



Universidad **Mariana**

Creación de bioplástico a partir del almidón de la cáscara de plátano a escala laboratorio

Karen Vanessa Betancourt Chamorro

Andrés Felipe Malte Reina

María Isabel Melo Rojas

Universidad Mariana

Facultad Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

San Juan de Pasto

2024

Creación de bioplástico a partir del almidón de la cáscara de plátano a escala laboratorio

Karen Vanessa Betancourt Chamorro

Andrés Felipe Malte Reina

María Isabel Melo Rojas

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Ambiental

Mg. Luis Gabriel Lafaurie Ponce

Asesor

Universidad Mariana
Facultad Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Contenido

1. Resumen del proyecto	9
1.1. Descripción del problema.....	9
1.1.1. Formulación del problema.....	11
1.1.2. Hipótesis.....	12
1.2. Justificación.....	12
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.4. Objetivos específicos.....	13
1.5. Marco referencial	13
1.5.1. Marco conceptual	13
1.5.1.1. Bioplásticos.	13
1.5.1.2. Plátano.....	15
1.5.1.3. Amilosa.....	17
1.5.1.4. Amilopectina	17
1.5.1.5. Polímeros derivados del almidón.	18
1.5.2. Marco contextual.....	19
1.5.3. Marco legal.....	21
1.6. Metodología	21
1.6.1. Paradigma de investigación.....	23
1.6.2. Enfoque de investigación.....	24
1.6.3. Tipo de investigación.....	24
1.6.4. Población y muestra / unidad de trabajo y unidad de análisis	24
1.6.4.1. Unidad de análisis.....	24
1.6.4.2. Población.....	24
1.6.4.3. Muestra	24
2. Análisis de resultados	25
2.1. Preparaciones experimentales para la producción de bioplástico a partir de almidón de cáscara de plátano.....	25
2.1.1. Materiales y métodos.....	25

2.1.2. Proceso de obtención del bioplástico generado a escalalaboratorio	27
2.1.3. Parte experimental.....	28
2.1.3.1. Visita de campo.	28
2.1.3.2. Clasificación.....	28
2.1.3.3. Lavado.....	29
2.1.3.4. Corte del interior de la cascara de plátano.....	29
2.1.3.5. Inmersión en solución anti pardeamiento.....	30
2.1.3.6. Secado	30
2.1.3.7. Molienda.....	31
2.1.3.8. Polimerización.....	31
2.1.4. Análisis parte experimental	33
2.1.5. Análisis de la materia prima (almidón de la cascara de plátano).....	34
2.1.5.1. Medición de porcentaje de humedad.....	34
2.1.5.2. Medición de Ph.....	36
2.1.5.3. Medición pesos y comparación de la materia prima.	37
2.1.6. Medición pruebas mecánicas (tensión y deformación)	39
2.1.6.1. Creación indumentaria para pellets	39
2.1.6.2. Realización los pellets del bioplástico generado	40
2.1.6.3. Diseño experimental para pellets.....	40
2.1.7. Evaluación de las propiedades mecánicas	42
2.1.7.1. Medición de tensión en bioplástico	42
2.2. Resultado mediciones tensión y elongación.....	44
2.3. Análisis estadístico de tensión	57
2.3.1. Degradabilidad térmica	58
2.3.2. Análisis estadístico de degradabilidad térmica.....	65
2.4. Discusión.....	65
3. Conclusiones	68
4. Recomendaciones.....	69
Referencias bibliográficas	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Biopolímeros encontrados en la naturaleza y sus funciones	14
Tabla 2. Propiedades mecánicas, físicas y químicas del bioplástico a partir de la cascara de plátano	15
Tabla 3. Composición Química de la cascara del banano	16
Tabla 4. Metodología.....	21
Tabla 5. Preparacions para la realización experimental del bioplástico	25
Tabla 6. Diseño de experimentos bifactorial de efectos fijos	26
Tabla 7. Diseño de expermientos unifactorial de efectos fijos	27
Tabla 8. Componentes para la elaboración de bioplástico.....	31
Tabla 9. Muestras de las mediciones del contenido de humedad respecto al peso de la lamina seca del plátano	34
Tabla 10. Valores de pH del almidón extraído.....	36
Tabla 11. Relacion de pesos con materia prima	37
Tabla 12. Experimento 1. Resultado mediciones pruebas mecanicas a 80 °C con 1 preparacion de bioplástico.....	44
Tabla 13. Experimento 1. Resultado mediciones puebas mecanicas a 80 °C con 2 preparacion debioplástico.....	44
Tabla 14. Datos ingresados al programa Rstudio	57
Tabla 15. Área bajo la curva.....	60

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura química de la amilosa (A).....	17
Figura 2. Estructura química de la amilopectina (B).....	18
Figura 3. Mapa de ubicación geográfica Municipio de Sandoná-Nariño.....	20
Figura 4. Zona de recolección de materia prima en el municipio de Sandoná.....	28
Figura 5. Extracción de la parte interna de la cascara.....	28
Figura 6. Lavado de la materia prima.....	29
Figura 7. Corte parte interna de la cascara.....	29
Figura 8. Inmersión en solución antiparteamiento.....	30
Figura 9. Secado en horno.....	30
Figura 10. Molienda del almidón.....	31
Figura 11. Reactivos en baño maría.....	32
Figura 12. Mezcla y secado de bioplástico.....	32
Figura 13. Producto final bioplástico generado.....	33
Figura 14. Bioplástico generado a 80 °C.....	34
Figura 15. Humedad vs Lamica seca del almidon.....	35
Figura 16. Instrumento Radwag que cuantifica el Porcentaje de Humedad.....	36
Figura 17. Medición con pH con Phmetro WTW.....	37
Figura 18. Tendencia entre peso de la cascara de plátano y almidón extraído.....	39
Figura 19. Molde para la realización de pellets.....	40
Figura 20. Pesaje del bioplástico.....	41
Figura 21. Bioplástico siendo prensado y su producto.....	41
Figura 22. Realización de pellets a temperatura controlada.....	42
Figura 23. Sistema adaptado para tensión.....	43
Figura 24. Experimento 1. Medida de pruebas mecanicas a 80 ° C.....	45
Figura 25. Experimento 1. Medidas de pruebas mecanicas a 80 °C.....	46
Figura 26. Experimento 2. Medida de pruebas mecanicas a 80°C.....	47
Figura 27. Experimento 2. Medida de pruebas mecanicas a 80 °C.....	48
Figura 28. Experimento medida de pruebas mecanicas a 80 °C.....	48
Figura 29. Experimento 3. Medida de pruebas mecanicas a 80 °C.....	49

Figura 30. Experimento 4. Medida de pruebas mecanicas a °C	50
Figura 31. Experimento 4. Medida de pruebas mecanicas a 80 °C	50
Figura 32. Experimento 5. Medida de pruebas mecanicas a 100 °C	51
Figura 33. Experimento 5. Medida de pruebas mecanicas a 100 °C	52
Figura 34.. Experimento 6. Medida de pruebas mecanicas a 100 °C	52
Figura 35 Experimento 7. Pruebas mecanicas a 100 °C.....	54
Figura 36. Experimento 7. Pruebas mecanicas a 100 °C.....	54
Figura 37. Experimento 8. Medida de pruebas mecanicas a 100 °C	55
Figura 38. Experimento 8 medida de pruebas mecanicas a 100 °C.....	56
Figura 39. Limite elástico entre preparación 1 y 2 del bioplástico	56
Figura 40. Montaje para la captacion de monoxido de carbono.....	58
Figura 41. Bioplástico de la preparacion 1	60
Figura 42. Bioplástico del preparacion 2.....	61
Figura 43. Bioplástico del preparacion 1.....	61
Figura 44. Plástico de alta densidad	62
Figura 45. Plástico de alta densidad	62
Figura 46. Plástico de alta densidad	63
Figura 47. Plástico de baja densidad	63
Figura 48. Plástico de baja densidad	64
Figura 49. Plástico de baja densidad	64

1. Resumen del proyecto

El trabajo se enfocó en la creación del bioplástico a partir del almidón de la cascara de plátano a escala laboratorio. La investigación se llevó a cabo con el objetivo de explorar una alternativa sostenible al plástico convencional derivado del petróleo, promoviendo así el reciclaje y la reducción del impacto ambiental. En la metodología aplicada, se aplicaron preparaciones fisicoquímicas sobre la materia prima, el almidón extraído de la cascara de plátano, para formular un proceso controlado en el laboratorio. Se realizaron pruebas de degradación térmica siguiendo la norma ASTM E1354-22b, evaluando la liberación de monóxido de carbono a altas temperaturas. Además, se llevaron a cabo ensayos de tensión según la norma ASTM D -638 para analizar las propiedades mecánicas del bioplástico. Los resultados de estas pruebas indicaron que el bioplástico elaborado libera una mayor cantidad de monóxido de carbono en comparación con el plástico de alta densidad, sugiriendo una posible descomposición más rápida y, por ende, una degradación más ambientalmente amigable, se concluyó que el bioplástico podría ser una alternativa viable y sostenible para reemplazar el plástico convencional de un solo uso, contribuyendo a la reducción de residuos plásticos y al cuidado al medio ambiente.

1.1. Descripción del problema

Actualmente el manejo de los residuos sólidos, constituye a nivel mundial un problema en constante evolución para las grandes ciudades, convirtiéndose en un reto en el contexto de aplicación de políticas de gestión ambiental. Los niveles actuales de generación de residuos sólidos urbanos en el mundo son de aproximadamente 1,3 billones de toneladas por año, y se espera que este volumen aumente a 2,2 billones de toneladas para el año 2025. Segura, A., et al. (2020). Factores como el crecimiento demográfico, la concentración de población en zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y/o empresarial, los cambios en patrones de consumo; y, las mejoras del nivel de vida, han catalizado la generación de residuos sólidos en pueblos y ciudades (Ojeda y Quintero, 2008; AIDI-IDRC, 2006).

La necesidad de abordar los desafíos asociados con la gestión de desechos sólidos ha promovido la implementación de políticas públicas que buscan reducir su impacto ambiental negativo. Estos

sistemas de gestión suelen involucrar diferentes fases, que incluyen la generación, recolección y transporte, preparación, y disposición final de los residuos (Cepal, 2024).

En el caso de América Latina ha prevalecido el manejo de los residuos sólidos bajo el esquema de “recolección y disposición final”, dejando rezagados tanto el aprovechamiento, reciclaje y preparación de los residuos, como la disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada. El gremio de la industria en Colombia de los plásticos, Aco plásticos, afirma que el país produce alrededor de 1.4 millones de toneladas plásticos al año y calcula que se reciclan únicamente 300 mil. Pero esa cifra es solo un estimado y lo que sí muestran las cifras oficiales es que, de todos los residuos sólidos que incluyen no solo plásticos sino restos de comida, telas, cartones, metales o vidrios, no se recicla ni el 30% (Ambiente Stereo, 2023). En muchos países de la región utilizan los vertederos y/o botaderos a cielo abierto sin las debidas especificaciones técnicas; continuando con la práctica de recolección sin clasificación y/o separación de los desechos desde el origen; adicionalmente, existe un enorme número de segregadores trabajando en las calles y en los vertederos, buscando sobrevivir del aprovechamiento de materiales reciclables a pesar del riesgo a que exponen su salud e integridad física, unido esto a la deficiencia en la administración tanto pública como privada del sector son aspectos que revelan la crisis que presenta en la región el manejo de residuos sólidos (Granja y Batioja, 2022).

Una alternativa de solución, a la acumulación y consumo desmedido a nivel mundial de plásticos de un solo uso, está la fabricación y comercialización de bioplásticos (polímeros de origen natural degradable), los cuales no producen un aumento neto en las emisiones de CO₂ cuando se descomponen ya que liberan la misma cantidad de CO₂ que las plantas absorben para crecer, por ello los bioplásticos son una buena respuesta a la problemática anteriormente planteada (Quintana, 2021). Representantes de recicladores, industria, academia, jóvenes y Gobierno firmaron el Pacto Nacional Colombia libre de plásticos de un solo uso para reducir estos productos en el país. El Gobierno creará un plan de reconversión productiva y adaptación laboral. Desde mediados del próximo año, comenzará la eliminación gradual de 14 categorías de productos plásticos.

