

OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE
LOS RESIDUOS DE PAPA CAPIRO

CAMILA DE LOS ANGELES RUIZ GALEANO

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICA

DIRECTOR:
MSC. DANY JOSÉ CÁRDENAS ROMAY
ING. QUIMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre del director

Firma del Director

Nombre

Firma del presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. septiembre de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada Garcia-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macias Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

*Dedicado a mis padres y mis hermanos
por ser mi razón de ser.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	13
1.OBJETIVOS	14
1.1.Objetivos general	14
1.2Objetivos específicos	14
2.MARCO TEORICO	15
2.1Almidón	15
2.2Propiedades del almidón	15
2.3Amilosa	16
2.4Amilopectina	16
2.5Papa Capiro	17
2.5.1 <i>Uso de la Papa Capiro</i>	18
2.5.2 <i>Estructura de la Papa Capiro</i>	18
2.6Biopolímeros	19
2.7Biodegradabilidad de Plásticos	19
3.CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	21
3.1 Color de la piel y la pulpa	21
3.2pH	22
3.2.1Diagrama de Flujo	23
3.3Porcentaje de Humedad	23
3.3.1 <i>Diagrama de Flujo</i>	24
3.4Porcentaje de Almidón	25
3.5Análisis de resultado	25
4.EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN	28
4.1Lavado	29
4.2Corte	29
4.3Molienda	30
4.4Filtración	31
4.5Sedimentación	31
4.6Secado	31

4.7Diagrama de Flujo	32
5.ELABORACIÓN DEL BIOPLASTICO	33
5.1.Obtención del bioplástico	34
5.1.1Mezclado	34
5.1.2Agitado y Calentamiento	35
5.1.3Vertimiento	35
5.1.4Secado	35
5.1.5Diagrama de Flujo	36
5.2.Evaluación mecánica	37
5.2.1Dureza SHORE	38
5.2.2Resistencia a la tensión	41
5.3Evaluación Térmica	45
5.3.1Procedimiento para realizar	46
5.4Análisis de resultados	50
6.BIODEGRADACIÓN	51
6.1Generalidad	51
6.2Pasos	51
7.BIOPLÁSTICO OBTENIDO	56
8.CONCLUSIONES	57
9.RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFIA	58

LISTAS FIGURAS

	pág
Figura 1. Estructura de la Amilosa	16
Figura 2. Estructura de la Amilopectina	17
Figura 3. Papa Capiro	18
Figura 4. Estructura de la Papa	19
Figura 5. Tabla para evaluar los colores de la papa y la pulpa	22
Figura 6. Proceso para la obtención del pH	23
Figura 7. Proceso para calcular la Humedad.	24
Figura 8. Color de pulpa de la papa Capiro	27
Figura 9. Color de la piel de la papa Capiro	27
Figura 10. Proceso de lavado de la recepción a la papa usada	29
Figura 11. Papa cortada en trozos pequeños	30
Figura 12. Papa en el proceso de molienda	30
Figura 13. Proceso de Extracción de Almidón.	32
Figura 14. Proceso de Elaboración del biopolímero.	36
Figura 15. Equipo TQC para la medición de Dureza SHORE	39
Figura 16. Ejemplos en la escala de Dureza SHORE	40
Figura 17. Dureza SHORE del PLA	41
Figura 18. Maquina universal de ensayos	42
Figura 19. Maquina universal de ensayos (antes de someterse al ensayo mecánico)	43
Figura 20. Maquina universal de ensayos (durante de someterse al ensayo mecánico)	44
Figura 21. Maquina universal de ensayos (después de someterse al ensayo mecánico)	44
Figura 22. Resultados de la prueba de resistencia a la tensión (Muestra 2)	45
Figura 23. Montaje para la evaluación térmica	47
Figura 24. Resultados de Dilatación térmica (Muestra 1)	48
Figura 25. Resultados de Dilatación térmica (Muestra 2)	48
Figura 26. Resultados de Dilatación térmica (Muestra 3)	49
Figura 27. Montaje para la Evaluación de Biodegradación	52
Figura 28. Higrómetro	53
Figura 29. Muestras iniciales	53

Figura 30. Resultados de biodegradación después de 24h	54
Figura 31. Resultados de biodegradación después de 48h	54
Figura 32. Bioplástico obtenido en molde de 30 x 5 cm	56

LISTAS TABLAS

	Pág
Tabla 1. Caracterización del almidón de Papa Capiro.	25
Tabla 2. Tabla 2. Matriz de diseño experimental	34
Tabla 3. Tabla 3. Balance global de masa	37
Tabla 4. Tabla 4. Resultados de dureza SHORE	40
Tabla 5. Tabla 5. Resultados de resistencia a la tensión	43
Tabla 6. Tabla 6. Resultados de prueba térmica	47
Tabla 7. Tabla 7. Coeficiente de dilatación térmica lineal	49
Tabla 8. Tabla 8. Coeficiente de dilatación térmica lineal del PLA	50

ABREVIATURAS

pH: Potencial hidrógeno

°C: Grados Celsius

g: Gramo

mL: Mililitros

h: Horas

min: Minutos

mm: Milímetros

µm: Micrómetros

cm: Centímetros

Kg: Kilogramos

RPM: Revoluciones por minuto

%Humedad: Porcentaje de Humedad

%Almidón: Porcentaje de Almidón

PLA: Ácido poliláctico

ASTM: American Society for testing and materials

PSI: Libras por pulgada cuadrada

MPa: Mega pascales

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de grado se basó en la obtención de un bioplástico a nivel laboratorio a partir de la extracción de almidón de residuos de *Papa Capiro*. Por ende, se dividió en cuatro objetivos la investigación; Caracterización de la materia prima, extracción de almidón, elaboración del bioplástico y finalmente la biodegradabilidad del bioplástico.

Se caracterizo la materia prima a las cuales se les determino el pH, porcentaje de humedad y el porcentaje de almidón. En las cuales las muestras variaron entre un pH de 5.72 – 6.45 mostrando resultados ácidos en la escala del pH, también se obtuvo el porcentaje de humedad entre 15.98 – 17.7% y finalmente el porcentaje de almidón entre 16.22 – 17.98%. Estos datos nos ayudaron a validar la calidad de almidón de papa que se ha obtenido ya que se comparó con referencias bibliográficas de almidones de papas que se encuentran en perfecto estado.

Para la obtención del biopolímero las materias primas que se utilizaron en el proceso de producción de este fueron el agua, la glicerina y el ácido acético. La producción de este material se llevó a cabo con 3 tipos de muestras cambiando las proporciones volumétricas de ácido acético debido a que diversas investigaciones han demostrado que reduce la fragilidad de las moléculas de almidón y genera una mejor estructura de polímero resultante. El ácido acético se utilizó siguiendo las siguientes proporciones; 3 mL, 5 mL y 10 mL.

Las muestras fueron sometidas a ensayos mecánicos, térmicos y biodegradación con el fin de establecer los beneficios y los usos que este material podría generar en la industria. Los resultados mostraron buena resistencia térmica de las probetas, al exponer estas a temperaturas 0-100 °C en aceite mineral donde su dilatación lineal fue máxima de 0.4 cm. La biodegradación siendo uno de los temas más importantes en este trabajo también mostro resultados positivos, las probetas estuvieron 2 días a un ambiente con 100% de humedad y el bioplástico reaccionó favorablemente a estas condiciones. Los ensayos de tracción mecánica demostraron una resistencia máxima por Dureza Shore A de 9.7 y 2.035 N en resistencia a la tensión, dichos resultados fueron comparados con un material referente como fue el PLA.

Palabras clave: Almidón, residuos, bioplástico, biodegradabilidad, síntesis, ensayos mecánicos, dureza SHORE, tensión, fuerza.

INTRODUCCIÓN

La manufactura de los polímeros y plásticos, pese a ser un sector esencial para la industria y la sociedad dada su versatilidad, entraña un gran impacto ambiental por su extenso tiempo de degradación y constante aglomeración en los ecosistemas marinos. Bien es cierto que el reciclaje contribuye al descenso de esta contaminación, no lo erradica por completo. Adicionalmente, gran variedad de estos empaques no se recicla fácilmente, por lo que este proceso puede llegar a resultar dispendioso. Es preciso destacar que los micro plásticos por su diminuto tamaño son los más dañinos para las especies marítimas, generándoles enfermedades gastrointestinales y alteraciones.[2]

Cabe recalcar que cada año los mares son contaminados por hasta 8 millones de toneladas de plásticos según la organización ecológica ECODES, estos datos evidencian que para el 2025 los océanos tendrán 1 tonelada de plástico por cada 3 toneladas de pescado, y en 2050 se tendrán más plásticos en el mar que peces [3]. Esta tendencia requiere de un cambio riguroso en lo que corresponde al uso y desecho adecuado de los plásticos. Es así donde los bioplásticos terminan siendo una de las opciones más favorables que podría generar un cambio positivo al ambiente y al mismo tiempo, aprovechar residuos de alimentos que podrían ser reutilizados para este fin.

Por ende, este estudio se basó en la solución de una empresa productora de snacks. Ya que una de las líneas más emblemáticas de dicha empresa es productora de papas chips, donde se utiliza la Papa Capiro para la producción de papas lisas y onduladas. En una de sus plantas actualmente están funcionando dos líneas, donde se utilizan diariamente 75 toneladas de papa. La papa durante todas las etapas se va cortando y desechando por Evaluaciones de Control de Calidad siendo utilizada solo el 30-35% de las toneladas iniciales. Estas evaluaciones se repiten múltiples veces durante el proceso donde los auxiliares y operadores buscando los siguientes defectos: papa verde, papa podrida, papas demasiado pequeñas, papas con defectos no removibles o daños mecánicos. Resultando así en aproximadamente 52 toneladas diarias de solo residuo de papa.

1.OBJETIVOS

1.1. Objetivos general

Proponer una alternativa para el aprovechamiento de los residuos de Papa Capiro desechadas en la producción de una empresa multinacional productora de snacks para la producción de un bioplástico mediante la extracción del almidón.

1.2Objetivos específicos

1. Caracterizar la materia prima para establecer propiedades que tiene esta hacia el proceso de extracción de almidón.
2. Realizar un diseño experimental del proceso de extracción de almidón de los residuos de papa Capiro a escala de laboratorio.
3. Producir bioplástico a partir del almidón de papa a nivel laboratorio siguiendo un procedimiento experimental adecuado.
4. Realizar una comparación del proceso de descomposición entre el bioplástico obtenido y el bioplástico comercial.

2.MARCO TEORICO

2.1Almidón

<<Es un polisacárido que junto a la celulosa representa una gran reserva de carbohidratos del mundo, constituye la mayor parte de hidratos de carbono digestibles y es una macromolécula que se forma por la unión repetitiva de glucosas que a su vez forman dos tipos de cadenas, una cadena lineal de amilosa y una cadena ramificada de amilopectina; la cantidad de estos polisacáridos varía según la procedencia del almidón>>. [4]

<<Todos los almidones pueden ser utilizados en la industria alimentaria y farmacéutica como adhesivos, estabilizantes de espumas, espesante, gelificante, humectantes y mucho más[5]. El almidón es una parte importante de la composición de algunos productos y se puede encontrar en proporciones variables según el tipo y origen del producto, 25-50% en legumbres y 60-90% en tubérculos. El contenido de almidón de base seca de los plátanos y el mango verde es del 70 %.>>[6]

2.2Propiedades del almidón

<<Las propiedades del almidón dependen de su morfología. Las dos propiedades más importantes son gelatización y desestructuración. La gelatización se da ya que los gránulos de almidón son insolubles en agua a temperatura ambiente, pero puede absorber agua cuando existe calentamiento del agua al que es sometido, esto se debe a que poseen zonas Inter micelares que pueden absorber agua, a medida que se aumenta la temperatura el almidón empieza a aumentar su volumen>> [7] .

<<Cuando el almidón alcanza su volumen máximo el gránulo no logra retener más agua, por lo que la conformación de la amilosa y amilopectina se ven afectadas dado que se dispersan en la disolución, ya que la gelatinización representa el paso de un estado ordenado a uno desordenado con la presencia de calor>>. [8]

<<Por otra parte, a desestructuración es la insolubilización y precipitación de las moléculas de amilosa, es decir, la transformación de las estructuras semicristalinas del almidón en una matriz

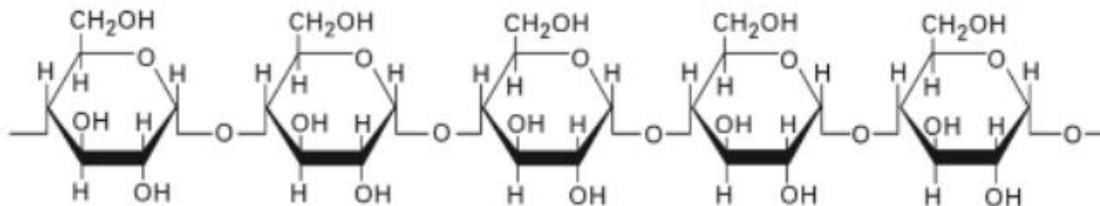
amorfa debido al rompimiento de los puentes de hidrógeno, este fenómeno puede presentarse por el aumento de temperatura al que se encuentra sometido el almidón>>. [9]

2.3 Amilosa

Como se representa en la figura 1, la Amilosa es un polímero lineal formado por unidades de α -D-anhidro glucosa unidas en la posición (1,4). Presenta una disposición espacial helicoidal mediante uniones de puente de hidrogeno que pueden debilitarse y romperse fácilmente por acción del pH y temperatura [6]. Este hecho provoca una mayor movilidad de la molécula y una reordenación de la amilosa con nuevos enlaces intermoleculares que se conoce con el nombre de retrogradación.

