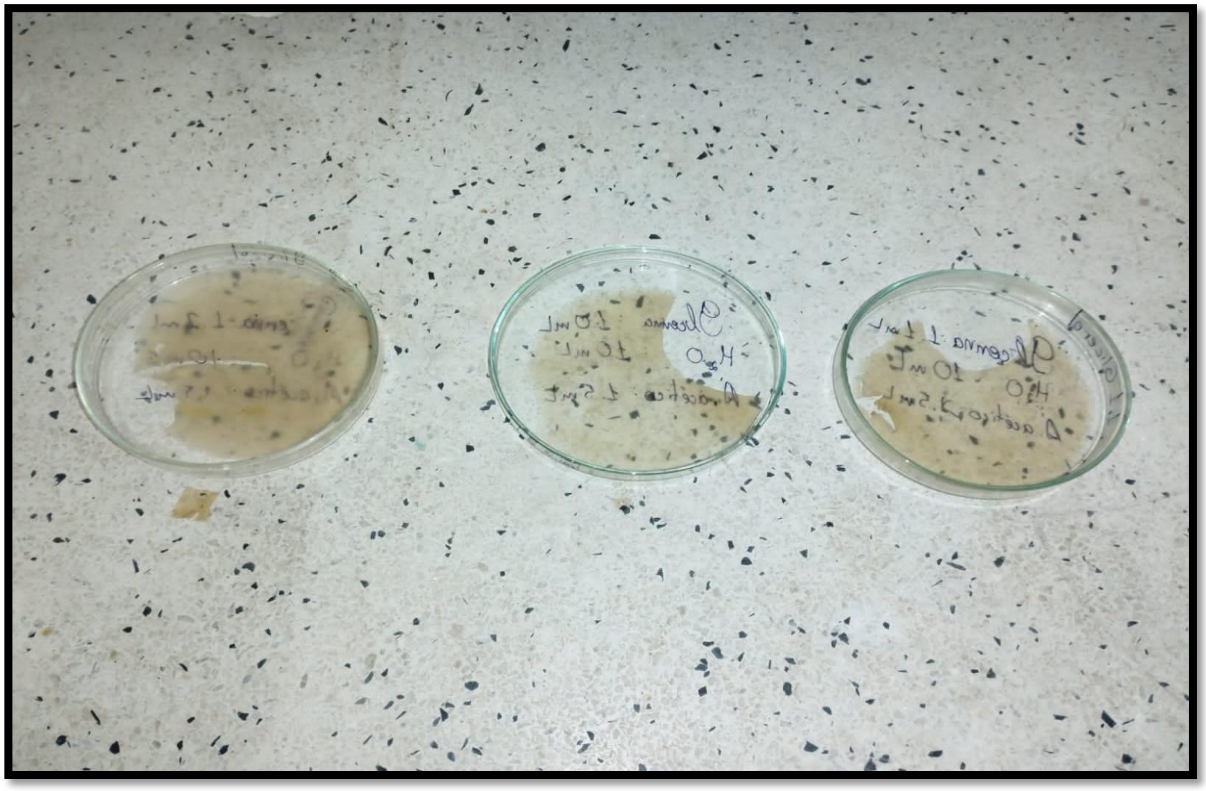


Figura 16A. Bioplástico de almidón de pan de árbol



Figura 17A. Lamina de almidón de pan de árbol