Colombia busca unirse al tratado mundial contra la proliferación de plásticos, por ello avanza en la Ley 2232 de 2022 para reducir estos materiales, que causan contaminación y daños a la

biodiversidad. La ministra de Ambiente, Susana Muhamad, destacó la colaboración con diversos sectores para reducir la contaminación plástica, que alcanza casi un millón de toneladas anuales. Se enfatiza un uso más racional del plástico y la creación de cadenas de recirculación.

A mediados de 2024, se eliminarán gradualmente 14 categorías de productos plásticos de un solo uso, con un plazo de dos a ocho años para la transición a alternativas sostenibles. Entre los primeros productos en salir del mercado están bolsas de punto de pago, bolsas para embalar periódicos y publicidad, rollos de bolsas vacías, mezcladores y pitillos para bebidas, soportes para bombas de inflar y para hisopos de algodón. Se denota que la fabricación de bioplásticos a base de residuos agrícolas ha venido siendo uno de los mejores métodos para poder mitigar la contaminación ambiental, además de ser materia prima para la obtención de envases con mejores características que el plástico común, con la diferencia que se degrada más rápidamente (Calero y Manchay, 2021; Piza et al., 2018).

La fabricación de bioplásticos no es común en el departamento de Nariño, como lo demuestra la falta de proyectos documentados a la fecha; sin embargo, con la tecnología y conocimiento que posee la región se podrían elaborar estos bioplásticos, utilizando los desechos del plátano, más específicamente su cáscara (como la hoja, cáscara, raquis y pedúnculo). Por lo que es una excelente opción como materia prima para la creación del bioplástico, ya que su cáscara contiene una cantidad considerable de almidón. Los polímeros basados en almidón, cuya producción a 2006 estaba alrededor de 82.000 ton / Año y se consiguen entre 2.1 y 7.8 USD/ Kg, se caracteriza por tener propiedades similares a las de polietileno (PE) y polipropileno (PP) son totalmente compostables (Labeaga, 2018).

1.1.1. Formulación del problema

¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas y características de degradación de los bioplásticos elaborados a partir de almidón de la cáscara de plátano en contraste con los plásticos convencionales cuando se testean bajo pruebas de degradación en condiciones ambientales controlados?

1.1.2. Hipótesis

La fabricación de bioplástico a partir de almidón de plátano presenta tanto propiedades físico-químicas comparables al plástico convencional como tiempos de degradación menores.

1.2. Justificación

Con la presente investigación se desea aprovechar de manera eficiente los residuos orgánicos como lo es la cascara de plátano el cual es un residuo recurrente en el municipio de Sandoná, considerando la alta presencia de almidón en el interior de la cascara de este, con el fin de crear un bioplástico. El cual tendrá menor duración en el ambiente a comparación del plástico convencional que es generado a partir del petróleo con una vida media de degradación hasta 200 años; esto debido al corto tiempo de degradación material orgánico base, pudiendo llegar a ser hasta un 100% degradable convirtiéndose en una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

De acuerdo a la corporación autónoma regional de Nariño (2008), Sandoná es una zona en la cual predomina cultivos como: caña, café, plátano, maíz, yuca, frijol arbustivo, entre otros. Cabe resaltar que entre los tres cultivos que más resaltan en el municipio está el plátano, el cual se encuentra en 78,53 has, con un índice de 15,5%, establecido como sombrío de café especialmente. Debido a la alta producción de plátano en Sandoná se quiere aprovechar la cascara de plátano, la cual es desechada sin ningún uso. Bioplástico a base de la cáscara del plátano.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Obtener bioplástico a partir del almidón de la cascara del plátano (no aprovechado en cultivo en la vereda la loma del municipio de Sandoná) como un producto alternativo al plástico convencional.

1.4. Objetivos específicos

- Determinar la mejor formulación para la elaboración del bioplástico.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas entre un bioplástico elaborado experimentalmente a partir a del almidón de la cascara de plátano y un plástico común.

1.5. Marco referencial

1.5.1. Marco conceptual

Dentro del marco de la investigación y la relevancia de explorar alternativas a los plásticos convencionales, se presentan conceptos esenciales y temas fundamentales para iniciar el análisis experimental de la producción de bioplásticos a partir del almidón de la cáscara de plátano. Estos incluyen definiciones clave como bioplásticos, materia prima (cáscara de plátano de Sandoná, Nariño), plásticos y propiedades fisicoquímicas tanto de los bioplásticos como de los plásticos convencionales. El objetivo es proporcionar al lector las definiciones necesarias, junto con datos y características generales, para comprender el proceso y las razones detrás de la investigación, con el fin de obtener bioplásticos como una alternativa viable.

1.5.1.1. Bioplásticos.

Los bioplásticos, son plásticos biodegradables que se fabrican a partir de componentes orgánicos provenientes de diferentes fuentes disponibles, principalmente de residuos orgánicos, como método de aprovechamiento de los mismos con el objetivo de disminuir la huella carbono. En su estructura comparten ciertas características y propiedades de los plásticos derivados del petróleo, es por ello, que son afines como alternativa para la producción de materiales de corto y mediano uso; adicionalmente, los bioplásticos tardan menos en degradarse en el medio ambiente debido a diferentes factores como interacciones físico químicas con la atmosfera, interacciones biológicas con microorganismos, entre otros. De cierto modo, la ventaja indirecta que ofrecen los bioplásticos es la de preservar fuentes de energía no renovables (petróleo),

permitiendo la disminución del problema, cada vez más difícil, del manejo de desechos. (Remar, 2011, p. 2)

El término biopolímero se usa para describir una variedad de materiales, pero generalmente los biopolímeros se dividen en dos categorías amplias: polímeros producidos por sistemas biológicos como microorganismos, plantas y animales, y polímeros que se sintetizan químicamente, pero se derivan de fuentes biológicas como los aminoácidos, ácidos, azúcares, grasas o aceites naturales (Romero, 2005).

Tabla 1

Biopolímeros encontrados en la naturaleza y sus funciones

Polímero	Monómero	Función (es)
Ácidos nucleicos	nucleótidos	Trasporta la información genética en forma universal en todos los organismos
Proteínas	Ácidos Alphaammos	Catalizadores biológicos, factores de crecimiento y receptores materiales estructurales
Polisacáridos	Azucares	Material estructural en plantas, almacenamiento de energía y secreción bacteriana
Polyfelones	Fenoles	Material estructural en plantas, mecanismos de defensa de platas
Polyfosfatos	Fosfatos	Energía inorgánica almacenada en materiales
Polysulfatos	Sulfatos	Energía inorgánica almacenada en materiales

Fuente: López (2020).

Tabla 2

Propiedades mecánicas, físicas y químicas del bioplástico a partir de la cascara de plátano

Densidad	1,2 – 1,35 (g/cc)
Resistencia a la atracción	35 – 40 Mpa
Temperatura de Reblandamiento	65 – 120 °C
Hidrofobicidad	Baja
Permeabilidad al Oxígeno	Media - Alta
Biodegradabilidad	100%

Fuente: Remar (2011)

En la tabla 2 se pueden observar rangos convencionales de las propiedades mecánicas, físicas y químicas del bioplástico elaborado a partir de la cascara de plátano a escala de laboratorio.

Las investigaciones que involucran la fabricación de bioplásticos consideran el uso de componentes particulares de los residuos orgánicos, susceptibles de ser transformados fisicoquímicamente para obtener propiedades comparables con plásticos convencionales, tal que tengan el potencial de entrar a competir económicamente bajo el concepto de economía circular (Rivera Quixchan et, al, 2018). Estos componentes incluyen moléculas de celulosa, polímeros de glucosa y almidón presentes en varias especies de frutas y verduras; específicamente en su cascara, la cual es generalmente, desechada. Particularmente el almidón podemos encontrarlo en la cáscara de plátano.

1.5.1.2. Plátano. Es una fuente importante de macroelementos el cual contiene ingredientes, como almidón resistente, fibra total, almidón ligeramente digerible, o de polisacáridos y polifenoles (Rivera et al., 2018).

Por ello se utiliza la cascara de plátano como materia prima en este proyecto, En la tabla 2 se muestran cual es la composición química en porcentajes aproximados según el tipo de plátano ya sea maduro o verde.

Tabla 3*Composición Química de la cascara del banano*

Componentes	Cascara de banano verde	Cascara de banano maduro
% Humedad	91,62	95,66
% proteína cruda	5,29	4,77
% Fibra cruda	11,58	11,95
Energía bruta, Kcal	4383	4592
% Calcio	0,37	0,36
% Fosforo	0,28	0,23
% Ceniza	16,30	14,58

Fuente: FAO (2001)

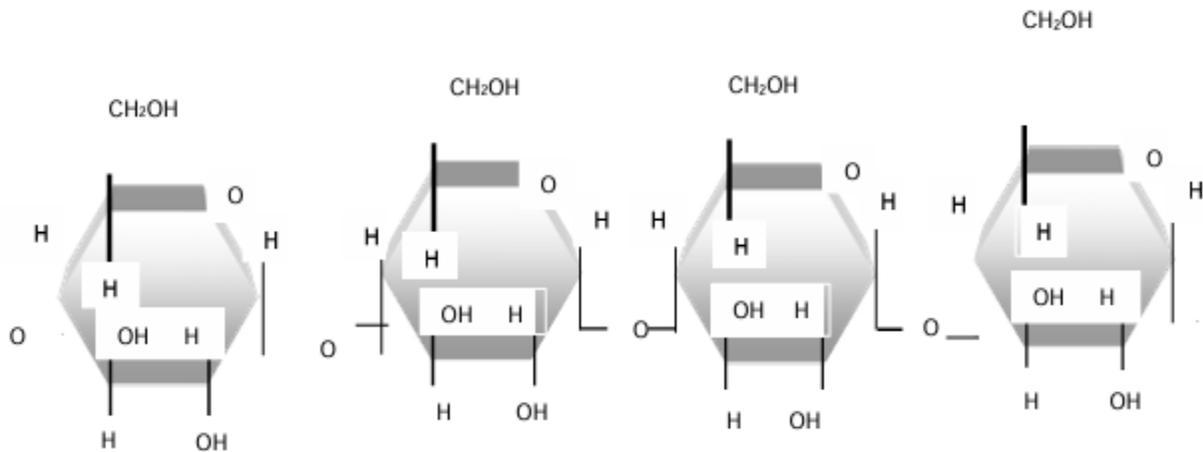
A medida que el plátano va madurando se produce el rompimiento del almidón en azúcares, por lo cual el plátano verde es más rico en almidón el cual es el material necesitado. El almidón contiene una mezcla de las macromoléculas amilosa (15 a 30%) y amilopectina (70 a 85%), la cual varía de una especie vegetal a otra y determina sus características. A mayor contenido de amilopectina, aumentan las propiedades adhesivas, mientras que la amilosa aumenta la capacidadde gelatinización (López, 2020).

El almidón es la principal reserva de energía de la mayoría de los vegetales y la principal fuente de calorías para el consumo humano, es muy importante en la constitución de los bioplásticos pues es responsable junto con la glicerina de afectar la consistencia, elasticidad y estabilidad de este biopolímero. El almidón es un polímero formado por la unión de moléculas de glucosa, unidas mediante enlaces glucosídicos Existen dos tipos de almidón, la amilosa y la amilopectina,el primero consiste de cadenas de glucosa unidas en la forma y con la isomería indicada. La amilopectina tiene la misma estructura que la amilosa (López, 2020).

1.5.1.3. Amilosa. Es un polímero lineal de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1-4). Las unidades de la glucosa se encuentran en la forma de alfa-D-glucopiraminosa y tienen la facilidad de adquirir una conformación helicoidal en la que cada vuelta se compone de seis a ocho unidades (León, 2006).