Figura 1.

Estructura de la Amilosa



Nota. La figura representa la estructura de la Anilosa. Tomado de: R. Pawar, W. Jadhav, S. Bhusare, R. Borade, S. Farber, D. Itzkowitz, A. Domb. Natural-Based Polymers for Biomedical Applications, 2008. [10]

El contenido de amilosa afecta las propiedades de gelatinización y retrogradación, el poder de hinchamiento y la susceptibilidad enzimática de los almidones, de allí la importancia de su cuantificación en el procesamiento de alimentos y su calidad. [11]

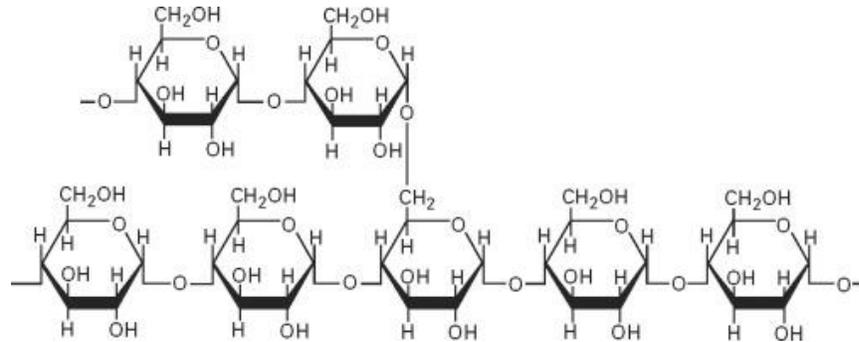
2.4 Amilopectina

La amilopectina es un polímero ramificado formado por unidades de α -D-anhidro glucosa unidas mediante enlaces (1,4) en las zonas lineales, y enlace (1,6) en las zonas de ramificación como se

muestra en la figura 2. Por su estructura abierta, facilita la hidratación de la molécula e impide el fenómeno de retrogradación. [12]

Figura 2.

Estructura de la Amilopectina



Nota. La figura representa la estructura de la Amilopectina. Tomado de: R. Pawar, W. Jadhav, S. Bhusare, R. Borade, S. Farber, D. Itzkowitz, A. Domb. *Natural-Based Polymers for Biomedical Applications*, 2008. [10]

2.5 Papa Capiro

La Papa Capiro es apta para consumo en fresco. En Colombia es la principal variedad para procesamiento tanto en hojuela, pero son muy altos sus costos de producción. Estos tubérculos son redondos y ligeramente aplanados. De piel roja con ojos superficiales como se evidencia en la figura 3. La pulpa es crema y se tardan usualmente 165 días en alturas como la que Bogotá. (Entre 5 a 6 meses) [10]. De acuerdo con FEDEPAPA, la materia seca en la variedad Capiro corresponde al 22%, con un peso específico de 1.085 y 0.1% de azúcares. [13]

Figura 3.

Papa Capiro



Nota. Aristizábal Bedoya, M. *Detrás de la producción de papas margarita está la labor de cientos de agricultores*, 2019. [14]

2.5.1 Uso de la Papa Capiro

<<La papa Capiro es utilizada de tres formas; culinarias, industriales y medicinales. En las zona industrial -que es la que más consume- es utilizada en tres presentaciones; Papa congelada para las papas fritas como comida rápida, papa chip como hojuelas de papas fritas en paquete como se está utilizando en este estudio y finalmente como papa deshidratada para la elaboración de sopas, saborizantes y harinas.

De forma medicinal es usado por sus propiedades como antiinflamatorio, calmante, para mejorar la digestión, para tratamientos como gastritis, úlceras y demás. Y finalmente en la industria culinaria se emplea en diversas recetas, freídas, cocidas al vapor y al horno>>. [13]

2.5.2 Estructura de la Papa Capiro

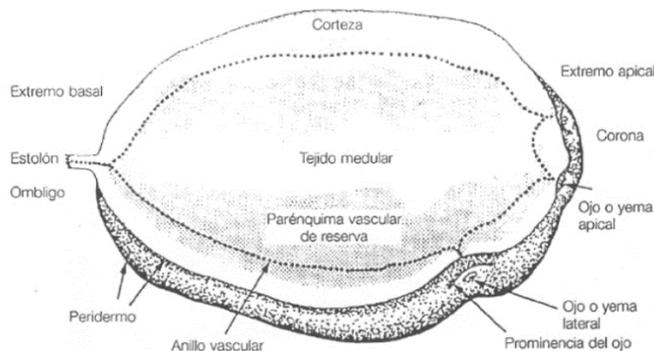
Como se muestra en la figura 4, en un corte transversal del tubérculo, se observa: la piel (epidermis y peridermis), corteza, anillo vascular y la médula. La médula interna es la parte más traslúcida y con un alto contenido de agua y con ramificaciones hacia los ojos. [15]

Al iniciarse la formación de un tubérculo, hay una desigual división celular entre la médula y la zona cortical del estolón a cuya consecuencia, el tejido vascular que pasa del estolón al tubérculo, se expandiría bruscamente en círculo, situándose, por tanto, muy cerca de la cáscara.

El crecimiento ulterior del tubérculo resultaría de una activa división celular en la zona localizada entre la corteza y la médula, zona dividida por el anillo vascular en dos porciones desiguales. El tamaño y la forma de los tubérculos es sumamente variable, aunque la domesticación de la papa ha seguido la dirección del tubérculo cada vez mayor.[16]

Figura 4.

Estructura de la Papa



Nota. W. J. Hooker. *Compendio de enfermedades de la Papa*. Centro Internacional de la Papa. 1980.

2.6 Biopolímeros

Los biopolímeros son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como lo son las bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren y por ende son degradados por acción enzimáticas de los microorganismos mencionados anteriormente bajo condiciones normales del medio ambiente [17].

Los biopolímeros o polímeros de base biológica son materiales renovables, ecológicos y biodegradables, que se pueden utilizar como una opción alterna al uso de polímeros a base de aceite que son de naturaleza sintética [18]. Una de las alternativas interesantes a los polímeros sintéticos es el uso de materias primas naturales como almidón, lignina, queratina, quitosano, celulosa y muchos más para la síntesis de biopolímeros.

2.7 Biodegradabilidad de Plásticos

Se conoce como biodegradabilidad a la descomposición por la que algunos productos o sustancias se desintegran gracias a la acción de ciertos organismos biológicos. Esos organismos utilizan las sustancias para producir energía, y crean otros compuestos a través de ellas, como tejidos, organismos o aminoácidos [19].

Los plásticos son biodegradables por el material que estos están hechos que usualmente vienen de origen vegetal y terminan funcionando otra vez en el ciclo de la naturaleza en forma de fertilizantes y abono, favoreciendo así al suelo aportándole nutrientes y rebajando de forma drástica el tiempo de descomposición de un plástico comercial. [20]

3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La Papa Capiro es la materia prima, esta es obtenida mediante una multinacional productora de snacks donde se utilizan toneladas de esta diariamente para poder abastecer la demanda de los consumidores. La Papa Capiro que se evalúa en este estudio es un residuo de este proceso. Al ser un residuo no tiene las mismas características de una papa en óptimas condiciones, por lo cual se debe caracterizar.

La caracterización consiste en un estudio de índole esencialmente descriptiva, la cual puede recurrir a la consecución de datos cuantitativos y cualitativos con el objeto de aproximarse al conocimiento y comprensión de las estructuras, características, dinámicas, acontecimientos y experiencias asociadas a un objeto de interés. [21] Se evaluó las siguientes características: color de la piel y de la pulpa, pH, porcentaje de humedad y porcentaje de almidón. Siguiendo estudios referentes como lo es [7], donde se caracterizan 7 variedades de papa producidas en Nicaragua.

Esta caracterización se hace bajo métodos AOAC (Association of Analytical Communities) que sus siglas en ingles significan métodos oficiales de Análisis. AOAC tiene la colección más completa y confiable de métodos químicos y microbiológicos y estándares de consenso. [22]

3.1 Color de la piel y la pulpa

Esta característica física se da por comparación en una tabla de colores del RHS que combinan los colores básicos de la papa. Esta tabla va desde el blanco-crema a morado violeta y luego se evalúa la intensidad de este color de 1-3. La intensidad varía de 1 a 3, siendo 1 intensidad baja, dos como intensidad media y tres con intensidad fuerte.

Figura 5.

Tabla para evaluar los colores de la papa y la pulpa

Color Básico del Tubérculo		Intensidad del Color		
		1	2	3
Blanco-crema	1	155D*	159D	159C
Amarillo	2	1B	7C	9A
Anaranjado	3	14B	21B	24B
Marrón	4	161B	163B	165B
Rosado	5	69B	75B	67D
Rojo	6	45C	46B	53A
Morado rojizo	7	N57A	61A	72A
Morado	8	N78A	77A	79C
Morado violeta	9	N88B	N89B	N92C

Nota. Z. Huamán. *Descriptores morfológicos de la papa (Solanum tuberosum L.)*. Centro de conservación de la biodiversidad agrícola de Tenerife, 2008. [23]

3.2pH

Todos los alimentos tienen una escala de acidez o de alcalinidad. El pH es calculado por una escala que va de 0 a 14, donde de 0-7 es ácido y de 7-14 es alcalino. Como se evidencia en el Diagrama

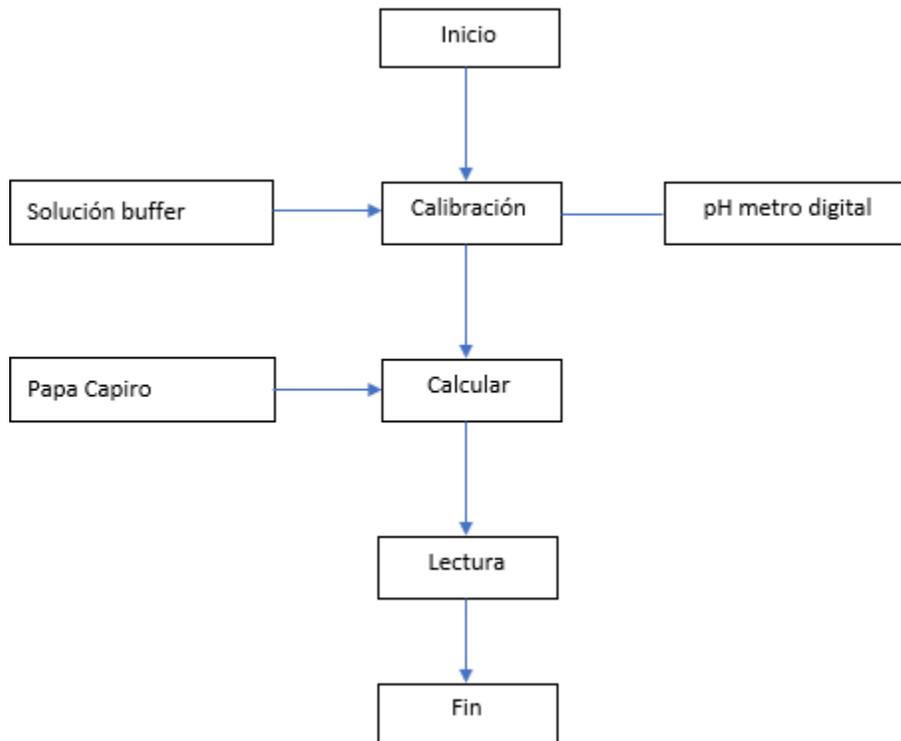
1, para calcular el pH de la Papa Capiro se calibra el medidor de pH con los buffers indicados para asegurar que la lectura es correcta.

Luego se mide directamente el valor del pH de la muestra de la papa Capiro. Finalmente, el resultado se lee directamente del pH metro digital. Siguiendo el método AOAC (método oficial 943.02) [24]. El cual puede ser evidenciado en el Diagrama 1.

3.2.1 Diagrama de Flujo

Figura 6.