Figura 1

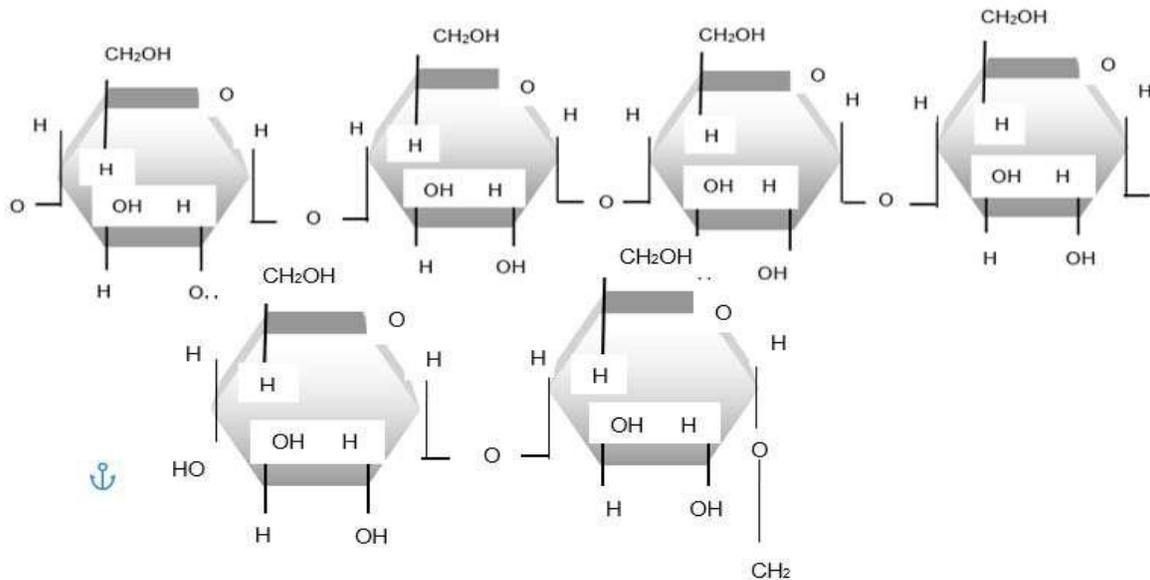
Estructura química de la amilosa (A)



1.5.1.4. Amilopectina. Es una molécula larga y altamente ramificada, en la cual, las moléculas lineales de D-glucosa están unidas mediante enlaces α -(1-4) que se encuentran interligadas entre un 5-6 de enlaces glucosídicos α -D-(1-6), formando una estructura muy ramificada. La amilopectina constituye alrededor del 75 a 83% en peso del almidón (León, 2006). La figura N° 2 muestra la estructura química de la amilopectina.

Figura 2

Estructura química de la amilopectina (B)



1.5.1.5. Polímeros derivados del almidón. Los polímeros derivados de almidón son materiales termoplásticos resultantes del procesamiento del almidón natural por medios químicos, térmicos o mecánicos. Así mismo, es posible hacer copolímero con otros biopolímeros y pueden obtenerse copolímeros tan flexibles como el polietileno o tan rígidos como el poliestireno. El almidón es un polisacárido abundante, de bajo coste, renovable y totalmente biodegradable que se encuentra en las plantas. El almidón comercial se obtiene de las semillas de cereales: maíz, trigo, varios tipos de arroz, etc., y de algunas raíces y tubérculos como la patata. El más utilizado para la producción de bioplásticos es el almidón de maíz (León, 2006).

El método empleado en la investigación es el método mecánico. La primera fase para la preparación del almidón termoplástico implica la mezcla del almidón con agua en proporciones que varían según la calidad de plástico deseada. Una vez que se ha logrado una adecuada disolución del almidón, que suele tomar alrededor de 20 minutos, se procede a calentar la mezcla hasta alcanzar la completa gelatinización. Durante este proceso, el almidón se expande y forma una pasta viscosa. Posteriormente, se agrega un plastificante, como glicerol o sorbitol, en el mejor de los casos (Yu y Gao, 1996).

En algunos casos se puede agregar una mezcla de diferentes polioles (sorbitol más manitol). Se continúa la mezcla hasta lograr una completa dispersión homogénea. El procesamiento térmico mecánico rompe los gránulos de almidón semicristalino. Como la temperatura de fusión del almidón puro es sustancialmente mayor que su temperatura de descomposición hay una necesidad para usar plastificante, tal como el agua. Bajo la influencia de la temperatura y la fuerza cizalla, la rotura de la estructura cristalina de los gránulos se transforma en una fase continua de polímero. (Lorcks, 2000). Para darle plasticidad se agrega glicerol o polietilenglicol. Para mejorar las propiedades mecánicas se incluye celulosa como emulsificante (Yu y Gao, 1996). Así también, el uso de insuficiente cantidad de plastificante da como resultado destrucción incompleta de la estructura cristalográfica del almidón (Lorcks, 2000).

Las características como la resistencia mecánica y flexibilidad del almidón dependen de la relación porcentual entre la amilosa y la amilopectina en la composición del almidón, y así también, del grado de ramificación. Estas características pueden ser mejoradas modificando la estructura del almidón también. El almidón al ser procesado modifica sus propiedades mecánicas las cuales son medibles para caracterizar el bioplástico generado ya que la mayoría de materiales están sometidos a fuerzas ocargas. Es importante conocer las características del material de tal manera que este pueda ser utilizado antes de una deformación excesiva que comprometa la integridad física del mismo. Las propiedades mecánicas de un material reflejan la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material a la misma. Las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia [N/m²] y elongación [m] (Narváez, 2016).

1.5.2. Marco contextual

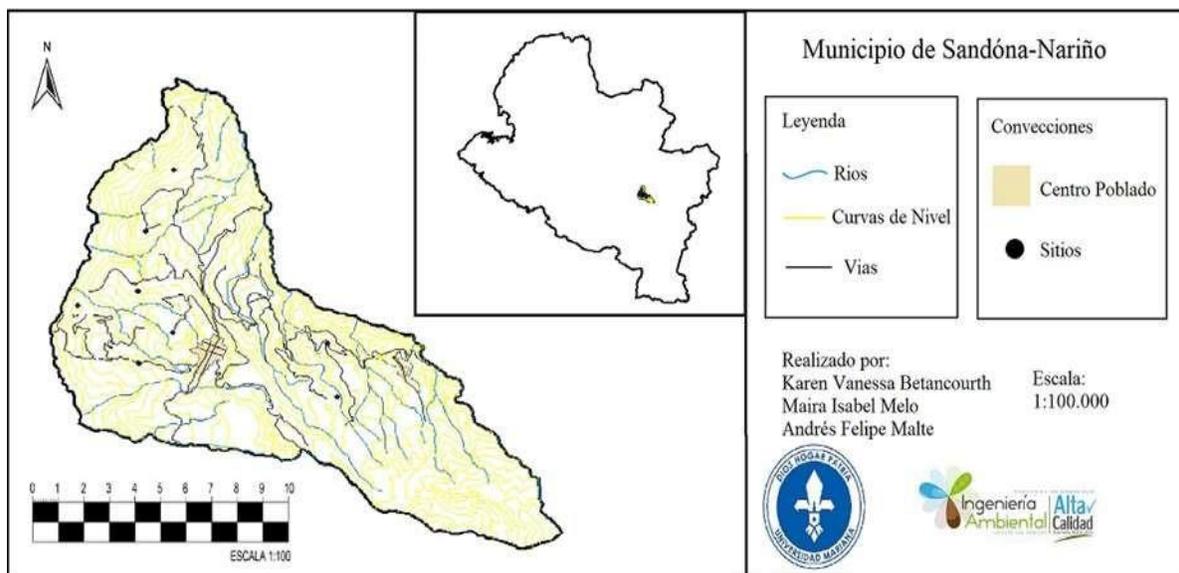
Sandoná es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Nariño. Tiene un área superficial de 101 km², y cuenta con una población total de 25.200 habitantes de las cuales se dividen así 11.200 habitantes en el casco urbano y 249.7 hab/Km de densidad, su temperatura se encuentra usualmente entre 13°C y 24°C. Su cabecera municipal se sitúa sobre la meseta de Paltapamba, hoy meseta de Sandoná, a una altitud de 1848 metros sobre el nivel del mar, al pie de la cascada de Belén y a una distancia de 48 kilómetros de San Juan de Pasto, por la vía circunvalar del Galeras. (Situr Nariño, 023)

En términos de economía, el municipio de Sandoná, es conocido por su producción de plátano, entre otros cultivos. Dentro del PFGB (¡Programas Familias Guarda Bosques) se identificaron 60 hectáreas sembradas de plátano, que sirve como sombrío para el cultivo del café, con un rendimiento aproximado de 3000 kg/ha. El precio pagado al productor es de \$10.000 por racimo, para un total en la producción anual de \$ 3.000.000 por hectárea (CORPONARIÑO, 2008).

La producción de plátano es una actividad económica importante en la región, ya que genera empleo y contribuye al desarrollo económico local. En Sandoná, la producción de plátano se realiza en pequeñas y medianas fincas familiares, en las cuales se utilizan técnicas agrícolas tradicionales. El plátano producido en la región es de alta calidad y es reconocido por su sabor y textura. La producción de plátano en Sandoná se destina principalmente al mercado local y regional, aunque también se exporta a otros países de la región. Los principales productos elaborados a partir del plátano en la región son los plátanos maduros, los plátanos verdes y los plátanos cocidos. Además de la producción de plátano, en Sandoná también se cultivan otros productos agrícolas como café, caña de azúcar, frutas y hortalizas. La ganadería y la producción de leche también son importantes actividades económicas en la región. (CORPONARIÑO, 2008).

Figura 3

Mapa de ubicación geográfica Municipio de Sandoná-Nariño



1.5.3. Marco legal

Conpes 3874 política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Por medio de realización de un bioplástico a partir del reciclaje de materia orgánica como lo es lacascara de plátano, como se propone en el presente documento se aporta una estrategia que promueve el reciclaje y aprovechamiento, además de aportar un método para dejar la dependenciadel plástico de un solo uso.

Ahora bien, de acuerdo a la ley 2232 de 2022, la cual establece “medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones" (Zapata et al., 2022, p. 1) de esta manera la producción de un bioplástico puede llegar a ser una excelente alternativa de solución a reemplazar el plástico de un solouso, porque además de que este se degrada más rápido puede llegar a ser amigable con el medio ambiente.

ASTM D6954-18 Guía estándar para exponer y probar plásticos que se degradan en el ambiente por combinación de oxidación y degradación térmica. (ASTM, 2018). Esta guía proporciona un manual a seguir para comparar las tasas de laboratorio controladas de degradación entre plástico convencional y bioplástico (ASTM, 2018). La norma ASTM D-638 referente a ensayos de tensión en plásticos.

1.6. Metodología

Tabla 4

Metodología

Título: Creación de bioplástico a partir del almidón de la cascara del plátano

Objetivo general: Obtener bioplástico a partir del almidón de la cascara del plátano (no aprovechado en cultivo en la verada la loma del municipio de Sandoná) como un producto alternativo al plástico convencional.

Objetivos Específicos	Meta	Actividad	Producto
Determinar la mejor formulación para la elaboración del bioplástico.	Cuantificar y Cualificar las propiedades fisicoquímicas de la materia prima (cáscara de plátano).	Visita de campo para la obtención de materia prima (cascarade plátano)	La materia prima (cascara de plátano)
	Identificar la metodología más adecuada para la obtención de bioplástico a partir de la cáscara de plátano del municipio de Sandoná.	Recolección y recepción de la materia prima. Selección de metodología para la realización de bioplástico.	Base de datos con la información del análisis fisicoquímico de la materia prima. Metodología a utilizar
		Caracterización fisicoquímica del almidón (peso del plátano, peso de la cascara, porcentaje de la cascara, peso del almidón de la cascara, porcentaje de humedad, densidad, pH.	
		Evaluar e identificar la metodología para la creación más de bioplástico	

<p>Comparar propiedades físicoquímicas y mecánicas de un bioplástico elaborado experimentalmente a partir del almidón de la cáscara de plátano y un plástico convencional.</p>	<p>Diseño de un bioplástico a partir del almidón de la cáscara del plátano.</p> <p>Comparar y relacionar las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido y el plástico convencional.</p>	<p>Aplicar la metodología escogida sobre una muestra de cáscara de plátano para la creación del bioplástico.</p>	<p>Obtención de bioplástico a partir del almidón de la cáscara del plátano a escala laboratorio.</p>
		<p>Crear la indumentaria necesaria para realización de pellets.</p>	<p>Análisis estadísticos de las propiedades medidas.</p>
		<p>Realizar los pellets del bioplástico a presión controlada realizar los pellets a temperatura controlada</p>	
		<p>Determinar propiedades físicoquímicas y Mecánicas del bioplástico obtenido (ANOVA).</p>	

1.6.1. Paradigma de investigación

La investigación propuesta se enmarca en un paradigma aplicativo, orientado a la manipulación experimental de variables, con el objetivo de optimizar la obtención de bioplástico a partir del almidón extraído de la cáscara de plátano. El diseño experimental contempla la aplicación de preparaciones físicoquímicos específicos sobre la materia prima, conduciendo a la formulación de un proceso meticulosamente controlado en el laboratorio. Este enfoque se concibe como una

respuesta estratégica a la necesidad imperante de reducir la dependencia de plásticos derivados del petróleo y mitigar los impactos ambientales asociados con su producción y eliminación.