Proceso para la obtención del pH



Nota. Representa el ciclo del PH parte de la información es Tomado [25]

3.3 Porcentaje de Humedad

El agua es el único ingrediente de los alimentos que está prácticamente presente en todos ellos y su cantidad, estado físico y dispersión en los alimentos afectan su aspecto, olor y textura.[26]

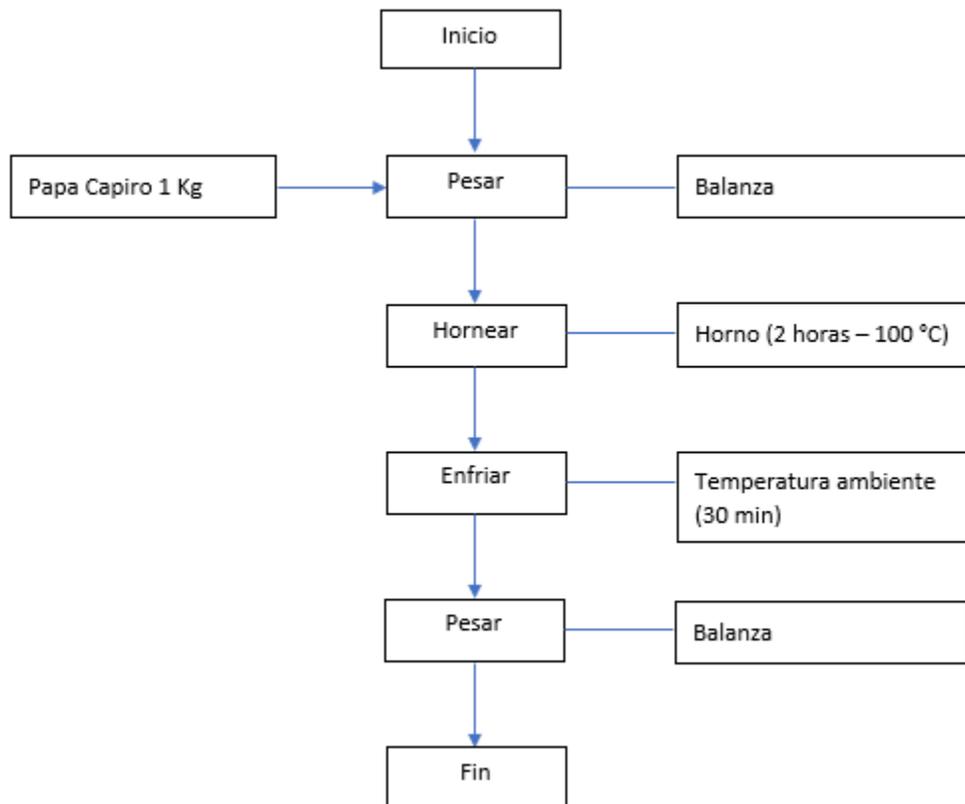
Para el análisis de muestra de humedad relativa como se observa en el Diagrama 2, se debe pesar 1 kg de Papa Capiro. Esta luego de ser pesada se introduce en un horno durante 2 horas a 100 °C. Posteriormente esta muestra se deja secar a temperatura ambiente durante unos 30 minutos y finalmente se pesa nuevamente. Siguiendo el método AOAC (método oficial 925.10) [27]. El cual puede ser evidenciado en el Diagrama 2.

La ecuación para obtener la humedad es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso del solido humedo} - \text{Peso del solido seco}}{\text{Peso de la muestra}} * 100\%$$

3.3.1 Diagrama de Flujo

Figura 7.
Proceso para calcular la Humedad.



Nota. Representa el esquema de para calcular la humedad. Información tomada de [27]

3.4 Porcentaje de Almidón

El porcentaje de almidón es muy importante ya que esta es la clave de la biodegradación del biopolímero, este facilita el proceso de compostaje y desintegración. Este cálculo se realiza después de la extracción de almidón, el cual será descrito posteriormente en el numeral 3. Siguiendo el método mencionado en el siguiente trabajo; [28].

La ecuación para obtener el porcentaje de almidón es la siguiente:

$$\% \text{ Almidón} = \frac{\text{Peso de Almidón}}{\text{Peso de Papa Capiro}} * 100\%$$

3.5 Análisis de resultado

El almidón obtenido de la Papa Capiro fue sometido a análisis para determinar su calidad, sus características físicas y sus características químicas; estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Química de la Universidad de América. Obteniendo los resultados que se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1.

Caracterización del almidón de Papa Capiro.

Variable	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Referencias
pH	5.72	6.45	6.01	6.06	6-8
% Humedad	15.98 %	17.7 %	16.8 %	16.83%	20%
% Almidón	16.22 %	17.98 %	17.06 %	17.09%	12-19%

Nota. Lista de referencias tomado de ficha técnica de almidón de papa.[29]

Se observa que el pH de los residuos de la Papa Capiro varía entre el 5.72 – 6.45. En la escala de pH debajo de 7 el pH es ácido y arriba de 7 el pH es alcalino; lo cual indica que estas tres muestras arrojan un pH ácido. Por otro lado, si se comprara los resultados a la ficha técnica que se toma

en cuenta como referente, el pH obtenido esta alineado a los requerimientos menos la Muestra 1 con una diferencia de 0.28.

El almidón que proviene de la papa en buen estado usualmente varía el pH entre 6-8 de los cuales se utiliza en su vida útil en productos como salsas, sopas, galletas, mezclas para panaderías y muchas cosas más como espesantes. [30]

Los almidones que presentan valores superiores a 8 no son adecuados como aditivos en los alimentos debido a que causan sabor no agradable y textura no conveniente.[31]Igual que los pH que se obtienen menor que 6 pero en nuestros resultados, aunque la Muestra 1 nos arroja un valor de 5.72 esta no debe ser sometida a una modificación por lo cerca que esta al parámetro que se quiere obtener.

En lo que respecta a el porcentaje de humedad del almidón de la papa Capiro, se obtuvo resultados del 15.98% - 17.7%. Los resultados demostraron que, a mayor pH, mayor % de humedad. Usualmente el porcentaje de humedad relativa en almidón va de un 10 al 12% en cereales y de 14 al 19% en almidones de tubérculos y raíces [13]. Un contenido superior de humedad puede ocasionar daño microbiano y, por tanto, el deterioro en la calidad del polímero.[32]

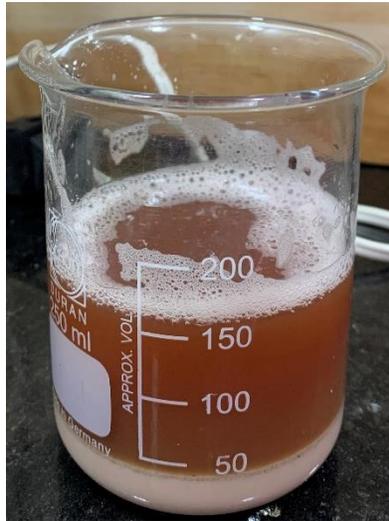
Adicionalmente el porcentaje de almidón también fue tomado en cuenta para esta caracterización ya que entre el 77 – 79% del contenido de la papa corresponde a agua y los almidones y el azúcar ocupan del 12 – 19% [13], como se demuestra en la tabla 1, las tres muestras varían su porcentaje de almidón de 16.22% al 17.98%.

En cuanto a las descripciones morfológicas de la papa Capiro, la pulpa tiene un color blanco crema con intensidad de color 3 como se puede evidenciar en la figura 5 (donde el color es evaluado con tres intensidades, del 1 al 3, del menos al más intenso), en cuanto a la piel esta variedad de papa tiene una gama de rojos y morados los cual la califica en el color número 7 de la figura anteriormente mencionada.

La figura 6 presenta el color de la pulpa que se ubica en la parte inferior del beaker de 250 mL y en la figura 7 se puede evidenciar el color de la papa Capiro una vez esta sea cosechada.

Figura 8.

Color de pulpa de la papa Capiro



Nota. Instrumento de medición para calcular propiedades de la pulpa

Figura 9.

Color de la piel de la papa Capiro



Nota. Tubérculos de Diacol Capiro. Ñustez, 2010[33]

4. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

En este capítulo se especifica los pasos para realizar la extracción de almidón para la obtención de una película bioplástica a nivel de laboratorio. La materia prima de este producto es el almidón que puede ser obtenido por diferentes métodos, estos pueden ir desde una escala artesanal a una escala industrial. La extracción de almidón se seleccionó después de revisiones bibliográficas como lo son libros y trabajos de grados para el presente estudio teniendo en cuenta que la materia prima es un residuo. En el cual se tomó como referente el trabajo [7] , ya que este estudio se basa en la extracción de almidón de 7 variedades de papa cultivadas en Nicaragua donde realizan una comparación de la mejor manera de extracción dependiendo del origen, los equipos, los materiales y las características de la papa.

Para la extracción de almidón existen grandes ventajas al poder contar con un abastecimiento nacional de sobrantes de papa en su cadena a bajo costo, además de su participación en proyectos de mejora de procesos de producción sostenible utilizando materia prima y energía, generando valor para las cadenas industriales potenciales. Esto creará un producto competitivo en términos de calidad, precio y responsabilidad social y ambiental del producto de fécula de papa.

Cabe resaltar que, en el material bibliográfico consultado [34], al momento de extraer el almidón se le añade antioxidantes como lo es metabisulfito de sodio debido al uso y la naturaleza de la papa. Para el caso de la papa Capiro recolectada por la empresa estudiada -como se mencionó en la caracterización de la materia prima- esta es inicialmente ineleable para la producción, por lo que es reutilizado en esta investigación con menos de 8 horas de tiempo de exposición en la planta, haciendo que no sea necesario agregarle el antioxidante.

El método es dividido en 6 pasos como se refleja en el Diagrama 3, los cuales son: Lavado, corte, molienda, filtración, sedimentación y secado. Este proceso puede observarse en el diagrama de flujo (Diagrama 3. Proceso de Extracción de Almidón)

4.1 Lavado

El proceso de extracción de almidón para la Papa Capiro comienza con un lavado para retirar las impurezas que esta trae como lo es la tierra, polvo o cualquier tipo de solido que pueda estar adherida a esta como se puede observar en la Figura 8. La mayoría de las impurezas se ubican en la piel de la papa. Como esta materia prima fue previamente usada en un proceso industrial este lavado debe ser muy riguroso ya que puede traer trazas de otros materiales.

Figura 10.

Proceso de lavado de la recepción a la papa usada



Nota. Representa para el lavado de la papa

4.2 Corte

Una vez la materia prima esté lavada, esta se somete a un corte manual, donde el objetivo es disminuir su área superficial para poder molerlo con facilidad posteriormente. Como se nombró anteriormente, la materia prima en este estudio es categorizado como residuo y por ende esta vendrá con muchos tipos de formas, lo ideal es tener estas a un tamaño similar después del corte.

Figura 11.

Papa cortada en trozos pequeños



Nota. Procesos el corte papa

4.3Molienda

La molienda es un paso muy importante ya que además de reducir el tamaño de la materia prima también es el paso donde se liberan los gránulos de almidón y podremos determinar la eficiencia y el rendimiento del proceso de extracción.

Para este estudio se hace una molienda manual donde se utiliza un macerador, un mortero y se agrega agua a la molienda para obtener lo que comúnmente se llama “La lechada” que es cuando las moléculas se desintegran por molienda y libera almidón. La lechada es un líquido blanco homogéneo.

Figura 12.

Papa en el proceso de molienda



Nota. Proceso de molido de la papa

4.4 Filtración

En el proceso de filtración el objetivo es tener una separación de la pulpa de la Papa Capiro y el material fibroso que es el almidón. Para esto se utiliza un tamiz ya que se debe evitar que partículas de fibra pasen a la lechada.

Para garantizar que este proceso se haya hecho correctamente primero se pasa por un tamiz de 600 μm y posteriormente a un tamiz de 300 μm , este procedimiento deja en el tamiz lo que comúnmente es conocido como una torta de filtración, donde las partículas de mayor tamaño quedan suspendidas ya que no se pasa por las aberturas de este. Para asegurar que la lechada no quede retenida por las fibras, se le agrega agua a la torta de filtración nuevamente, se mezcla y se vuelve a tamizar.

4.5 Sedimentación

La sedimentación es utilizada para separar la lechada; el almidón de su suspensión en agua. Esto se logra por gravedad o por peso específico del mismo material. La suspensión al ser una mezcla heterogénea se separará en el beaker por fase líquida -que es el agua- y por fase sólida con partículas pequeñas de almidón que se sedimentará al fondo del beaker. Este proceso demora 4 horas para poder eliminar posteriormente el agua de la mezcla.

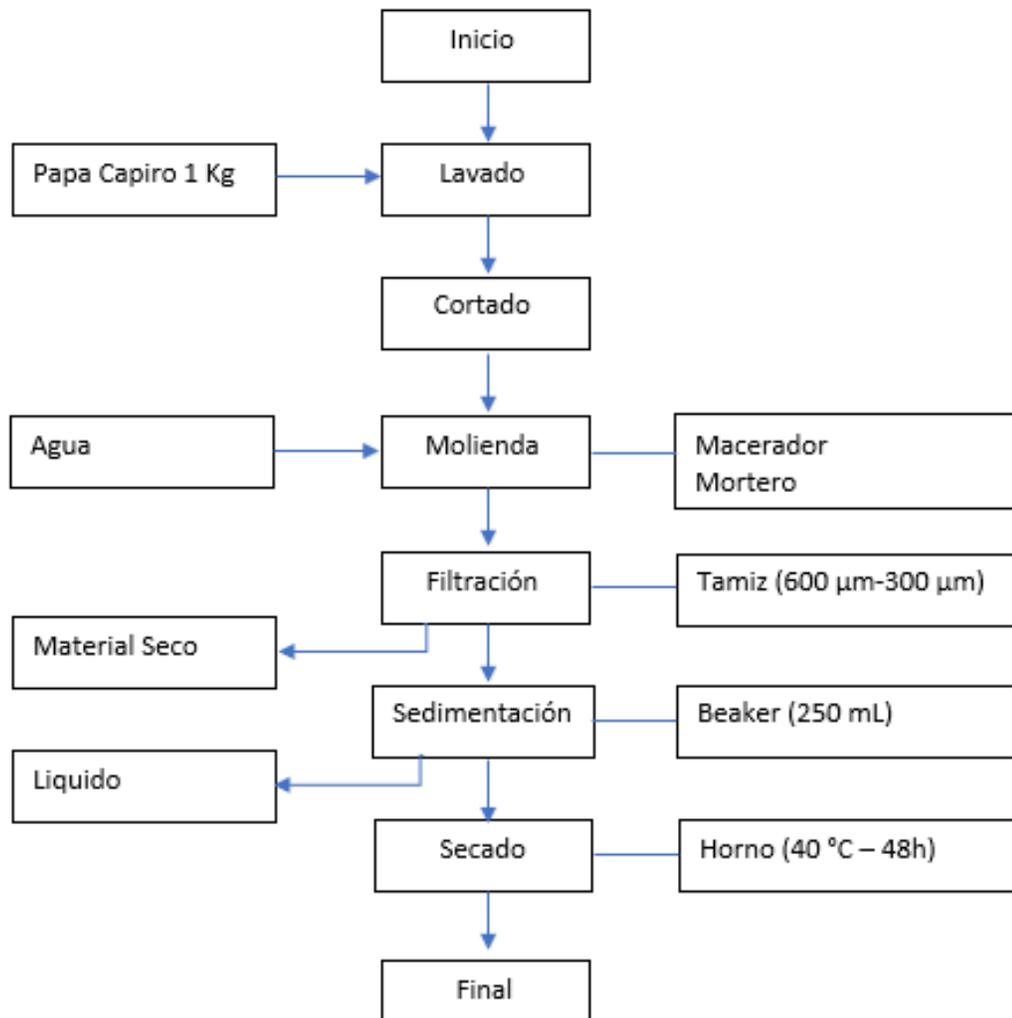
4.6 Secado

Como se muestra en el Diagrama 3, una vez se realice la sedimentación se busca remover la humedad del almidón por medio de un horno a 40 °C por 24 horas. Este procedimiento se hace para garantizar que el líquido sobrenadante -el agua- que se tenía en la mezcla sea eliminado. La humedad tiene un gran papel en el almidón ya que puede influenciar en la vida útil por el crecimiento de microorganismos en este.

4.7 Diagrama de Flujo

Figura 13.

Proceso de Extracción de Almidón.



Nota. Representación de los procesos del almidón. Información tomada de [7]

5. ELABORACIÓN DEL BIOPLASTICO

Para la obtención del bioplástico se tuvo en cuenta previas investigaciones, donde se utilizan papas residuales de un comedor universitario donde fueron descartadas después de haber sido freídas [31]. La diferencia que destacar es que la papa Capira recolectada en esta investigación, no tiene contacto con ninguna otra solución o alimento donde pueda existir una contaminación cruzada. Sin embargo, se usa de referente para los pasos y las proporciones volumétricas en este estudio. La elaboración del bioplástico está dividida en dos fases; la primera es la obtención del bioplástico y la segunda es la evaluación mecánica y térmica de esta misma para poder evaluar las propiedades del bioplástico obtenido en la primera fase. En esta etapa se realizaron 6 muestras; 2 repeticiones de cada muestra planteada donde la diferencia está en la proporción volumétrica de ácido acético. Las cantidades fijadas en la matriz de diseño experimental (Tabla 2.) son el peso del almidón (10 g), el volumen del agua (60 mL) y la glicerina (10 mL).

El ácido acético se varia ya que se utiliza para polimerizar el almidón, esto se debe a una hidrolisis acida que rompe las ramificaciones de la amilopectina [35], por ende, este se utiliza en tres proporciones volumétricas; 3 mL, 5 mL y finalmente 10 mL para poder estudiarlas entre sí. Las dos variables que se utilizaron son la temperatura y las revoluciones del agitador térmico, donde la temperatura se mantiene fija a 150 °C y las revoluciones varían desde 800 rpm a 1,400 rpm, tomados a partir del estudio “Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio” por Paola Nathali Meza Ramos.

En la primera etapa el paso más importante es la agitación térmica ya que esta es de mucho cuidado. Por un lado, permite que los gránulos de almidón crezcan individualmente y se produzca una mezcla uniforme sin grumos y al mismo tiempo, si hay exceso de agitación puede romper estos gránulos en el proceso de gelatización y por ende aumentar la fluidez de la mezcla. [34]

El resultado de cada una de las formulaciones mencionadas anteriormente fue evaluado mediante ensayos mecánicos donde las normas ASTM D-695, ASTM D-882 y ASTM D-969 declaran

parámetros para determinar si el bioplástico es factible. Estos ensayos mecánicos serán sobre dureza SHORE, resistencia a la tensión y expansión lineal térmica respectivamente.

5.1. Obtención del bioplástico

El diagrama 4 muestra la secuencia de paso realizada para la extracción del biopolímero a partir del almidón obtenido de la papa Capiro de la empresa estudiada. Los para su adecuado proceso de elaboración son:

5.1.1 Mezclado

En esta etapa se tendrán dos mezclas; almidón-agua y ácido acético-glicerina, donde ambas se harán en un beaker de 250 mL. Comenzando con la primera mezcla, se pesa 10 g de almidón con una pesa eléctrica y a su vez se mide 60 mL de agua con una pipeta, estos se agregan al beaker y se agitan hasta diluir el almidón en el agua.

Una vez esté preparada la mezcla, se mide 10 mL de glicerina y ácido acético con una pipeta. Se harán tres muestras con diferentes concentraciones de ácido acético como se demuestra en la siguiente tabla (estas mezclas tendrán una réplica). Posteriormente las dos mezclas se agregan a un mismo beaker y se agita para asegurar de que esta mezcla este bien diluida y homogénea.

Tabla 2.

Matriz de diseño experimental

	Almidón	Agua	Glicerina	Ácido Acético
Muestra 1	10 g	60 mL	10 mL	3 mL
Muestra 2	10 g	60 mL	10 mL	5 mL
Muestra 3	10 g	60 mL	10 mL	10 mL

Nota. Muestra experimental

5.1.2 Agitado y Calentamiento

La muestra debe ser sometida a una agitación térmica en tres diferentes condiciones. Primero se debe mezclar la mezcla a 150 °C a 500 rpm durante cinco minutos, posteriormente se aumenta las revoluciones a 800 rpm durante cinco minutos y finalmente se deja a 1400 rpm hasta que la mezcla quede espesa y gomosa.

Cuando el almidón se trata con agua hirviendo como en este caso, unas partes del tubérculo se solubilizan y sale, quedando otra parte del almidón que permanece insoluble. Esta porción insoluble de los granos absorbe agua y se hincha para formar una esfera elástica, y toda la masa se convierte en una pasta de almidón. El proceso de gelatinización sucede siempre a una temperatura definida.[36]

5.1.3 Vertimiento

Una vez la muestra baje un poco su temperatura, esta se vierte sobre un molde plano con dimensiones 30x5 cm. El recipiente debe tener aceite para que la muestra no se pegue al recipiente además este no debe tener ninguna forma irregular ya que esto podría influir en las pruebas mecánicas del material.

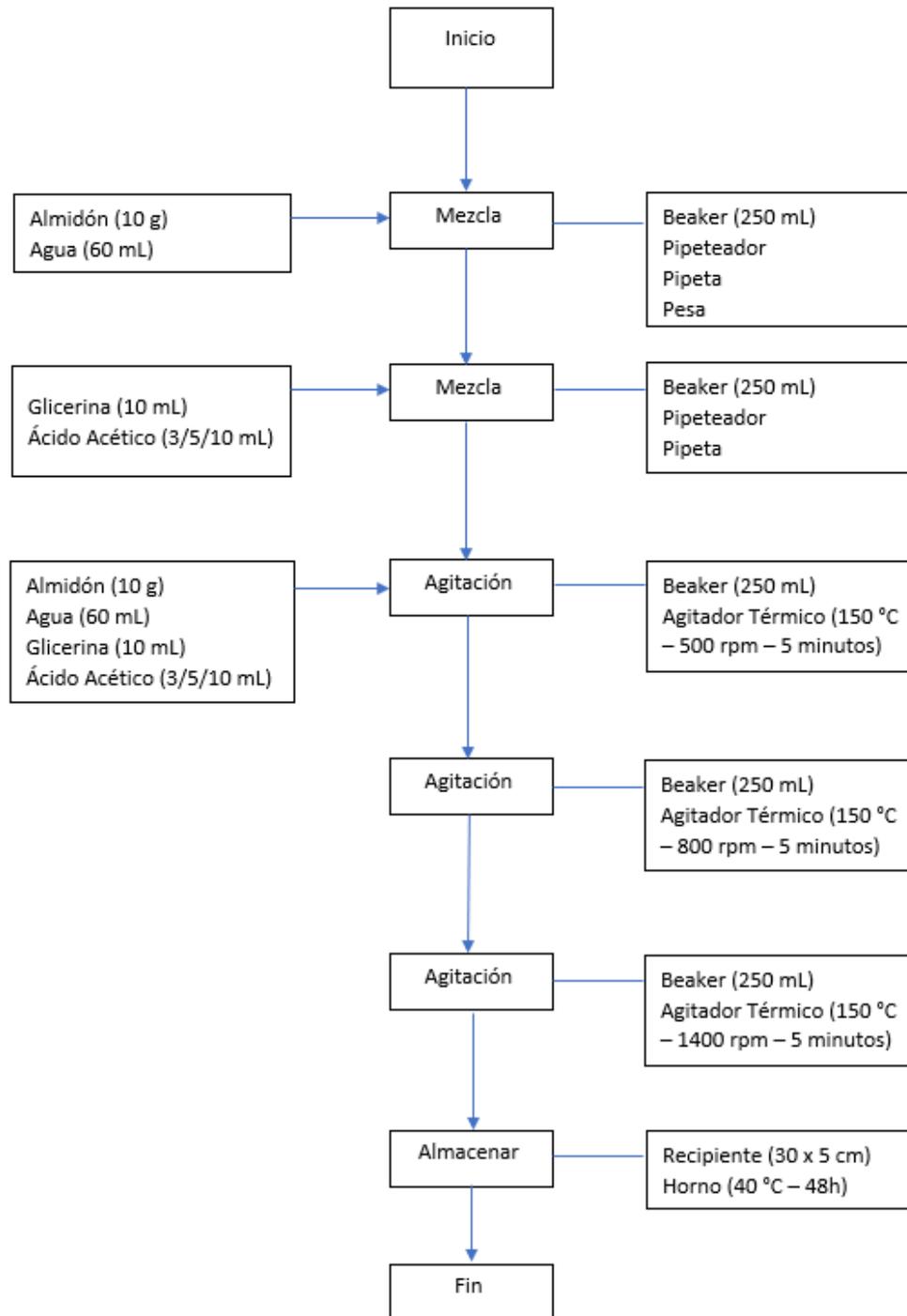
5.1.4 Secado

Este recipiente se almacena en el horno una vez más para eliminar la humedad que pudo haber adquirido, este debe estar a 40 °C por 48 horas.

5.1.5 Diagrama de Flujo

Figura 14.

Proceso de Elaboración del biopolímero.



Nota. Esquema del proceso de biopolímeros Información tomada a partir de [34]

Por ende, se realiza un balance de masa global del procedimiento el cual se puede evidenciar por la tabla 3 que se encuentra a continuación.

Tabla 3.

Balance global de masa

BALANCE GLOBAL						
DESCRIPCIÓN	ENTRA			SALE		
	Flujo másico (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Flujo másico (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (bar)
AGUA	60	20	1	59	150	1
ALMIDÓN	10	40	1	10	150	1
GLICERINA	10	20	1	10	150	1
ÁCIDO ACÉTICO	5	20	1	5	150	1
PAPA CAPIRO	1000	20	1	830	20	1

Nota. Indicadores porcentuales del balance global

Los balances de masa se basan en la ley de conservación, y sirven para contabilizar los flujos y los cambios de masa en un sistema en particular, los cuales, proporcionan información muy valiosa para analizar los procesos de transformación que se encuentran en casi cualquier proceso industrial.[36]

El proceso toma aproximadamente 3 días para la producción de la lámina del biopolímero. El primer día se centra en la obtención del almidón, ya que además de extraer el almidón se debe dejar hornear el almidón durante 24 horas (1 día) para poder utilizarlo. El segundo día se obtiene la mezcla del bioplástico y se hornea en el molde durante 48 horas (2 días).

5.2. Evaluación mecánica

Como se había mencionado anteriormente se hicieron dos pruebas mecánicas; dureza SHORE (ASTM D-695) y resistencia a la tensión (ASTM D-639). Cada una de estas tiene una norma ASTM. Son las siglas, en inglés, de American Society for Testing and Materials, lo que viene a decir, Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales. Una organización de normas

internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios por consenso, aplicables a materiales, productos, sistemas y servicios [37].

Las pruebas que se realizaron a continuación tienen como objetivo encontrar las resistencias de los materiales, poniendo en prueba las tres muestras del biopolímero generado a partir de los residuos del almidón de papa Capiro. La resistencia de materiales es la disciplina que estudia las sollicitaciones internas y las deformaciones que se producen en el cuerpo que es sometido a cargas exteriores. Esta disciplina tiene como finalidad elaborar métodos simples de cálculo aceptables desde el punto de vista práctico de los elementos típicos usados en la industria como serían los plásticos empleando diversos procedimientos. [38]

5.2.1 Dureza SHORE

En la investigación desarrollada se tuvo en cuenta para la prueba de dureza la norma ASTM D-695 donde el método de prueba cubre la determinación de las propiedades mecánicas de los plásticos rígidos reforzados y no reforzados, incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se cargan en compresión a velocidades uniformes relativamente bajas de deformación o carga. [39]

La medición de dureza para plásticos como lo es el biopolímero se realiza con el durómetro SHORE el cual sus resultados son a causa de la resistencia que tiene este material a la indentación. Esta prueba tiene muchas escalas para medir dichas variables, el cual varía depende de su material como lo son los plásticos rígidos, los geles y los cauchos.