1.6.2. Enfoque de investigación

Es una investigación científica con un enfoque cuantitativo por que se evaluarán tanto las propiedades de degradabilidad térmica mediante la cuantificación de la cantidad de monóxido de carbono producido, como las propiedades mecánicas del bioplástico como resistencia a la tracción, compresión, maleabilidad y estabilidad térmica.

1.6.3. Tipo de investigación

La creación de bioplásticos a partir del almidón de cáscara de plátano a escala laboratorio se enmarca principalmente en la investigación aplicada, experimental y en ciencia de materiales, con un enfoque biotecnológico y de sostenibilidad ambiental. Este tipo de investigación busca desarrollar materiales biodegradables que sustituyan a los plásticos tradicionales, utilizando métodos experimentales para optimizar procesos y caracterizar propiedades del bioplástico, contribuyendo así a la reducción de la contaminación y al aprovechamiento de residuos orgánicos.

1.6.4. Población y muestra / unidad de trabajo y unidad de análisis

1.6.4.1. Unidad de análisis. Está conformada por las cáscaras de plátano de Sandóná para la obtención del almidón— pasta que posteriormente se utilizará en la elaboración del bioplástico.

1.6.4.2. Población. La población, la cáscara de plátano se extrae de una casa finca en el municipio de Sandóná, vereda la Loma donde se comercializa racimos de plátano generando alrededor de 4.5 kg residuos sólidos del mismo por cada cosecha.

1.6.4.3. Muestra. Se realiza la recolección de 10 kg de plátano de dicho establecimiento, como materia prima.

2. Presentación de resultados

2.1. Preparaciones experimentales para la producción de bioplástico a partir de almidón de cáscara de plátano

Con el objetivo de evaluar el impacto de diferentes condiciones de procesamiento en las propiedades físicas y la degradabilidad de bioplásticos elaborados a partir de almidón de cáscara de plátano, se llevarán a cabo dos preparaciones experimentales. En ambos casos, se seguirá el mismo procedimiento de producción de bioplástico, pero variando la concentración de glicerina y la temperatura de procesamiento. Las muestras se someterán a pruebas mecánicas de tensión y elongación, así como a pruebas de degradabilidad, con el fin de comparar los efectos de las diferentes preparaciones.

2.1.1. Materiales y métodos

El análisis comparativo de los resultados permitirá identificar posibles diferencias significativas entre las preparaciones en términos de resistencia mecánica y degradabilidad. Estos hallazgos contribuirán a mejorar nuestro entendimiento sobre cómo las condiciones de procesamiento afectan las propiedades y el comportamiento ambiental de los bioplásticos elaborados a partir de almidón de cáscara de plátano.

Tabla 5

Preparaciones para la realización experimental del bioplástico

1 Preparación	2 Preparación	3 Preparación
8 ml de Glicerina	6 ml de glicerina	8 ml
70 °C	60 °C	80 °C
24 horas al horno	24 horas al horno	24 horas a horno
5 ml de ácido acético	5 ml de ácido acético	5 ml de ácido acético

Para medir la diferencia de los datos entre el bioplástico generado y un plástico convencional se utilizara el índice de Shannon (adaptado) en donde se medirá varias propiedades mecánicas tales como resistencia a la tensión, elongación y degradabilidad física (Producción de monóxido de carbono) del bioplástico generado sobre un plástico control el cual sería el plástico convencional de un solo uso, esto mediante la medición de una variación de medias por la prueba ANOVA.

Tabla 6

Diseño de experimentos bifactorial de efectos fijos

Diseño de experimento	BI factorial de efectos fijos		
Variable de respuesta	Calidad de pellets		
Objetivo	Comparar preparaciones propuestos		
Factores	Temperatura		
	Tipo de Preparación		
Hipótesis	Ho: No hay diferencia entre las preparaciones, H1: Existe diferencia entre las preparaciones		
Niveles de los factores	Temperatura		
	80 °C		
	100 °C		
	Tipo de preparación		
	1 preparación		
	2 preparación		
Nº de muestras	18		
Unidad experimental	Es la cantidad de materia prima (almidón) por preparación 10g		
	Preparación	Preparación 1	-1
		Preparación 2	+1
	Temperatura	Temperatura 1	-1
		Temperatura 2	+1

Tabla 7

Diseño de experimentos unifactorial de efectos fijos

Diseño de experimento	UNÍ factorial de efectos fijos		
Variable de respuesta	Cantidad de CO emitida		
Objetivo	Comparar emisiones emitidas		
Factor	Tipo de plástico		
Hipótesis	Ho: No hay diferencia entre el tipo de plástico H1: Existe diferencia entre el tipo de plástico		
Niveles del factor	Tipo de plástico Bioplástico Plástico de alta densidad Plástico de baja densidad		
Nº de muestras	9		
Unidad experimental	3 gramos		
	Tipo de plástico	Bioplástico	-1
		Plástico de alta densidad	+1
		Plástico de baja densidad	-1

2.1.2. Proceso de obtención del bioplástico generado a escalalaboratorio

Siguiendo el enfoque de las preparaciones propuestas, se ejecutan dieciocho (18) experimentos, con el fin de fabricar bioplástico de acuerdo a los parámetros definidos. El bioplástico se obtiene a partir de la pulpa interior de la cáscara de plátano, empleando temperaturas de trabajo de 70 y 80 °C, así como volúmenes de 6 ml y 8ml de glicerina, y volúmenes de 5 ml de ácido acético, para lo cual se deja secar por un determinado tiempo en un horno donde el producto se esparce uniformemente en unas bandejas.

2.1.3. Parte experimental

2.1.3.1. Visita de campo. Se realizó una visita al lugar de origen donde se recolectó la materia prima destinada a la creación de bioplásticos.

Figura 4

Zona de recolección de materia prima en el municipio de Sandoná



2.1.3.2. Clasificación. La materia prima (plátano), es obtenida de la finca esperanza, ubicada en la vereda la loma, Sandoná (figura 4), seleccionó la cascara del plátano maduro, que no evidencie estar golpeada en la parte exterior e interior, debido a que la calidad del almidón que será extraído del interior de la cascara del mismo (figura 5), depende del estado físico del plátano.

Figura 5

Extracción de la parte interna de la cascara



2.1.3.3. Lavado. Los plátanos seleccionados son sometidos a un proceso de lavado minucioso mediante la inmersión de los frutos en agua. Este procedimiento se lleva a cabo con el propósito de eliminar cualquier impureza o suciedad adherida a la cáscara de la fruta (figura 6).

Figura 6

Lavado de la materia prima



2.1.3.4. Corte del interior de la cascara de plátano. Con la ayuda de un cuchillo inoxidable se procedió a hacer un corte laminado separando la parte interior de la cascara de plátano (figura 7), a partir de lo anterior se puede afirmar que se está aprovechando de manera eficiente la cascara para el aprovechamiento del almidón que esta contiene.

Figura 7

Corte parte interna de la cascara



2.1.3.5. Inmersión en solución anti pardeamiento. Realizada la separación del interior de la cascara de plátano, se introduce en una solución anti pardeamiento para evitar que adquiera un color negro (figura 8). Esta solución evita la oxidación, se prepara disolviendo en un litro de agua 4g/l de ácido cítrico en un recipiente de 2 litros a temperatura ambiente, por un periodo de 30 minutos.

Figura 8

Inmersión en solución anti pardeamiento



2.1.3.6. Secado. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión anti pardeamiento, se retira la parte interior de la cascara de plátano de la solución y se colocan en bandejas de convección forzada a temperatura de 60°C durante 6 horas para ser secadas, donde se disminuirá la humedad presente con el fin de obtener almidón del interior de la cascara para su posterior uso (figura 9).

Figura 9

Secado en horno



2.1.3.7. Molienda. Una vez secadas las muestras se retiran de las bandejas y se trituran y muelen en moteros hasta ser pulverizados, para después ser tamizados a través de una malla N° 60 aproximadamente 0,0063 mm.(figura 10).

Figura 10

Molienda del almidón



2.1.3.8. Polimerización. Tras la extracción exitosa del almidón de la pulpa del banano, se procede a su conjunción en un recipiente de 250 mililitros de capacidad, junto con reactivos e insumos particularmente definidos y en las proporciones prescritas. Se ejecutaron veinte siete experimentos suplementarios, respaldados por una repetición, siendo sometidos a análisis para determinar sus propiedades físicas y, consecuentemente, identificar una combinación óptima.

Tabla 8

Componentes para la elaboración de bioplástico

Insumos	Cantidades
Almidón de cascara de plátano	10 mg
Agua destilada	10 ml
Ácido Acético	5 ml
Glicerina	6 ml – 8 ml

Para la producción del bioplástico, los elementos se introdujeron en un vaso de precipitado. En el primer paso, se procedió a elevar la temperatura del agua en el termostato de inmersión a 70°C para establecer un baño maría. (figura 11). Luego, en un vaso de precipitado de 250 ml, se dispusieron 10 gramos de almidón extraído de la pulpa de la cáscara del plátano, junto con 60 ml de agua destilada. Este vaso se incorporó al baño maría con los elementos mencionados, y se inició la agitación mediante el uso de una varilla de vidrio.

Figura 11

Reactivos en baño maría



A medida que la mezcla gelificaba, se añadieron 6 y 8 ml de glicerina (según tipo de preparación) seguidos de 5 ml de ácido acético. La agitación continuó suavemente durante un período de 20 minutos, resultando en una mezcla uniforme y coherente. Esta mezcla se transfirió a papel aluminio con el propósito de someterla a un proceso de secado en una estufa de convección forzada.

Figura 12

Mezcla y secado de bioplástico



Después de la gelificación del bioplástico, se procede a su transferencia a cajas Petri, las cuales son transportadas a una estufa para someterse a un proceso de secado a una temperatura constante de 60, 70 y 80°C (según tipo de preparación) durante un período de 12 horas (figura 12). Al finalizar esta etapa, el papel aluminio es retirado de la estufa, resultando en la obtención satisfactoria del bioplástico, el cual posteriormente es extraído de dicho papel (figura 13).

Figura 13

Producto final bioplástico generado



Con el bioplástico ya realizado se procede a analizar las propiedades físicas de la materia prima (almidón de cascara de plátano) medidas en laboratorio.

2.1.4. Análisis parte experimental

Después de realizadas las veinte y siete (27) muestras se determinó que el factor de temperatura a 80 °C quema la muestra craquelando por completo la lámina de bioplástico generado (figura 14) esto con cualquier cantidad de glicerina en la mezcla posterior a dejar en horno haciendo que 9 muestras queden inservibles para ser utilizadas en mediciones fisicoquímicas y mecánicas de la materia prima. Así dejando solo las 18 muestras realizadas a 60 y 70 °C siendo la más óptima a 60 °C dejando secar a 12 horas en la estufa de convección forzada ya que a esta temperatura la mezcla se seca sin dejar grietas en la lámina del bioplástico que se genera.

Figura 14

Bioplástico generado a 80 °C



2.1.5. Análisis de la materia prima (almidón de la cascara de plátano)

Se analiza la materia prima (plátano y cascara de plátano) para conocer el peso del plátano y su parte interior (floema), % de almidón, % de humedad, pH, y densidad.

2.1.5.1. Medición de porcentaje de humedad.

Tabla 9

Muestras de las mediciones del contenido de humedad respecto al peso de la laminaseca del plátano

Nº de muestra	Peso de lámina seca (gr)	Contenido de humedad (%)
1	15.2	21.706
2	17.4	30.5
3	18.7	36.6
4	19.3	35.5
5	20.1	48.7
6	25.2	39.2
7	28.7	56.6

8	30.5	60.2
9	39.1	59.9
10	47.6	54.7

Se realizó la medición del porcentaje de humedad del almidón de la cáscara de plátano con el instrumento radwag balanza humedad (figura 16), considerando 10 repeticiones de esta medición las cuales dieron como resultado un promedio de humedad de 40.86 %. Este porcentaje de humedad del puede considerarse medio. Esto puede ser relevante en aplicaciones industriales o de procesamiento de alimentos. Este resultado de humedad contribuye a que esta pectina tenga mayor estabilidad, tiempo de vida útil y menos posibilidades de permitir el crecimiento de microorganismos (Cabarcas, 2012). La figura 15 muestra una relación creciente entre el peso de la lámina seca, es decir, de la parte interior del plátano o del (floema) con el contenido de humedad; se puede observar que entre mayores la cantidad de gr de lámina de seca de plátano mayor es el contenido de humedad. Este resultado es intuitivo, ya que la humedad intrínseca del material una propiedad extensiva del mismo, siendo directamente dependiente de la cantidad de material.

Figura 15

Humedad vs Lámina seca del almidón

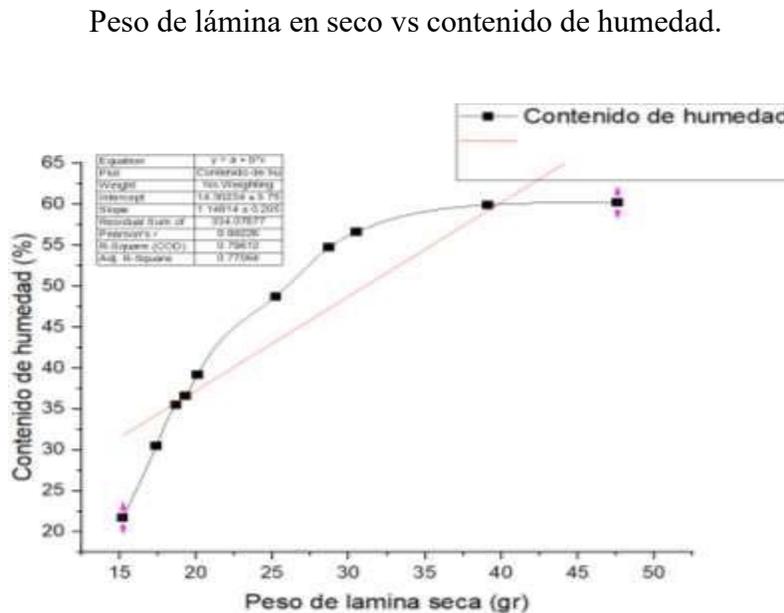


Figura 16

Instrumento Radwag que cuantifica el Porcentaje de Humedad



2.1.5.2. Medición de Ph. Una vez procesado y obtenido el almidón en polvo procedemos a pesar 10 gramos para mezclarlo en un beaker de 100 ml con 50 ml de agua destilada, a este proceso se le hacen 10 repeticiones en donde el pH es medido con un pHmetro WTW (figura 16).

Tabla 10

Valores de pH del almidón extraído

Muestra	pH del almidon extraido
1	5.68
2	5.92
3	5.82
4	5.78
5	5.8
6	5.76
7	5.8
8	5.84
9	5.81
10	5.8
Promedio	5.801 ± 0.06

Figura 17

Medición con pH con Phmetro WTW



Teniendo en cuenta que el Ph es una medida de acidez o alcalinidad en una escala que va de 0 (muy ácido) a 14 (muy alcalino), con 7 siendo neutro. (EPA, S.F). El pH promedio es de 5.8 en las muestras de almidón de cascara de plátano indica que la solución es ligeramente acida. El pH y la temperatura son variables clave que ejercen una influencia substancial en la concentración de glucosa en el jarabe producido a través de la hidrólisis enzimática de los desechos de la cáscara de plátano (Brãnes y Aquila, 2018).

2.1.5.3. Medición pesos y comparación de la materia prima. En la sección experimental del estudio, se evaluaron propiedades físicas: peso del plátano, peso de la cascara y peso del almidón extraído esto de la materia prima, mediante la tomade 27 muestras de plátano en estado verde-maduro, sobre las cuales de los 27 valores dados se calculó un promedio para obtener los resultados.

Tabla 11

Relacion de pesos con materia prima

Muestra	Peso del platano (gr)	Peso de la cascara (gr)	Peso del almidon extraido (gr)	Peso de la cascara (gr) peso del almidon
1	132.1	37.7	23.8	1.58

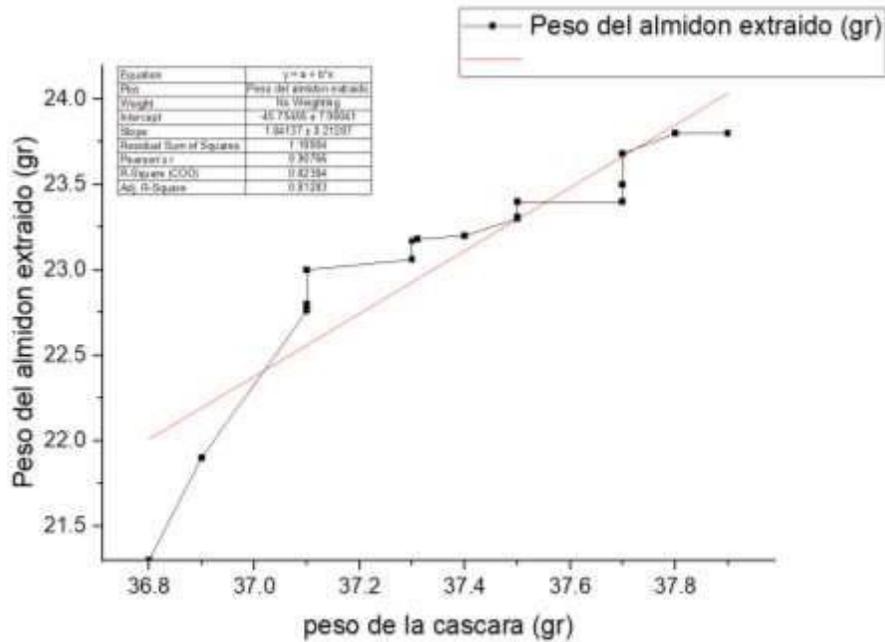
2	130	37.1	23.2	1.59
3	130.5	37.3	23.3	1.6
4	131.3	37.5	23.4	1.601
5	130.8	37.3	23.3	1.6
6	129.8	37.1	23.18	1.6
7	130.6	37.31	23.31	1.6
8	132.1	37.1	23.17	1.61
9	132.7	37.9	23.68	1.601
10	128.9	36.8	23	1.6
11	131	37.4	22.76	1.643
12	131.4	37.5	23.5	1.596
13	129.2	36.9	23.06	1.600
14	132.3	37.8	21.3	1.775
15	131.4	37.5	21.9	1.712
16	131.2	37.5	22.8	1.645
17	131.9	37.7	23.4	1.611
18	131.9	37.7	23.8	1.584
Promedio	131 ±1	37.4 ±0.09	23.1 ±0.4	1.639

El propósito radica en la evaluación de las características físicas del plátano, incluyendo la cuantificación del contenido de gramos presentes en la región interna de la cáscara de plátano, específicamente en el floema, excluyendo la parte no apta para consumo, la cual constituye un 23,1 del peso total. Este valor se emplea para calcular el rendimiento de almidón obtenido de la pulpa interior de la cáscara del plátano, un componente esencial en la producción del bioplástico.

Cabe resaltar que el almidón constituye un 62% de la cascara del plátano, siendo un gran porcentaje de los compuestos que conforman la misma. La cual, se considera una cantidad aceptable que justifica la alternativa de reutilización mediante la fabricación de bioplásticos.

Figura 18

Tendencia entre peso de la cascara de plátano y almidón extraído



En la figura se presenta la tendencia entre los valores de las variables peso de la cascara de plátano y el almidón extraído de la misma, presenta una línea de tendencia lineal con una R^2 de 0.9, Cuando se habla de una relación lineal entre dos variables, significa que la relación entre las dos variables es directamente proporcional, estamos analizando la relación entre el peso de la cáscara de plátano y el peso del almidón extraído, en donde se demuestra que mientras que la variable almidón extraído crece, la variable de relación peso de almidón extraído aumenta igualmente.

2.1.6. Medición pruebas mecánicas (tensión y deformación)

2.1.6.1. Creación indumentaria para pellets. Para la medición de las propiedades mecánicas del bioplástico realizado es necesario el control de la presión y la realización de los moldes para ser sometido a esta.

El molde fue realizado con un tubo de hierro soldado en conjunto con una lámina de hierro, el tubo que se utilizó para el molde tiene unas medidas de 17 mm de diámetro interno y 13,7 cm de altura así obteniendo un volumen de 31,1 cm³ para el molde (figura 17).

Figura 19

Molde para la realización de pellets



2.1.6.2. Realización los pellets del bioplástico generado. Luego de realizado el molde necesario se procede a pesar 30 gramos del bioplástico generado anteriormente, este haciendo las muestras pedazos más pequeños para someterlos a una presión controlada en una prensa hidráulica. Para la realización de los pellets se hizo un diseño de experimentos en donde se varió la temperatura de secado en horno para el pellet y el tipo de preparación con el que se realizó el bioplástico anteriormente, esto para así verificar si hay diferencia en la resistencia de cada uno de los pellets.

2.1.6.3. Diseño experimental para pellets. Para esto se realizan 18 pruebas experimentales en total, las cuales corresponden a 9 muestras de bioplástico con primer preparación y 9 muestras de bioplástico con el segundo preparación estos mencionados en (tabla 4), estas muestras se subdividirán según la temperatura de secado del pellet es decir de las 9 muestras realizadas con el primer preparación la mitad será secado a 80 °C y la otra mitad a 100°C, el proceso se repetirá para el bioplástico realizado con el segundo preparación así obteniendo el total de las 18 muestras para la medición de pruebas mecánicas.

Figura 20

Pesaje del bioplástico



Los 10 gramos de bioplástico pesado es colocado en el molde creado para así someterlo a una máquina de prensado con el fin de obtener pellets más firmes.

Figura 21

Bioplástico siendo prensado y su producto



En la figura 19, se puede observar el procedimiento de prensado mediante una maquina prensadora,destacando el producto final que consiste en la formación de pellets. Estos pellets se destinan específicamente para llevar a cabo pruebas que permitirán evaluar las pruebas mecánicas.

Figura 22

Realización de pellets a temperatura controlada



Los pellets obtenidos tras la compresión fueron secados en horno a temperaturas de 90 y 100 °C. Este proceso permitió eliminar eficazmente la humedad sin comprometer la integridad del bioplástico. Además, contribuyó a consolidar la estructura de los pellets, lo que indica un proceso exitoso y una mayor estabilidad estructural del producto final. Esto lo convierte en un material más adecuado para llevar a cabo pruebas mecánicas.

2.1.7. Evaluación de las propiedades mecánicas

La medida de pruebas mecánicas, como la tensión y la elongación, en bioplásticos es fundamental para evaluar su comportamiento ante fuerzas externas y su idoneidad para aplicaciones específicas. Estas pruebas proporcionan información crucial sobre la resistencia, la flexibilidad y la durabilidad del material, lo que permite determinar su rendimiento en diversas condiciones de uso.

2.1.7.1. Medición de tensión en bioplástico. La evaluación de la tensión se llevó a cabo mediante un sistema adaptado a la norma ASTM D 638 la cual es el estándar para pruebas mecánicas en plásticos a las condiciones requeridas, para lo cual se empleó una balanza para medir la fuerza aplicada al pellet.

Se diseñó una mordaza utilizando una impresora 3D con polietileno de alta densidad, con el propósito de asegurar el pellet en la parte superior. Este dispositivo se complementó con cinta de papel y tiras de amarre para prevenir el desplazamiento de la mordaza durante la aplicación de fuerza. Además, se implementó una segunda mordaza en la parte inferior del pellet, utilizando el mismo sistema de sujeción y una base para tensar el sistema. En la base se incorporó un tornillo asegurado con una tuerca, el cual se giraba para simular la fuerza ejercida sobre el pellet. Este montaje permitió simular las condiciones necesarias para calcular la tensión de los pellets de bioplástico elaborados a partir de almidón de cáscara de plátano.