Esta prueba como se había mencionado anteriormente tiene una escala de A – D. En esta situación la escala a la cual se evaluará es Shore A ya que es el que se utiliza habitualmente para plásticos blandos como lo es el biopolímero obtenido. La prueba es medida con un dispositivo llamado durómetro, de ahí el término “dureza del durómetro”. El valor de la dureza se determina por la penetración del pie del durómetro en la muestra que se está probando [40]. Como se demuestra a continuación:

Figura 15.

Equipo TQC para la medición de Dureza SHORE



Nota. TQC Sheen Bd, Durómetro Shore A
LD0559. 2022. [41]

Este equipo es un medidor de dureza Shore TQC es adecuado para durómetros tipo Shore A, C y D*. La construcción del banco de pruebas incluye una manija de operación, una etapa de vidrio ajustable y un durómetro (de altura) ajustable. Con este banco de pruebas se pueden realizar ensayos de dureza de caucho o plásticos con un durómetro de forma más precisa y reproducible.[41]

La muestra que fue analizada fue seleccionada de forma aleatoria debido a las limitaciones en la disposición de equipos. La muestra seleccionada fue la Muestra 2 la cual contiene 10g de Almidón de papa, 60 mL de agua, 10 mL de glicerina y 5 mL de Ácido acético, según la tabla 2. (Matriz de diseño experimental). Esta muestra tiene las siguientes dimensiones para poder ser evaluada; 25 cm de largo, 2,5 cm de ancho y 0.6 cm de grosor. La prueba fue realizada en los laboratorios del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje).

Tabla 4.

Resultados de dureza SHORE

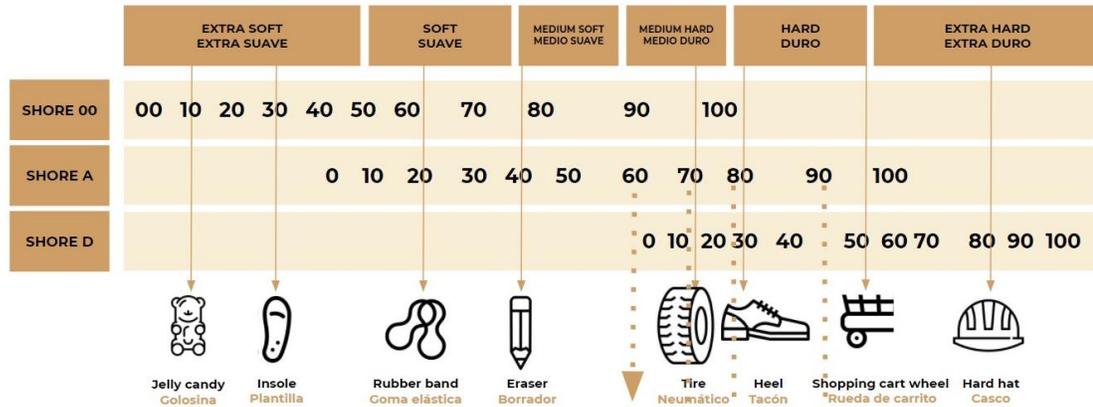
Prueba	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Dureza por penetración (indentación) mediante durómetro (Dureza SHORE A)
Muestra 2	22.8	51.2	9.7

Nota. Toma de resultados de las propiedades para la determinar la dureza Shore.

Los resultados de los ensayos se muestran en el Anexo 1, y se interpretan de la siguiente manera; los valores entre 0-30 representan un material muy suave y los valores mayores de 90 son los valores que son más difíciles de penetrar. Por ende, la prueba al dar un resultado de 9.8 demuestra que este material tiene una dureza inferior y puede ser comparado con la dureza entre una plantilla y un caucho de goma.

Figura 16

Ejemplos en la escala de Dureza SHORE

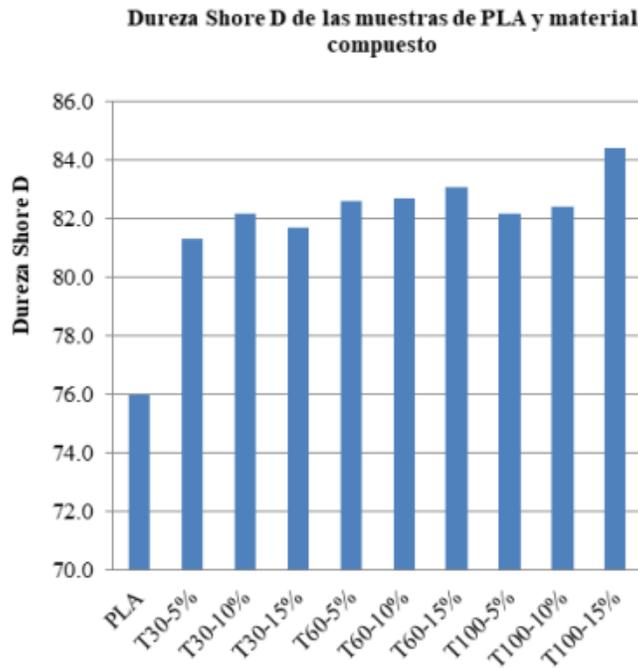


Nota. Filaflex. Dureza Shore, Recreus. [42]

El bioplástico obtenido en el estudio a comparación del ácido poliláctico (bioplástico de uso comercial) es mucho más débil; el ácido poliláctico tiene una dureza SHORE de 76 -como se puede evidenciar en la figura 13- el cual usualmente es categorizado como un plástico duro y resistente.

Figura 17.

Dureza SHORE del PLA



Nota. Campaña, Orlando. Caracterización Mecánica y Térmica de Ácido Polilactico. 2018[43]

5.2.2 Resistencia a la tensión

La prueba de resistencia de tensión permite conocer las características de un material cuando se somete a esfuerzos de tracción como se le hizo a él biopolímero. El objetivo es determinar la resistencia a la rotura y las principales propiedades mecánicas del material. La resistencia a la tensión normalmente se cuantifica con las unidades PSI (Libras por pulgada cuadrada) o Pa (Pascales)[44]

Esta prueba fue evaluada bajo la norma ASTM D-638 para la prueba de resistencia a la tensión. Este método de prueba está diseñado para arrojar datos de tracción para el control de materiales plásticos reforzados y no reforzados como es el biopolímero que se ha obtenido.[45]

El límite elástico es la resistencia que tiene un material antes de que comience a deformarse, todas las tensiones que soporta el bioplástico durante este límite son las resistencias de tensión normal del bioplástico.[46]

Para esto se requiere una maquina universal para probar adecuadamente la resistencia de un material. Esta máquina consta de dos conjuntos de mandíbulas, una unidad de control y cilindros que crean la fuerza de una carga de tensión.[47] Como se muestra a continuación:

Figura 18.

Maquina universal de ensayos



Nota. Maquina universal electromecánica Criterion 100 kN.
DIRIMPEX. 2022 [48]

La muestra que se evaluó fue la Muestra 2 – que se puede evidenciar en la figura anterior- en la con las características que se muestran en la tabla 2. Esta muestra tiene las siguientes dimensiones para poder ser evaluada; 25 cm de largo, 2.5 cm de ancho y 0.6 cm de grosor. La prueba fue realizada en los laboratorios del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje). Los ensayos arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 5.

Resultados de resistencia a la tensión

Prueba	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Carga Máxima (N)	Elongación en máximo (%)
Muestra 2	22.8	51.2	2.035	13.008

Nota. Porcentajes de la resistencia de la tensión

Los resultados de los ensayos se muestran en el Anexo 2. El ensayo fue aplicado para las láminas del biopolímero a condiciones ambientales con una temperatura de 22.8 °C y humedad 51.2%. Donde se le aplicó una fuerza entre 0 N a 25 N en el cual durante el proceso se obtuvo el resultado de carga máxima y elongación en máximo el cual pueden ser observados en la Tabla 4. A continuación, muestra el resultado de la lámina antes de someterse al ensayo mecánico, durante y después de este, respectivamente.

Figura 19.

Maquina universal de ensayos (antes de someterse al ensayo mecánico)



Nota. Bioplástico antes de ser sometido a ensayo mecánico.

Figura 20.

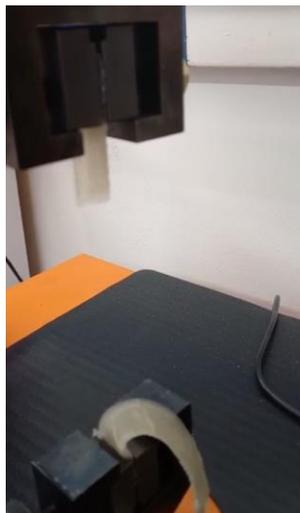
Maquina universal de ensayos (durante de someterse al ensayo mecánico)



Nota. Bioplástico durante el ensayo mecánico.

Figura 21.

Maquina universal de ensayos (después de someterse al ensayo mecánico)

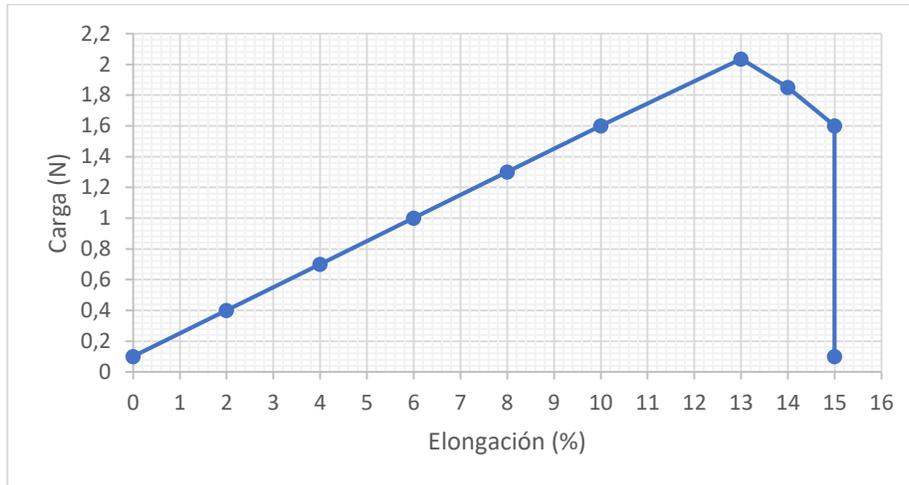


Nota. Bioplástico se quiebra al ser sometido a pruebas mecánicas.

La grafica original de dicho resultado se muestran en el Anexo 3 donde se puede evidenciar que la fuerza máxima soportada durante el ensayo fue de 2.035 N y una máxima elongación del 13.008%.

Figura 22.

Resultados de la prueba de resistencia a la tensión (Muestra 2)



Nota. Datos obtenidos al someter prueba 2 a la tensión.

El cual se puede concluir que la muestra sometida a ensayos mecánicos refleja un módulo de elasticidad menor en comparación al PLA, dado que, el PLA tiene 47 N por la distribución de partículas. La distancia entre ellas hace que con el incremento de carga en la matriz este incremente la resistencia a la indentación. [43]

5.3 Evaluación Térmica

Las evaluaciones térmicas en esta ocasión se tomaron para las tres muestras a diferencia de las pruebas mecánicas. Esta prueba es muy importante para evaluar los materiales ya que estos miden los cambios físicos, mecánicos, químicos y termodinámicos que ocurren bajo diferentes temperaturas. Este análisis fue evaluado según la norma ASTM D-969.[49]

El análisis térmico ayuda a determinar si los materiales son adecuados para la aplicación o uso previsto. Utilizando un modelo de temperatura a lo largo del tiempo, este método proporciona datos precisos sobre la temperatura y el coeficiente de expansión térmica lineal (CTE).[50]

La mayoría de los materiales se expanden cuando se calientan y se contraen ante el frío. La dilatación térmica de los materiales representa su expansión cuando se calientan. Puede ser en longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica.[51] En este caso se midió la longitud de las láminas.

5.3.1 Procedimiento para realizar

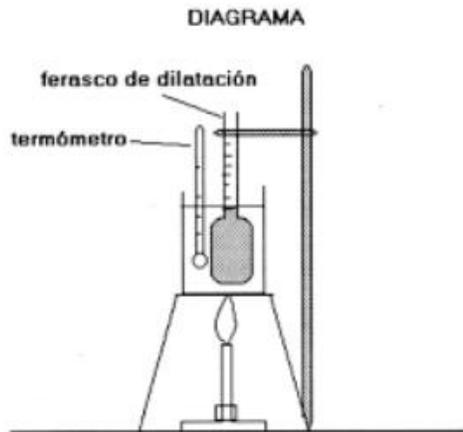
Para la realización de este ensayo se tomó como referencia la norma ISO 10545-8. Esta norma determina la dilatación térmica lineal de las baldosas por ende se tuvo que hacer una adaptación para poder evaluar el biopolímero.[52]

La prueba térmica consiste en un montaje como se muestra en la Figura 17, un beaker de 1000 mL, aceite mineral, una plancha calentadora, un termómetro, la lámina del bioplástico y el montaje de brazos mecánicos para poder sostener esta lamina.

La lamina tiene las siguientes dimensiones: 8 cm de largo, 2.5 cm de ancho y 0.6 cm de grosor. El beaker se llena con 900 mL de aceite mineral a 0 °C y la prueba consiste en ir elevando la temperatura 10 °C cada 10 minutos hasta llegar a 100 °C y progresivamente medir la dilatación que el material presente durante la prueba con un calibrador pie de rey el cual nos da las medidas en milímetros.

Figura 23

Montaje para la evaluación térmica



Nota. Montaje a escala de laboratorio para poder realizar la evaluación térmica.

Una vez la temperatura llegue a 100 °C se termina la prueba y se registran en la siguiente tabla todos resultados de cada muestra.

Tabla 6.

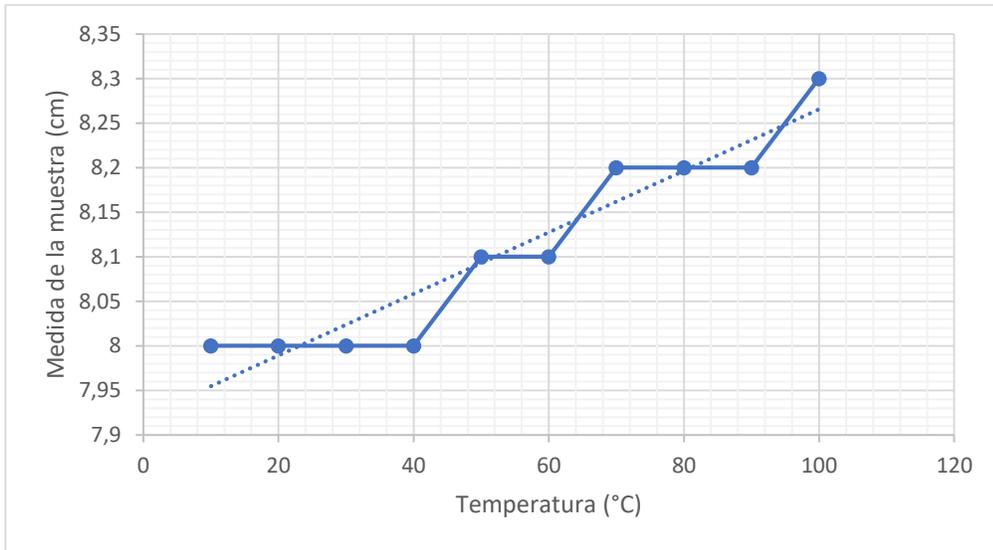
Resultados de prueba térmica

T (°C)	Medida de muestra (cm)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
10	8	8	8
20	8	8	8
30	8	8	8
40	8	8.1	8.1
50	8.1	8.1	8.1
60	8.1	8.1	8.2
70	8.2	8.2	8.2
80	8.2	8.2	8.3
90	8.2	8.3	8.3
100	8.3	8.3	8.4

Nota. Datos recolectados al someter las 3 muestras de bioplástico a condiciones térmicas.

Figura 24.

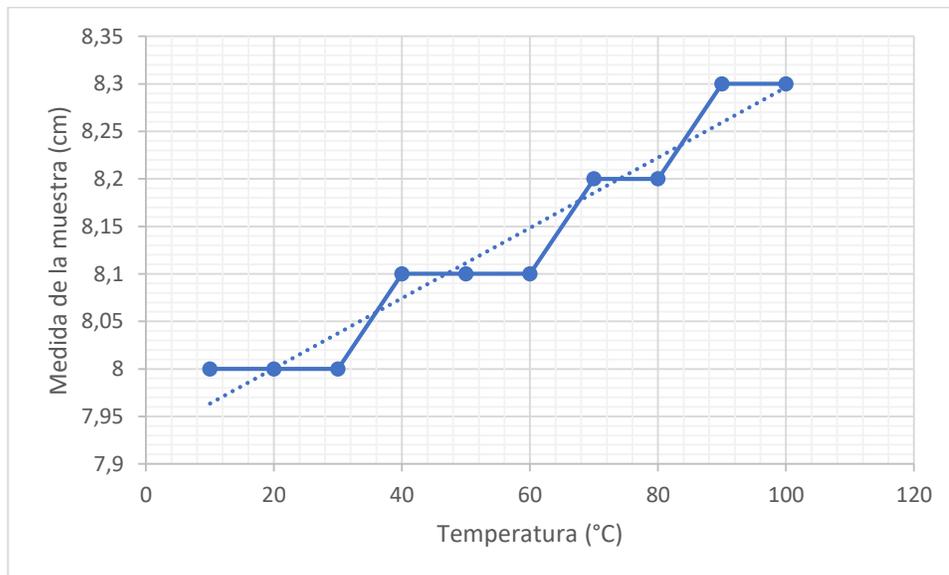
Resultados de Dilatación térmica (Muestra 1)



Nota. Grafica obtenida por los datos recolectado de la muestra 1.

Figura 25.

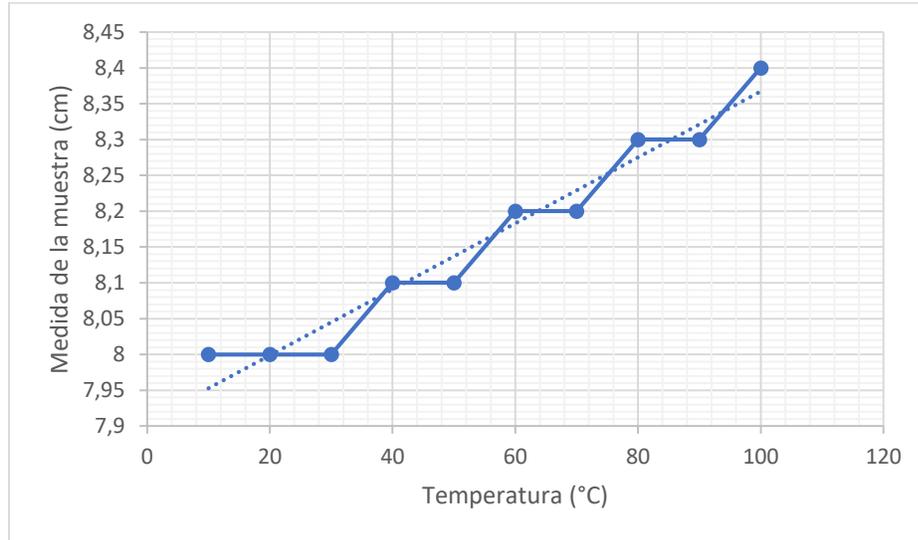
Resultados de Dilatación térmica (Muestra 2)



Nota. Grafica obtenida por los datos recolectado de la muestra 2.

Figura 26.

Resultados de Dilatación térmica (Muestra 3)



Nota. Grafica obtenida por los datos recolectado de la muestra 3.

Para estos ensayos, las tres probetas mostraron un incremento en el largo de las medidas originales, aunque sus cambios no fueron muy significativos en sus estructuras físicas. Donde se alcanza a apreciar en las gráficas anteriores un aumento máximo de 4 mm en la muestra 3, mientras que en las otras muestras se aumentó 3 mm. Mostrando que el material posee un buen comportamiento a la exposición térmica en temperaturas de 0 °C a 100 °C.

Tabla 7.

Coefficiente de dilatación térmica lineal

	α (1/°C)
Muestra 1	0,000375
Muestra 2	0,000375
Muestra 3	0,000500

Tabla 8.

Coefficiente de dilatación térmica lineal del PLA

	α (1/°C)
PLA	0,00008901

Nota. Información obtenida por [43]

La dilatación térmica de un plástico está compuesta por un componente reversible al que se superponen cambios de longitud debidos a cambios en el contenido de humedad, curado, pérdida de plastificante o disolventes, liberación de tensiones, cambios de fase y otros factores.[53]

5.4Análisis de resultados

A la hora de estudiar las propiedades de expansión térmica del biopolímero obtenido a base del almidón de la papa Capiro los datos fueron plasmados en la tabla de medidas según las muestras en la Tabla 5. Como se puede observar en la tabla, a medida que se incrementa la temperatura se presenta un ligero aumento en la longitud de las muestras. La tercera muestra presenta un mayor incremento en cuanto a su longitud con una expansión térmica del 0.4 cm en comparación a las dos primeras muestras.

Como es conocido la mayoría de los materiales modifican sus dimensiones al variar su temperatura, fenómeno el cual se conoce como expansión térmica y se debe a que al incrementar la temperatura aumenta la velocidad de las partículas internas del material, por lo que la distancia de separación entre ellas se vuelve mayor.

Si se comparan los resultados obtenidos en cuanto a la expansión térmica del biopolímero desarrollado y el PLA donde este tiene 0.00008901 1/°C[43], se observa que el biopolímero elaborado presenta una mayor resistencia térmica por las propiedades de sus partículas internas que al ser de origen orgánico su separación se facilita.

6.BIODEGRADACIÓN

6.1Generalidad

Esta etapa tuvo como objetivo demostrar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido. Existen diferentes modos de biodegradación de polímeros ya que estos dependen de factores ambientales como lo es la temperatura, pH, humedad y el oxígeno además de la estructura del polímero o del biopolímero.

Por ejemplo, la temperatura se refiere al nivel térmico del sustrato y su valor depende del tipo de microorganismo que se esté utilizando, se debe considerar que la temperatura puede afectar la estructura del polímero al modificar su flexibilidad, el aumento de esta en una cadena polimérica favorece la fijación del sitio activo de la enzima a la cadena polimérica e incrementa la velocidad de biodegradación.[54]

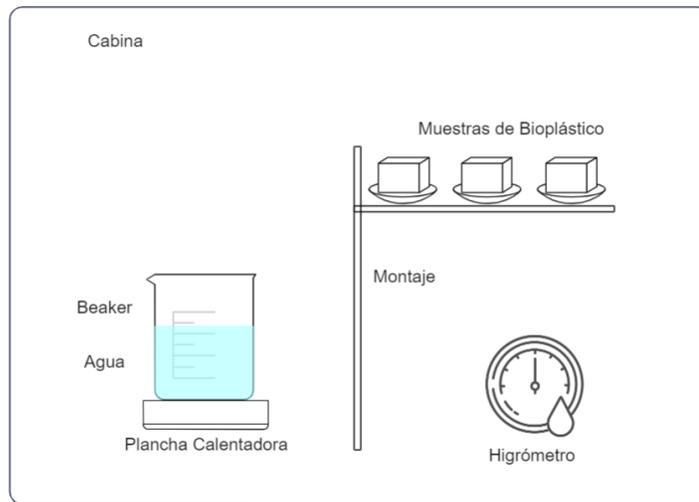
La NORMA ASTM D-5988-18 son las que evalúan la biodegradación de los plásticos[55]. Ya que este método de prueba cubre la determinación en condiciones de laboratorio del grado y la tasa de biodegradación aeróbica de materiales plásticos, incluidos los aditivos de formulación, en contacto con el suelo.[55]

6.2Pasos

El ensayo de biodegradación consiste en un montaje de un beaker de 1000 mL, agua potable, una plancha calentadora, un higrómetro, la lámina del bioplástico, una capsula – que tiene unas dimensiones de 1.20 m de alto, 1 m de largo y 1 m de ancho -y el montaje de brazos mecánicos para poder sostener las láminas que tienen las dimensiones de: 4 cm de largo, 2 cm de ancho y 0.6 cm de grosor. En Figura 19 se puede evidenciar el montaje.

Figura 27.

Montaje para la Evaluación de Biodegradación



Nota. Demostración del montaje que se realizó para la prueba de biodegradación.

El elemento más importante de este ensayo es el higrómetro. El higrómetro es el instrumento utilizado para medir la humedad relativa (HR) del aire, que es la cantidad de vapor de agua presente en un volumen de aire. Los higrómetros a menudo están disponibles en versiones que también miden la temperatura. A los últimos normalmente se les llama termohigrómetro. La humedad relativa se expresa como la proporción de la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación con la cantidad que lo saturaría a una temperatura dada. [56]

Figura 28

Higrómetro

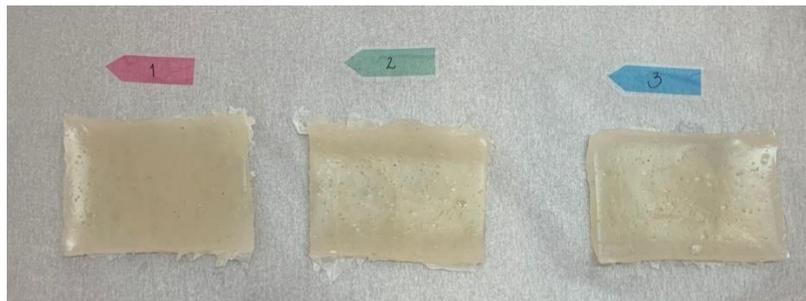


Nota. HCO, Higrómetro AL-2. 2022 [57]

Las muestras se encapsularon con todo el montaje en una cabina de plástico durante dos días seguidos. El agua en el beaker se fue calentando para obtener el 100% de humedad en el ambiente el cual se consiguió en 4 horas con la ayuda de la plancha de calentamiento a 90 °C. La temperatura que se obtiene del higrómetro es de 27 °C. Una vez la cabina este a 100% de humedad se introducen las muestras y se ubican en el montaje como se muestra en la figura 19. Estas muestras se retiraron cada 24 horas para poder tener registros fotográficos. Las muestras comenzaron con las siguientes características físicas:

Figura 29.