La elongación del pellet se determinó en función de la fuerza aplicada y la distancia, calculada mediante cada vuelta realizada en el sistema.

Figura 23

Sistema adaptado para tensión



El material exhibe una respuesta ante la aplicación de fuerza hasta alcanzar un punto crítico, conocido como límite de deformación elástica, donde la deformación es completamente reversible. Más allá de este límite, se produce una deformación permanente, denominada deformación plástica, hasta llegar al punto de ruptura, donde la fractura del material ocurre. En el contexto de la experimentación, se observó que el bioplástico empleado para las pruebas mostró una tendencia hacia la fragilidad, caracterizada por una susceptibilidad a la fractura ante cargas significativas.

2.2. Resultado mediciones tensión y elongación

Tabla 12

Experimento 1. Resultado mediciones pruebas mecanicas a 80 °C con 1 preparacion de bioplástico

Experimento 1, Preparación 1						
N. Vueltas	Long Inicio (mm)	Cambio de longitud	Deformación	Fuerza Newton	Elongación	Tensión (N/m ²)
1	36,4	1,25	3,434066E-02	7,10	5,68	31,28
2	36,4	2,5	0,068681319	10,36	4,14	45,62
3	36,4	3,75	0,103021978	13,13	3,50	57,85
4	36,4	5	0,137362637	16,95	3,39	74,65
5	36,4	6,25	0,171703297	19,49	3,12	85,84
6	36,4	7,5	0,206043956	21,64	2,89	95,35
7	36,4	8,75	0.240384615	22,07	2,52	97,20

Tabla 13

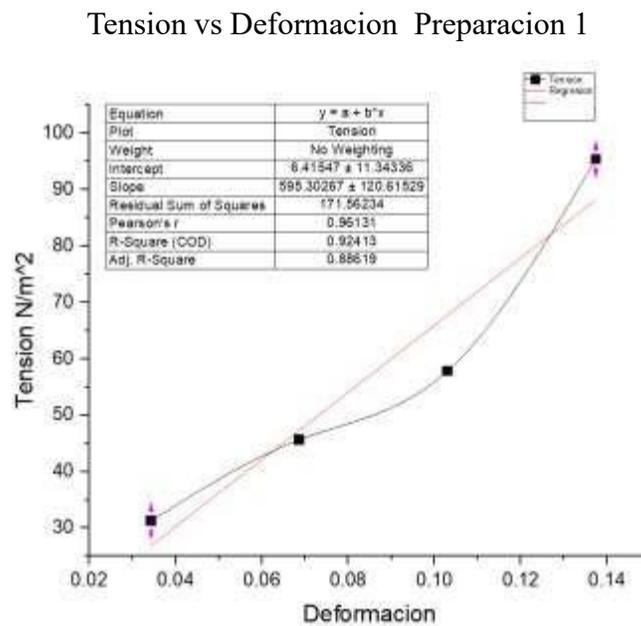
Experimento 1. Resultado mediciones puebas mecanicas a 80 °C con 2 preparacion de bioplástico

Experimento 1, Preparación 2						
N. Vueltas	Long Inicio (mm)	Cambio de longitud	Deformación	Fuerza Newton	Elongación	Tensión (N/m ²)
1	36,4	1,25	0.034340659	6,86	5,49	30,24
2	36,4	2,5	0,068681319	9,93	3,97	43,76
3	36,4	3,75	0,103021978	10,98	2,97	48,38
4	36,4	5	0,137362637	15,71	3,14	69,21
5	36,4	6,25	0,171703297	18,53	2,97	81,65
6	36,4	7,5	0,206043956	20,79	2,77	91,59

Tras realizar las pruebas de tensión y obtener los resultados, se presentan las Tablas 12 y 13, que corresponden al primer experimento con sus respectivas repeticiones, divididas en Preparaciones 1 y 2. Estas tablas detallan las variables utilizadas para calcular, en primer lugar, la deformación y posteriormente la tensión. Además, se presentan las gráficas, en las cuales, mediante regresión lineal, se determina el módulo de Young, indicando la resistencia máxima del material antes de su punto de quiebre. Este punto de quiebre se ha excluido tanto de las tablas como de las gráficas para evitar distorsiones en la representación gráfica.

Figura 24

Experimento 1. Medida de pruebas mecánicas a 80 °C

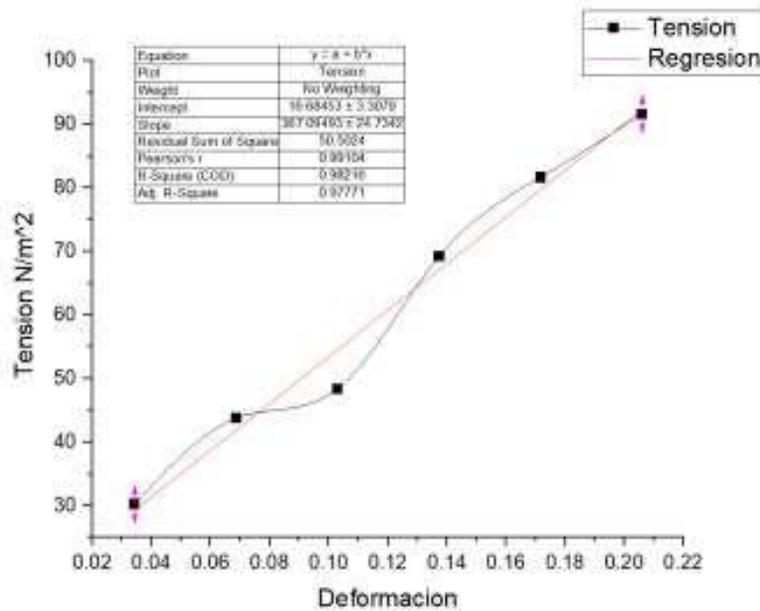


De acuerdo a la figura 24, la pendiente indica que, por cada unidad de aumento en la deformación, la tensión aumenta en promedio en 595.3 unidades. Sugiere una relación lineal positiva notable entre la tensión y la deformación, en la intersección cuando la deformación es cero, la tensión es aproximadamente 6.41 unidades. El coeficiente de determinación de R al cuadrado es extremadamente alto (0.92), lo que indica que el modelo de regresión se ajusta bien a los datos observados, esto quiere decir que para deformar este material se requiere una tensión de 593 N/m².

Figura 25

Experimento 1. Medidas de pruebas mecánicas a 80 °C

Tension vs Deformacion 2 Preparacion

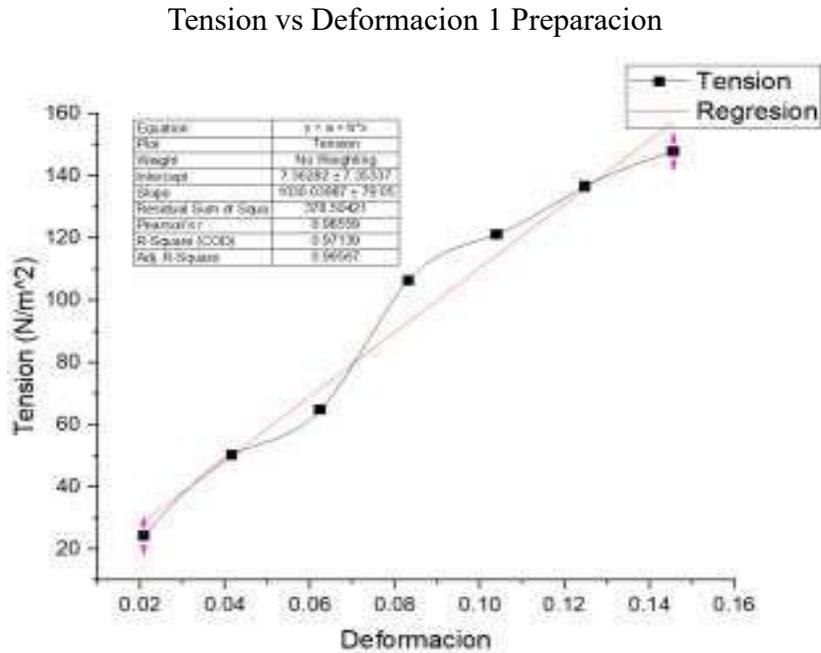


Teniendo en cuenta los datos obtenidos mediante la figura 25, se evidencia que al igual que en el primer preparación, la pendiente sugiere una relación lineal positiva entre los datos de tensión y la deformación, con un aumento promedio de 367.09 unidades en la tensión por cada unidad de aumento en la deformación, lo cual, hace posible prever que el material cuenta con una tendencia semejante a la primera preparación en relación al comportamiento desde el punto de vista mecánico.

La intersección indica que cuando la deformación es cero, la tensión es aproximadamente 16.685 unidades. Esta tensión inicial puede considerarse como la resistencia inherente del material antes de la deformación.

Figura 26

Experimento 2. Medida de pruebas mecánicas a 80°C



En la figura 26, se evidencia que, dado el alto coeficiente de determinación, podemos confiar en la capacidad de esta ecuación para predecir la tensión para una deformación dada en esta preparación. Con un coeficiente de determinación de 0.971, lo que sugiere un buen ajuste del modelo a los datos observados, por lo que la variabilidad en la tensión puede ser explicada por la deformación en esta preparación.

En la figura 27, se observa que al igual que en la primera preparación, la pendiente sugiere una relación lineal positiva, con un aumento promedio de 1066 unidades en la tensión por cada unidad de aumento en la deformación. Esto indica que el material sigue una tendencia similar en términos de comportamiento mecánico a la primera preparación.

Figura 27

Experimento 2. Medida de pruebas mecánicas a 80 °C



Figura 28

Experimento medida de pruebas mecánicas a 80 °C



Según los datos presentados en la figura 28, la pendiente sugiere una relación lineal positiva entre la tensión y la deformación. Se observa que, por cada incremento unitario en la deformación, la tensión aumenta en promedio en 356.28 unidades. En el punto de intersección, donde la

deformación es cero, la tensión se sitúa en aproximadamente 15.824 unidades. El coeficiente de determinación es notablemente elevado, alcanzando un valor de 0.9562. Este alto valor indica que el modelo de regresión se ajusta de manera excelente a los datos observados.

Figura 29

Experimento 3. Medida de pruebas mecánicas a 80 °C



Basándonos en los resultados representados en la figura 29 Cada incremento unitario en la deformación se traduce, en promedio, en un aumento de 409.47 unidades en la tensión. Además, al iniciar con una deformación de cero, la tensión inicial se estima en alrededor de 9.2538 unidades. El coeficiente de determinación exhibe un valor extremadamente alto de 0.9532, indicando un ajuste excepcionalmente preciso del modelo de regresión a los datos observados.

En la figura 29, se destaca la confiabilidad de la ecuación en la predicción de la tensión para una deformación específica en esta preparación, debido al elevado coeficiente de determinación. Con un de 0.96, lo que implica que la variabilidad en la tensión puede ser explicada en gran medida por la deformación en este contexto de análisis.

Figura 30

Experimento 4. Medida de pruebas mecanicas a °C

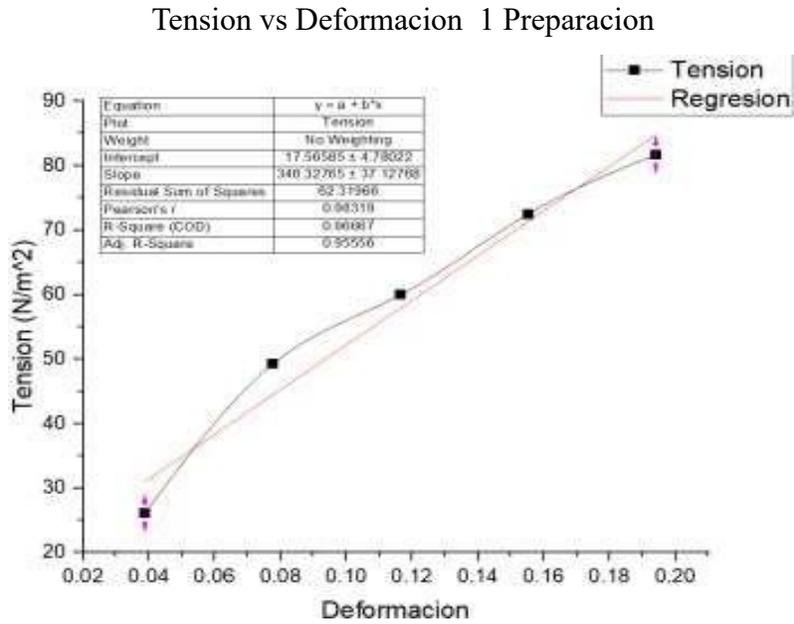
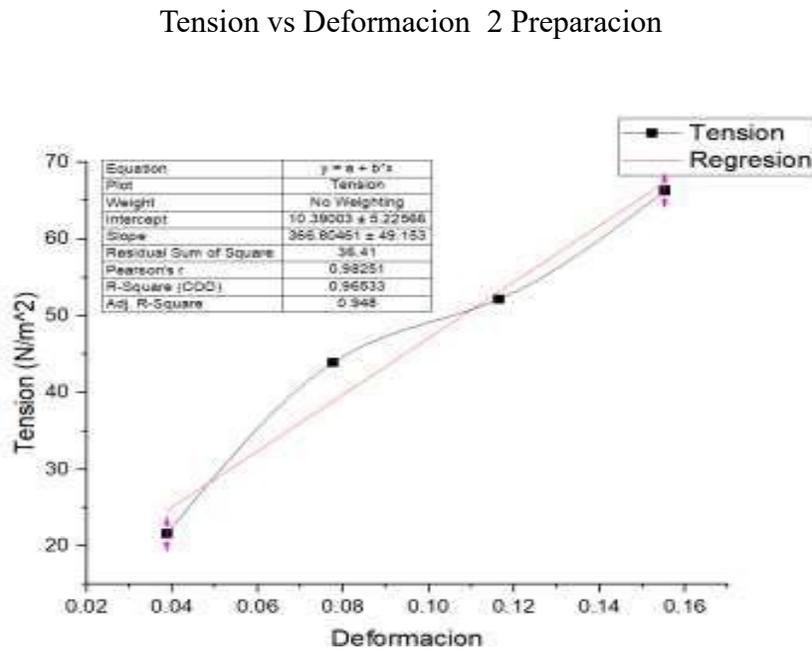


Figura 31

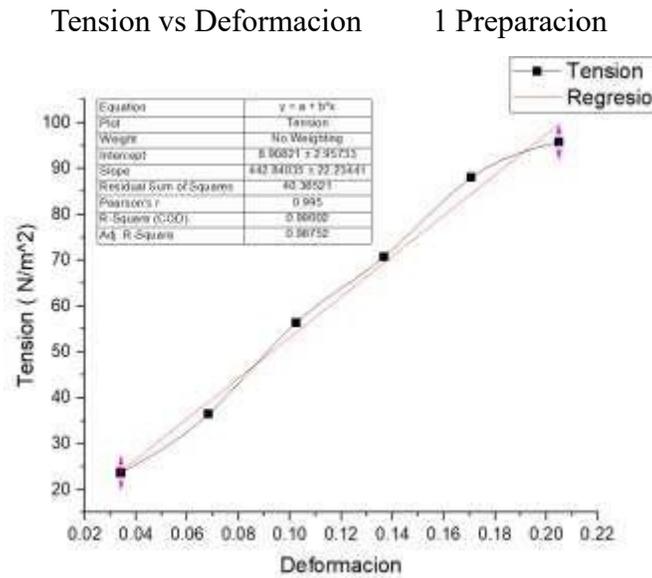
Experimento 4. Medida de pruebas mecanicas a 80 °C



En la figura 31 se observa que el modelo tiene una alta capacidad predictiva de la tensión para una deformación en la preparación, por el coeficiente de determinación significativo. Con un coeficiente de ajuste de 0.9542, por lo que indica que la variabilidad en la tensión puede ser atribuida en gran medida a la deformación en este escenario específico.

Figura 32

Experimento 5. Medida de pruebas mecánicas a 100 °C



De acuerdo a la figura 32, se observa una distribución lineal, la cual indica la Resistencia a la deformación en cuanto se aplica más tensión al objeto de estudio. Por otro lado, se muestra el coeficiente de ajuste, representado por el R^2 , el cual tiene un valor de 0,9946, debido al acercamiento a la 1, refleja una gran relación entre las dos variables.

Según el análisis de la figura 33, se aprecia una relación lineal evidente, lo cual sugiere que la resistencia a la deformación aumenta a medida que se aplica más tensión al objeto en estudio. Además, el coeficiente de ajuste, representado por R^2 y con un valor de 0,9275, indica una fuerte correlación entre las dos variables. Este valor cercano a 1 sugiere una relación altamente significativa entre la tensión aplicada y la resistencia a la deformación del objeto.

Figura 33

Experimento 5. Medida de pruebas mecánicas a 100 °C

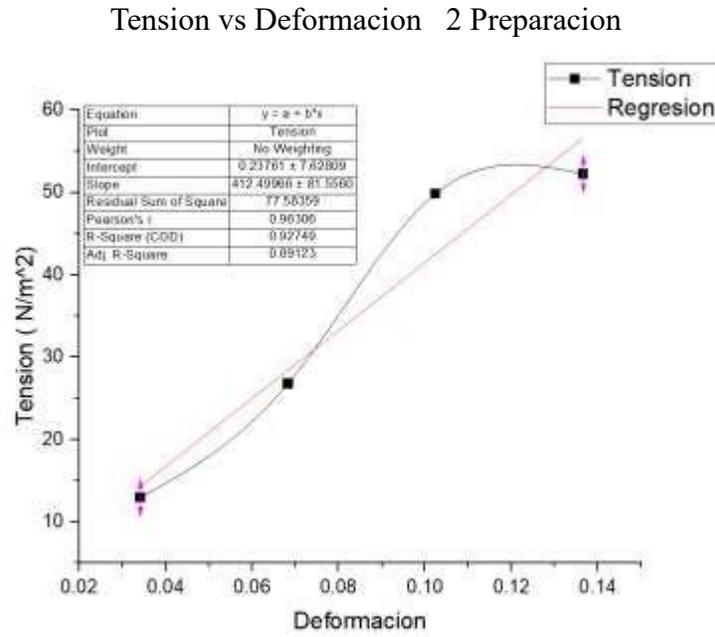
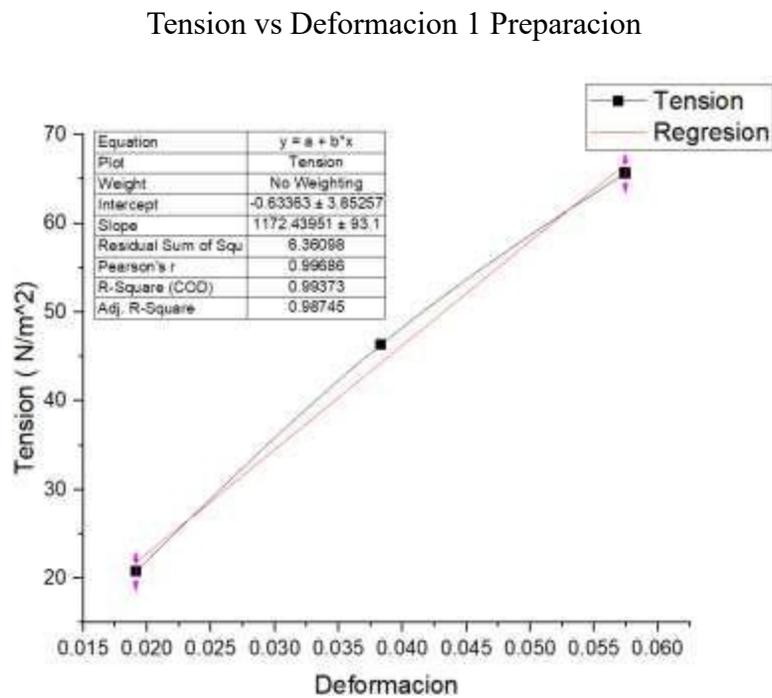


Figura 34

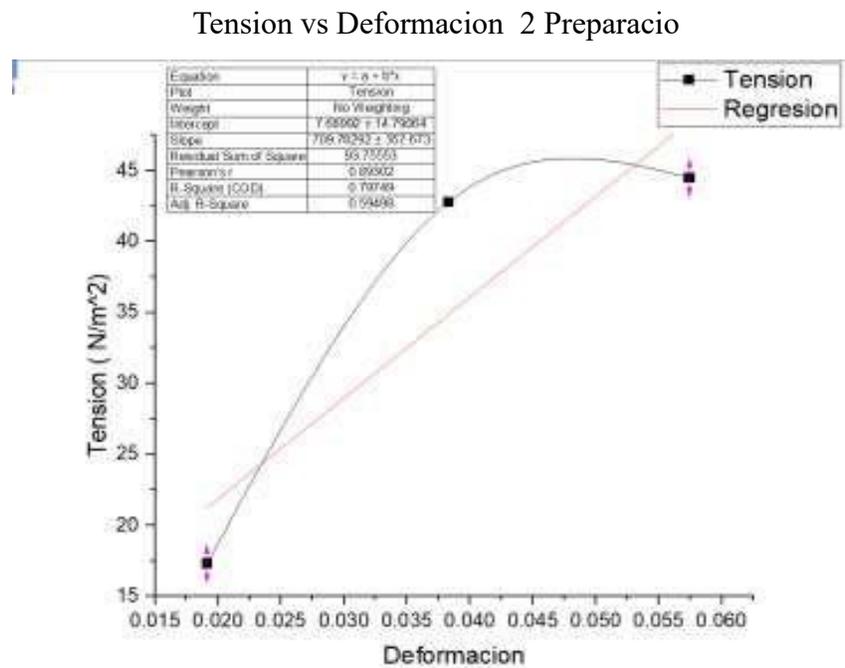
Experimento 6. Medida de pruebas mecánicas a 100 °C



La representación gráfica en la figura 34 revela una tendencia lineal, indicando que a medida que se incrementa la tensión aplicada al objeto, su resistencia a la deformación también aumenta. Este comportamiento queda respaldado por el coeficiente de ajuste, representado por R^2 , el cual alcanza un valor de 0.9937. Este alto valor sugiere una estrecha relación entre las dos variables, reforzando la idea de que la resistencia a la deformación está fuertemente influenciada por la cantidad de tensión aplicada.

Figura 35

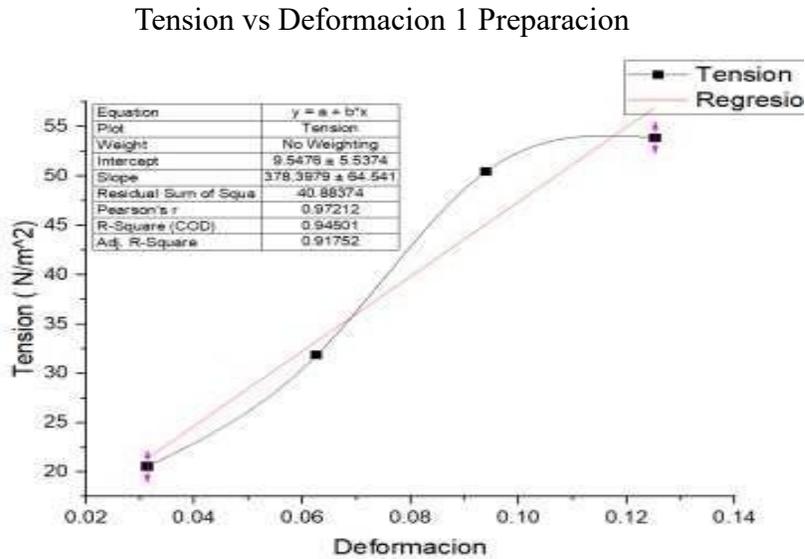
Experimento 6. Medida de pruebas mecánicas a 100 °C



El gráfico correspondiente a la figura 35 exhibe una tendencia lineal que indica una relación entre la cantidad de tensión aplicada al objeto y su resistencia a la deformación. El coeficiente de determinación (R^2), con un valor de 0.7975, señala que aproximadamente el 79.75% de la variabilidad en la resistencia a la deformación puede explicarse por la cantidad de tensión aplicada. Esta cifra sugiere una relación moderadamente significativa entre las dos variables, lo que respalda la hipótesis de que la resistencia a la deformación está influenciada por la cantidad de tensión aplicada, aunque otros factores también pueden contribuir a esta variabilidad.