Muestras iniciales

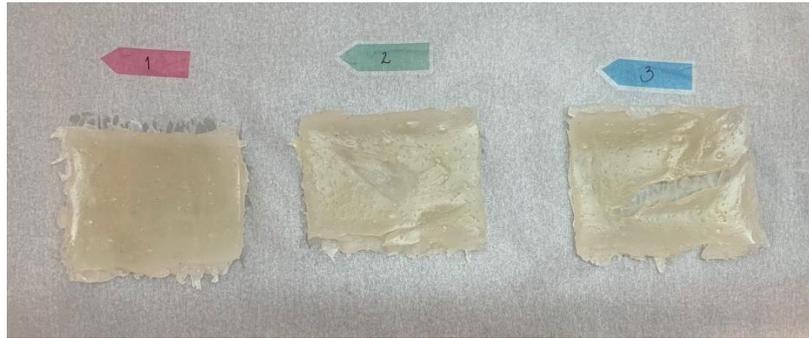


Nota. Resultados de biodegradación obtenidos de las 3 muestras iniciales.

El cual se observan las tres muestras con sus números etiquetados como se encuentran en la tabla 2 de este estudio. Estas muestras se dejaron 24h intactas dentro del ambiente de humedad y el siguiente día se evidenciaron los siguientes cambios:

Figura 30.

Resultados de biodegradación después de 24h



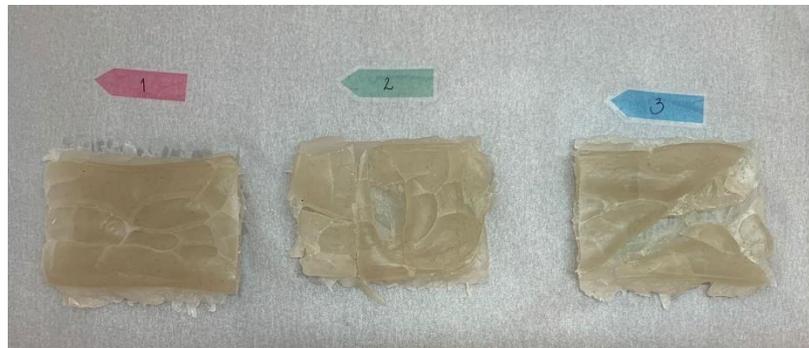
Nota. Resultados de biodegradación obtenidos de las 3 muestras después de 24h.

Donde se pueden evidenciar cambios físicos en la muestra 2 y 3. La muestra 2 presenciaba una fisura en la parte superior del bioplástico de 1.2 cm de largo en cambio la muestra 3 presentaba una fisura de 3.5 cm. En cambio, la muestra 1 seguía intacta. Una vez el registro fotográfico y las medidas se habían hecho estas entraron otra vez al ambiente húmedo para completar las 48h de exposición a tales condiciones.

Lo cual el siguiente día dieron los siguientes resultados:

Figura 31.

Resultados de biodegradación después de 48h



Nota. Resultados de biodegradación obtenidos de las 3 muestras finales.

Después de 48h el bioplástico presenta resultados positivos ya que se puede evidenciar la descomposición que logra obtener por la humedad. Como era de esperarse la Muestra 3 es la más afectada con una reducción del 20% de reducción del área superficial, después la Muestra 2 con

un 15% de reducción al área superficial y finalmente la Muestra 1. Donde podríamos concluir que a mayor ácido acético más rápido se biodegrada el bioplástico ya que este es la única variable que cambia en las tres muestras, siendo la Muestra 3 la que tiene más ácido acético con 10 mL.

La humedad favorecer la hidrólisis del biopolímero rompiendo enlaces covalentes y permitiendo un área de mayor exposición al ambiente [57]. Además, la humedad es uno de los factores operacionales de mayor importancia en la biodegradación, ya que el agua es requerida como vehículo de transporte de nutrientes y productos de desechos, lo que implica que la descomposición de la materia orgánica dependa del contenido de humedad.[58]

Al comparar nuestro biopolímero con el ácido poliláctico se obtiene que el biopolímero actúa mejor a la biodegradación ya que para la producción del PLA se usan hidrocarburos para su elaboración, como fuente de energía por lo cual su proceso de obtención desencaja el concepto de material biodegradable.[59] y además al no ser tratado industrialmente para biodegradarse, este duraría 80 años en descomponerse.[60]

7.BIOPLÁSTICO OBTENIDO

El bioplástico obtenido tiene una presentación de lámina por el molde que se usó en el proceso. La lamina tiene unas dimensiones de 30 x 5 cm, con un peso de 250 g. Su apariencia es un bioplástico transparente con un color amarillo claro cómo se puede evidenciar en la figura 24.

Figura 32.

Bioplástico obtenido en molde de 30 x 5 cm



Nota. Resultado obtenido después de hornear el biopolímero.

Este proceso demostró un buen rendimiento ya que, por cada kilogramo de Papa Capiro se obtiene una lámina de 250 g.

$$\% R = \left(\frac{\text{Masa de producto}}{\text{Masa inicial de Materia prima}} \right) \times 100$$
$$\% R = \left(\frac{250 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \right) \times 100 = 25\%$$

El porcentaje de rendimiento es muy importante por la rentabilidad y eficiencia del proceso, y así mismo estudiar la posibilidad de ejecutar el proceso en una escala mayor. El cual el 25% es un buen resultado.

Este bioplástico puede tener varios usos en la industria como lo sería para la producción de plantillas ortopédicas, todo tipo de mascarillas para la industria cosmética, silicona, etc. Dada que sus propiedades mecánicas y térmicas son favorables para este tipo de productos.

8.CONCLUSIONES

El almidón fue caracterizado y aun que venía de una procedencia residual se obtuvo resultados favorables a comparación de la ficha técnica del almidón. El pH vario entre 5.72 – 6.45, el % de humedad entre 15.98 - 17.7 % y el % de almidón entre 16.22 – 17.06 %. Y en la ficha técnica del almidón el pH esta entre 6-8, el % de humedad entre 12 - 19 % y el % de almidón en 20 %. Lo cual nos garantiza una buena calidad de almidón para el estudio.

Se logró la extracción del almidón a escala de laboratorio teniendo en cuenta los siguientes pasos; lavado, corte, molienda, filtración -con un tamiz de 300 μm y posteriormente con un tamiz de 600 μm -, sedimentación y secado que se realizó en un horno a 40 °C por 24 horas.

La obtención del bioplástico se logró por un diseño experimental que incluía como materias primas el almidón, el ácido acético, la glicerina y el agua. En el cual una vez el almidón había sido extraído este fue mezclado en un agitador térmico con las materias primas anteriormente mencionadas a 150 °C y con una velocidad desde 500 rpm hasta 1400 rpm.

Las evaluaciones mecánicas como lo fueron la dureza SHORE y la resistencia a la tensión no dieron resultados tan favorables como lo dio los resultados de biodegradación. Esto se debe al contenido de almidón presente en la muestra. Para mayor dureza y resistencia a la tensión se debe agregar mayor % de almidón a la muestra. Esto dependerá del uso comercial que se dará en la industria.

El bioplástico presentado en el estudio dio resultados a favor de la biodegradación de este ya que actúa positivamente con la humedad del ambiente. El área superficial de las tres muestras se redujo un 20% en solo 2 días de estar en condiciones extremas de humedad. La Muestra que demostró mejores resultados fue la Muestra 3. En cambio, el PLA dura 80 años en descomponerse y no puede biodegradarse sin pasar por un sistema industrial. [60]

BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Quiñones, “Los microplásticos en el pescado y los mariscos, ¿deberíamos preocuparnos? | Noticias ONU,” Jun. 31, 2019. <https://news.un.org/es/story/2019/07/1460041> (accessed Jun. 18, 2022).
- [2] ECODES, “Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI,” 2019. <https://ecodes.org/hacemos/cultura-para-la-sostenibilidad/salud-y-medioambiente/observatorio-de-salud-y-medio-ambiente/contaminacion-por-plasticos-uno-de-los-mayores-desafios-ambientales-del-siglo-xxi> (accessed Nov. 20, 2021).
- [3] O. J. Cardona and A. M. Tejeda, “Obtención de una película biopolímero a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*),” 2018.
- [4] M. Gallur, “Presente y futuro de los biopolímeros como material de envase,” Barcelona, 2010. Accessed: Nov. 11, 2021. [Online]. Available: http://www.easyfairs.com/fileadmin/groups/10/MIRIAM_GALLUR.pdf
- [5] E. Flores-Gorosquera, F. García-Suárez, M. Núñez-Santiago, R. González, L. Bello-Pérez, and E. Huicochea, “Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Estudio en planta piloto,” 2004. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/28095151>
- [6] B. Coralía Mercedes Leiva López Br Rayza Solange Obando Pérez and E. T. Alejandro Hernández, “Universidad Nacional de ingeniería Facultad de Ingeniería química Extracción de almidón a partir de variedades de papa cultivadas en Nicaragua,” 2014. Accessed: Dec. 24, 2021. [Online]. Available: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Almidon_27067.pdf
- [7] M. L. Argel and U. Dirección, “Microencapsulación de aceite de chia (*Salvia hispánica* L.) utilizando almidones modificados de malanga (*Coiocasia esculenta* Schott) como material de pared mediante secado por aspersión,” Universidad Veracruzana, Jan. 2013.
- [8] J. P. Hernandez-Uribe, E. Agama-Acevedo, R. A. Gonzalez-Soto, L. A. Bello-Pérez, and A. Vargas-Torres, “Isolation and characterization of Mexican chayote tuber (*Sechium edule* Sw.) starch,” *Starch/Staerke*, vol. 63, no. 1, pp. 32–41, Jan. 2011, doi: 10.1002/star.201000078.

- [9] R. Pawar et al., “Polysaccharides as carriers of bioactive agents for medical applications,” *Natural-Based Polymers for Biomedical Applications*, pp. 3–53, Jan. 2008, doi: 10.1533/9781845694814.1.3.
- [10] N. Meaño Correa, A. Teresa Ciarfella Pérez, and A. DorTa Villegas, “Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame Congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos.” vol. 26, pp. 182–187, 2014, Accessed: Jan. 14, 2022. [Online]. Available: <http://ve.scielo.org/pdf/saber/v26n2/art11.pdf>
- [11] A. Monferrer, J. Villalta, and N. Cubero, *Aditivos Alimentarios*. España: Mundi Prensa libros, 2002. Accessed: Jan. 14, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/info/textonodisponible>
- [12] E. Ávila Cubillos, *Manual: La Papa*, Núcleo Ambiental SAS. Bogotá, Colombia: Cámara de Comercio de Bogotá, 2015. Accessed: Nov. 25, 2021. [Online]. Available: <https://www.ccb.org.co/content/download/13727/175111/file/Papa.pdf>
- [13] M. P. Aristizábal Bedoya, “Detrás de la producción de papas Margarita está la labor de cientos de agricultores,” *Agronegocios*, Jul. 26, 2019. <https://www.agronegocios.co/agricultura/detras-de-la-produccion-de-papas-margarita-esta-la-labor-de-cientos-de-agricultores-colombianos-2889197> (accessed May 08, 2022).
- [14] A. Contreras, “La papa,” *Universidad Austral de Chile.*, 2000. <http://www.agrarias.uach.cl/webpapa/mpapa.html> (accessed Jun. 18, 2022).
- [15] E. Contreras, “El mundo de la papa.,” *Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Chile*, 2006.
- [16] Ecoplas, “Degradación de los Materiales Plásticos,” Buenos Aires, Argentina, Sep. 2007. Accessed: Oct. 20, 2021. [Online]. Available: <http://ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>
- [17] K. K. Sadasivuni, P. Saha, J. Adhikari, K. Deshmukh, M. B. Ahamed, and J. J. Cabibihan, “Recent advances in mechanical properties of biopolymer composites: a review,” *Polymer Composites*, vol. 41, no. 1, pp. 32–59, Jan. 2020, doi: 10.1002/PC.25356.
- [18] N. Manjón, “Plásticos biodegradables: Qué son y Tipos,” Jul. 29, 2019. <https://www.ecologiaverde.com/plasticos-biodegradables-que-son-y-tipos-1986.html> (accessed Apr. 24, 2022).
- [19] A. Grabowski, “Ampliando el conocimiento sobre el plástico de origen vegetal | Historias | Descubre WWF,” *World wild life*, Feb. 21, 2022. [59](https://www.worldwildlife.org/descubre-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- wwf/historias/ampliando-el-conocimiento-sobre-el-plastico-de-origen-vegetal (accessed Jun. 19, 2022).
- [20] A. Sánchez Upegüi, “Introducción: ¿qué es caracterizar?,” Fundación Universitaria Católica del Norte., 2010.
- [21] AOAC International, “In Food & Agriculture, We Set the Standard,” 2022. <https://www.aoac.org/> (accessed Jul. 24, 2022).
- [22] Z. Huamán, Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife, 2008.
- [23] AOAC International, “AOAC 943.02-1943, PH of flour. Potentiometric method - \$14.15,” Jan. 03, 2015. http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&products_id=937 (accessed Jun. 19, 2022).
- [24] Jove, “pH Meter: Principles, Calibration and pH Measurement | General Chemistry | JoVE.” <https://www.jove.com/es/v/5500/using-a-ph-meter?language=Spanish> (accessed Jun. 18, 2022).
- [25] L. M. Méndez Ventura, “Manual de prácticas de Análisis de Alimentos,” Universidad veracruzana, pp. 26–100, 2020.
- [26] AOAC Internacional, “A Determinación de humedad Método de la AOAC 92510 basada en la pérdida de | Course Hero,” Jan. 03, 2015. <https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de/> (accessed Jun. 19, 2022).
- [27] A. F. Vera Bravo and M. A. Chavarría Chavarría, “Extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca,” Revista Ciencia y Tecnología El Higo, vol. 10, no. 2, pp. 26–34, Dec. 2020, doi: 10.5377/elhigo.v10i2.10550.
- [28] Protokimica, “Ficha técnica de Almidón de Papa,” Aug. 06, 2018. <https://www.protokimica.com/wp-content/uploads/2019/01/FT-Almidon-de-papa.pdf> (accessed Jun. 19, 2022).
- [29] AKFP, “American Key Food Productos,” Potato starch, 2014. <http://akfponline.com/starches-flours/potato-starch/> (accessed Jun. 19, 2022).

- [30] R. Hoover and S. P. J. N. Senanayake, “Composition and physicochemical properties of oat starches,” *Food Research International*, vol. 29, no. 1, pp. 15–26, Jan. 1996, doi: 10.1016/0963-9969(95)00060-7.
- [31] R. D. Soto Izarra and P. E. Yantas Huaynate, “Evaluación de la calidad del almidón obtenido de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) cultivadas en la provincia de Jauja,” Universidad Nacional del Centro del Perú, 2012.
- [32] Cipotato, “DIACOL CAPIRO – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador,” Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador, 2010. <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/12/24-diacol-capiro/> (accessed Jun. 19, 2022).
- [33] P. N. Meza Ramos, “Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio,” Lima, 2016.
- [34] MIT (Massachusetts Institute of Technology), Estados Unidos. Bioplastics, (2012). Accessed: May 08, 2022. [Online Video]. Available: <http://video.mit.edu/watch/bioplastics-10937/>
- [35] E. I. Véjar Rivera, “Prácticas de Bioquímica Descriptiva,” Universidad de Sonora, 2005. [https://books.google.com.ni/books?id=xv8LNjwigGQC&printsec=frontcover&dq=Practic as+de+Bioquimica+Descriptiva&hl=es&sa=X&ei=OSwSU6_gOc6jkQej9YGYDw#v=onepage&q=Practicas%20de%20Bioquimica%20Descriptiva&f=false](https://books.google.com.ni/books?id=xv8LNjwigGQC&printsec=frontcover&dq=Practic+as+de+Bioquimica+Descriptiva&hl=es&sa=X&ei=OSwSU6_gOc6jkQej9YGYDw#v=onepage&q=Practicas%20de%20Bioquimica%20Descriptiva&f=false) (accessed May 02, 2022).
- [36] A. Zoroquiain López, “ASTM ¿Qué es? ¿y el Estándar E1155?,” *Espacio BIM*, Jul. 12, 2021. <https://www.espaciobim.com/astm> (accessed May 03, 2022).
- [37] J. Torres. “Estabilidad ii capítulo i : introducción a la resistencia de materiales introducción a la resistencia de materiales 1.1. resistencia de materiales 1.1.1. Conceptos,” 2008.
- [38] ASTM, “Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics,” Dec. 27, 2016. <https://www.astm.org/d0695-15.html> (accessed Jun. 15, 2022).
- [39] J Flex, “¿Qué significa la dureza Shore? ¿Cómo se mide la dureza del caucho?,” Nov. 26, 2019. <https://www.j-flex.com/es/how-is-rubber-hardness-measured-what-does-shore-hardness-mean/> (accessed Jun. 15, 2022).

- [40] Directindustry, “Durómetro Shore A - LD0559 - TQC Sheen BV - Shore D / Shore C / de mesa.” <https://www.directindustry.es/prod/tqc-sheen-bv/product-23214-1590931.html> (accessed Jun. 15, 2022).
- [41] Recreus, “¿Qué es la ‘dureza Shore’?,” Sep. 01, 2021. <https://recreus.com/es/noticias/aprende-con-recreus/que-es-la-dureza-shore-> (accessed Jun. 16, 2022).
- [42] O. Campaña, ; Guerrero, and V. Hugo, “Caracterización Mecánica y Térmica de Ácido Poliláctico (PLA) Reforzado con Polvo de Bambú (PB) Mechanical and Thermal Characterization of Poly lactic Acid (PLA) reinforced with Bamboo Powder (PB),” vol. 42, no. 1, 2018.
- [43] Tecnopol, “La Prueba de Tensión.” <https://tecnopol.es/actualidad/la-prueba-de-tension> (accessed Jun. 19, 2022).
- [44] ASTM, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,” Feb. 28, 2017. <https://www.astm.org/d0638-14.html> (accessed Jun. 19, 2022).
- [45] A. Ramirez, J. Lopez, A. Manzanillo, and D. Portillo, “Deformación y resistencia de los materiales,” Feb. 01, 2013. <https://www.monografias.com/trabajos96/deformacion-y-resistencia-materiales/deformacion-y-resistencia-materiales> (accessed Jun. 19, 2022).
- [46] S. Parra, “Medición de la fuerza (Tensión),” Sep. 10, 2018. <https://blog.laminasyaceros.com/blog/medici%C3%B3n-de-la-fuerza-del-metal-tensi%C3%B3n> (accessed Jun. 16, 2022).
- [47] Dirimpex, “Máquina universal electromecánica Criterion 100 kN” <https://dirimpex.com/equipos/maquina-universal-electromecanica-criterion-100-kn/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [48] ASTM, “Standard Test Method for Laboratory Determination of Degree of Bleeding of Traffic Paint (Withdrawn 2010),” Dec. 31, 2010. <https://www.astm.org/d0969-85r03e01.html> (accessed Jun. 19, 2022).
- [49] Laboratuar, “Análisis térmico,” 2020. <https://www.laboratuar.com/es/testler/malzeme-testleri/termal-analizler/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [50] Infinitia, “Propiedades térmicas de los materiales,” Feb. 14, 2022. https://www.infinitiaresearch.com/noticias/propiedades-termicas-de-los-materiales/#3_dilatacion_o_expansion_termica (accessed Jun. 16, 2022).

- [51] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN ISO 10545-8:2014 Baldosas cerámicas. Parte 8: Determina...” <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0053611> (accessed Jun. 19, 2022).
- [52] ASTM, “Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C with a Vitreous Silica Dilatometer,” Apr. 09, 2018. <https://www.astm.org/d0696-16.html> (accessed Jun. 16, 2022).
- [53] D. Rodriguez-Gomez, “Biopolímeros: de principio a fin,” in *Mujeres en la Ciencia Biología*, ECORFAN, 2020, pp. 107–129. doi: 10.35429/h.2020.9.107.129.
- [54] ASTM, “Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in Soil.” <https://www.astm.org/d5988-18.html> (accessed Jun. 16, 2022).
- [55] Equipos y Laboratorio. “Conceptos básicos higrómetro y la humedad relativa.” <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/conceptos-basicos-higrometro-y-la-humedad-relativa> (accessed Jun. 16, 2022).
- [56] Mercado libre, “Termohigrómetro Digital Sonda Medidor Humedad Higrometro” https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-500260879-termohigrometro-digital-sonda-medidor-humedad-higrometro_JM?searchVariation=67410411340#searchVariation=67410411340&position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=46576976-8180-41bd-8a0d-3fa1441b504e (accessed Jun. 16, 2022).
- [57] G. E. Garrido Troncoso, “Efecto de la humedad en la biodegradación de residuos sólidos urbanos, mediante tratamiento mecánico biológico.,” Chile, Mar. 2014.
- [58] M. Ampudia Castro, “PLA. Material, interés y consejos de impresión,” Feb. 17, 2015. <http://www.dima3d.com/pla-material-interes-y-consejos-de-impresion-3/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [59] L. C, “PLA: ¿Es realmente ecológico el filamento? - 3Dnatives,” Jun. 23, 2019. <https://www.3dnatives.com/es/ecologico-realmente-filamento-pla-230720192/#!> (accessed Jun. 19, 2022).

GLOSARIO

Plástico: Término implementado para la descripción de una gama amplia de materiales sintéticos o semisintéticos.

Polímero: Macromolécula compuesta de moléculas más pequeños que se nominan monómeros.

Bioplástico: Material derivado de diferentes fuentes vegetales con capacidades de biodegradación.

Acetilación: Reacción química en la que un grupo acetyl se añade a otras moléculas. pH: potencial de hidrógeno de una solución, mide acidez o alcalinidad.

Ácido Acético: Compuesto orgánico incoloro con olor a arce y son sabor agrio bastante marcado.

Secado: Operación unitaria de conservación basada en la eliminación de agua libre del material.

Almidón: Sustancia con textura de polvo, inodora y generalmente de color blanco con propiedades variadas.

Papa: Tubérculo comestible que se extrae de la tierra, es la reserva de energía de la planta herbácea Solanum Tuberosum.

Medio ambiente: Espacio en el que se desarrolla la vida de los distintos organismos favoreciendo su interacción.

Molienda: Proceso unitario para la disminución del tamaño de partícula de una materia sólida.

pH: Medida de acidez o alcalinidad de una disolución.

N: Newton

CTE: Coeficiente de expansión térmica lineal

ANEXOS

ANEXO 1.

PRUEBAS DE LABORATORIO

1. Resultados de Dureza Shore A (“biopolímero 2-2 Dureza”)

	SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA CENTRO PARA LA INDUSTRIA DE LA COMUNICACIÓN GRÁFICA LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS	Código: LFR-015
	INFORME DE RESULTADOS	Versión: 03
		Página 4 de 9
		Vigente desde: 2021/07/19

INFORME DE ENSAYO No	011-22
----------------------	--------

CONDICIONES AMBIENTALES			
TEMPERATURA (°C)	22.8	HUMEDAD RELATIVA (%)	51.2

Código	Identificación del ítem	Dureza por penetración (indentación) mediante durómetro (Dureza SHORE A)
565-22	Biopolímero: 2-2 Dureza	9.7
566-22	Biopolímero: Blanco Tensión	89.7
567-22	Biopolímero: 70%-30% tensión 2	93.5
568-22	Biopolímero: 70%-30% tensión 1	92.4
569-22	Biopolímero: 50%-50% tensión 1	90.4
570-22	Biopolímero: 50%-50% tensión 2	90.2
571-22	Biopolímero: 1-pasta	17.1

Laboratorio de pruebas y ensayos del Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica
Calle 15 No. 31-42, Bogotá-Colombia. Tel: (57-1) 5960100 ext.: 15493

2. Resultados de Resistencia a la tensión (“Biopolímero 2-3 Resistencia”)

	SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA CENTRO PARA LA INDUSTRIA DE LA COMUNICACIÓN GRÁFICA LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS	Código: LFR-015
	INFORME DE RESULTADOS	Versión: 03
		Página 3 de 9
		Vigente desde: 2021/07/19

INFORME DE ENSAYO No	011-22
----------------------	--------

RESULTADOS DE LABORATORIO			
---------------------------	--	--	--

CONDICIONES AMBIENTALES			
TEMPERATURA (°C)	23.1	HUMEDAD RELATIVA (%)	50.0

Código	Identificación del ítem	Velocidad de ensayo (mm/min)	Longitud entre mordazas (mm)	Ancho (mm)	Calibre (mm)	Resistencia a la tensión (kN/m)	Elongación (%)
563-22	Biopolímero: 2-3 Resistencia	25	193	24.5	2.846	0.083	13.008
566-22	Biopolímero: Blanco Tensión	250	246	30.25	4.891	7.926	3.218
567-22	Biopolímero: 70%-30% tensión 2	250	246	29.65	4.442	9.717	2.371
568-22	Biopolímero: 70%-30% tensión 1	250	246	29.45	5.311	6.789	0.508
569-22	Biopolímero: 50%-50% tensión 1	250	246	29.25	6.376	6.457	0.508
570-22	Biopolímero: 50%-50% tensión 2	250	246	30.35	6.091	5.817	0.508
571-22	Biopolímero: 1-pasta	25	80	31.50	2.859	0.039	0.500

Laboratorio de pruebas y ensayos del Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica
Calle 15 No. 31-42, Bogotá-Colombia. Tel: (57-1) 5960100 ext.: 15493

3. Resultados a la resistencia de tensión (Grafica “Biopolímero 2-3 Resistencia”)

	SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA CENTRO PARA LA INDUSTRIA DE LA COMUNICACIÓN GRÁFICA LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Código: LFR-015
		Versión: 03
		Página 7 de 9
		Vigente desde: 2021/07/19

INFORME DE ENSAYO No 011-22

ANEXO



Laboratorio de pruebas y ensayos del Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica
 Calle 15 No. 31-42, Bogotá-Colombia. Tel: (57-1) 5960100 ext.: 15493

Evidencia fotográfica del Laboratorio

1. Formación del biopolímero



2. Biopolímero en el horno a 40 °C



3. Probetas de biopolímero con dimensiones de 25cm x 2.5cm x 0.6 cm



4. Probeta utilizada para pruebas mecánicas



ANEXO 2.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar el proceso de obtención del biopolímero a escala piloto para estudiar la posibilidad de producción de este material.

Estudiar la posibilidad de reforzar el biopolímero con materiales orgánicos para poder obtener una mejora en las pruebas mecánicas como lo fueron a la dureza SHORE y a la resistencia a la tensión.

Extender el estudio de biodegradabilidad por más de 2 días para obtener información del tiempo que este biopolímero se biodegrada totalmente.

Se recomienda el uso de un equipo extrusor para poder obtener las probetas del mismo grosor ya que esto mejoraría los resultados de las pruebas mecánicas.

Este proceso solo genera residuos sobrantes de la papa, se recomienda que este residuo se disponga en la caneca categorizada orgánica. Para después ser tratada correctamente.