Figura 36

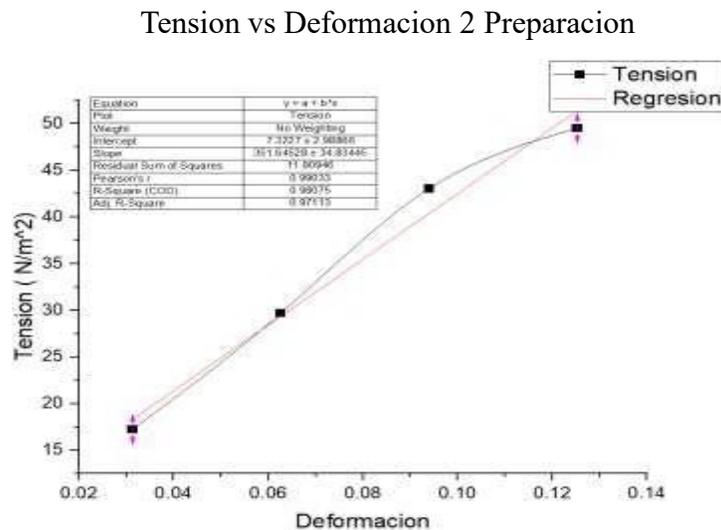
Experimento 7. Pruebas mecánicas a 100 °C



En la figura 36, la ecuación cuenta con una alta capacidad predictiva para estimar la tensión correspondiente a una deformación específica en esta preparación se confirma un ajuste sólido del modelo a los datos experimentales.

Figura 37

Experimento 7. Pruebas mecánicas a 100 °C

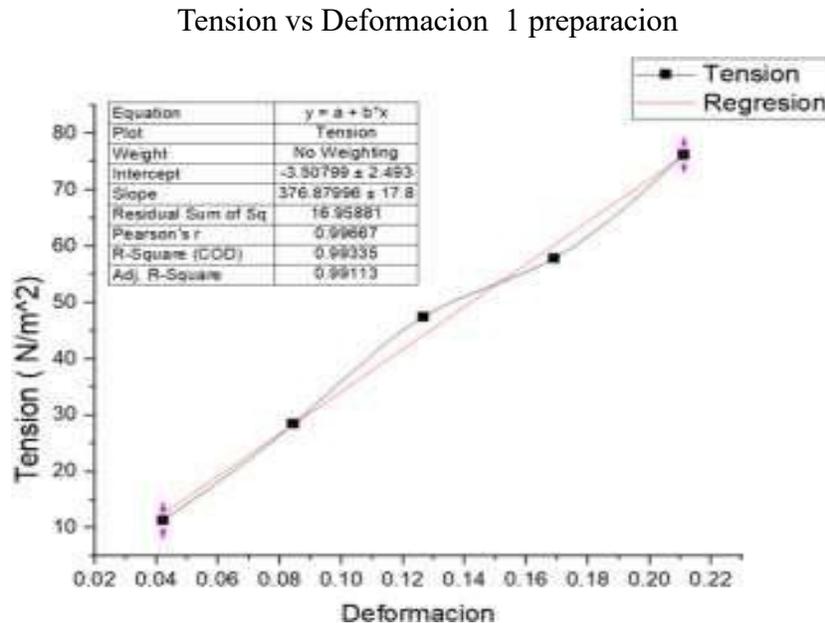


Según lo representado en la figura 37, La pendiente refleja un aumento promedio de 351.65 unidades en la tensión por cada unidad de incremento en la deformación, lo que sugiere una continuidad en el comportamiento mecánico del material entre ambos casos.

El punto de intersección indica que cuando la deformación es nula o cero, la tensión alcanza aproximadamente las 7.3227 unidades.

Figura 38

Experimento 8. Medida de pruebas mecánicas a 100 °C



Basándonos en los datos de la figura 38, se reafirma una relación lineal positiva entre la tensión y la deformación. La pendiente revela un aumento medio de 357.24 unidades en la tensión por cada unidad de incremento en la deformación, cuando la deformación es cero, la tensión inicial se aproxima a las 0.9867 unidades, reflejando la resistencia inherente del material antes de cualquier deformación.

Figura 39

Experimento 8 medida de pruebas mecánicas a 100 °C

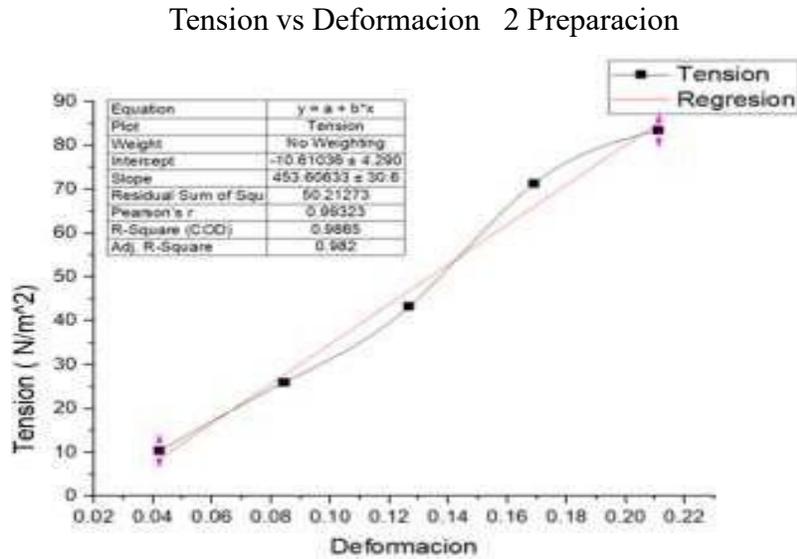
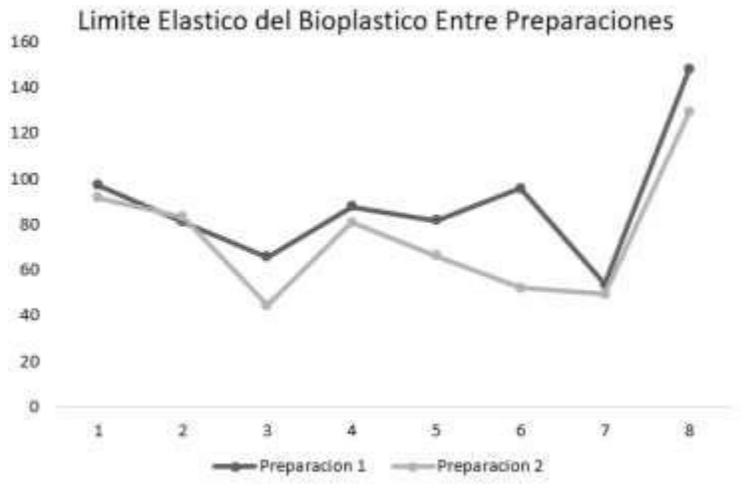


Figura 40

Limite elástico entre preparación 1 y 2 del bioplástico



Según los datos extraídos de la figura 39, existe una relación lineal entre la tensión y la deformación. La pendiente indica un aumento medio de 453.61 unidades en la tensión por cada

unidad de incremento en la deformación, lo que sugiere una coherencia en el comportamiento mecánico del material en ambos casos.

Los resultados de las preparaciones revelan una discrepancia en el punto de tensión crítica, el cual indica la máxima extensión que puede alcanzar el bioplástico antes de romperse esto quiere decir que los pellets de la preparación uno presenta un mayor módulo de Young. Se observa que la tensión alcanzada por la preparación número 1 supera a la preparación número 2, especialmente cuando la temperatura de secado de los pellets es de 80 °C representado que esta mezcla posee una mayor estabilidad.

2.3. Análisis estadístico de tensión

A partir de los datos obtenidos del módulo de Yong, se realiza un análisis estadístico para ver si existen diferencias entre el tipo de preparación y la temperatura de secado. Para ello se utilizó el programa estadístico Rstudio versión 1.6.0. mediante un análisis de Kruskal Wallis, con una confiabilidad del 95% y teniendo en cuenta el valor P, el cual indica que si es mayor a 0,05 no hay diferencias significativas de lo contrario si hay diferencias significativas (Julio et al. 2019). En el análisis de la prueba de Kruskal Wallis se puede observar si hay diferencias significativas entre los dos factores. teniendo en cuenta en valor P de 0,4386 indica que no hay diferencias significativas, esto quiere decir que los factores no contribuyen a cambios que puedan sersignificativos.

Tabla 14

Datos ingresados al programa Rstudio

Preparación	Temperatura	Módulo de Yong
-1	-1	434.396
1	-1	524.372
-1	1	641.880
1	1	505.013

2.3.1. Degradabilidad térmica

La degradabilidad térmica se puede definir como el proceso mediante el cual la acción de la temperatura provoca una pérdida de propiedades del material y así mismo ver el comportamiento que tuvo el biopolímero ante altas temperaturas, para estas pruebas se adaptó la norma ASTM E1354-22b la cual dicta Método de prueba estándar para tasas de liberación de calor y humo visible para materiales y productos utilizando un calorímetro de consumo de oxígeno, en este caso se tomo datos de monóxido de carbono que se desprender al momento de exponer el material a altas temperaturas. Se diseño un sistema que consiste en, una incineradora la cual tenía en su parte superior una chimenea que permitía la toma de datos, de manera que se utilizó un sensor, este estuvo conectado hacia el computador al cual se le instalo un programa (ArduinoIDE 2.3.2) que estuvo recopilando los datos.

Figura 41

Montaje para la captación de monóxido de carbono



Para evaluar las emisiones de monóxido de carbono del bioplástico obtenido, se tuvo en cuenta la medición de polímeros de alta densidad (botellas) y otro de baja densidad (bolsas), Además una medición del crisol solo para ver también las emisiones del mismo, para poder comparar las emisiones al momento de someterlos a calor. Por otro lado, el sensor nos permitió ver los valores,

pero en unas unidades digitales debido a esto se realizó una serie de pasos para pasar a partes por millón (ppm) para ello se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$V_{RL} = \frac{1,3601}{4095} * 4,28 * V_{ADC}$$

$$X = \frac{0,918}{V_{RL}} * \frac{(4,28 - V_{RL})}{(4,28 - 0,918)}$$

$$Y = 103,3478 * X^{-1,4808}$$

Donde:

V_{ADC} = Valor que entrega el sensor

$$Y = 103,3478 * X^{-1,4808}$$

Y = Concentración en partes por millón (ppm) de CO.

Por consiguiente, se homogenizó las concentraciones para que las gráficas partieran desde 0. Después se calcularon las concentraciones de CO menos las del crisol, para poder establecer el área bajo la curva únicamente de CO. El área bajo la curva indica la cantidad de CO que se liberó durante los 235 primeros segundos y se midió con el método de trapecios, para poder calcular el área entre cada punto, utilizando la siguiente formula:

$$\text{Área} = \frac{(y - y_{\text{crisol}_{+1}} + y - y_{\text{crisol}_1}) * (\text{tiempo}_{+1} - \text{tiempo}_1)}{2}$$

+1 = siendo el dato siguiente

1 = dato de la misma fila

Finalmente se tomo un dato representativo del área siendo la suma de todas las áreas de los primeros 235 datos de bioplástico obtenido, plástico de alta densidad (botella), plástico de baja densidad (bolsas) y crisol.

Tabla 15

Área bajo la curva

Bioplástico 1 preparación	Bioplástico 2 preparación	Plástico alta densidad	Plástico baja densidad
26923,3256	8151,12851	768,138828	2738,83025
4801,70407		1465,62886	4437,3919
		1848,88916	4124,13713

Mediante las siguientes representaciones graficas se puede observar el comportamiento del monóxido de carbono (CO) del bioplástico de las 2 preparaciones y los dos polímeros con respecto al tiempo.

Figura 42

Bioplástico de la preparacion 1

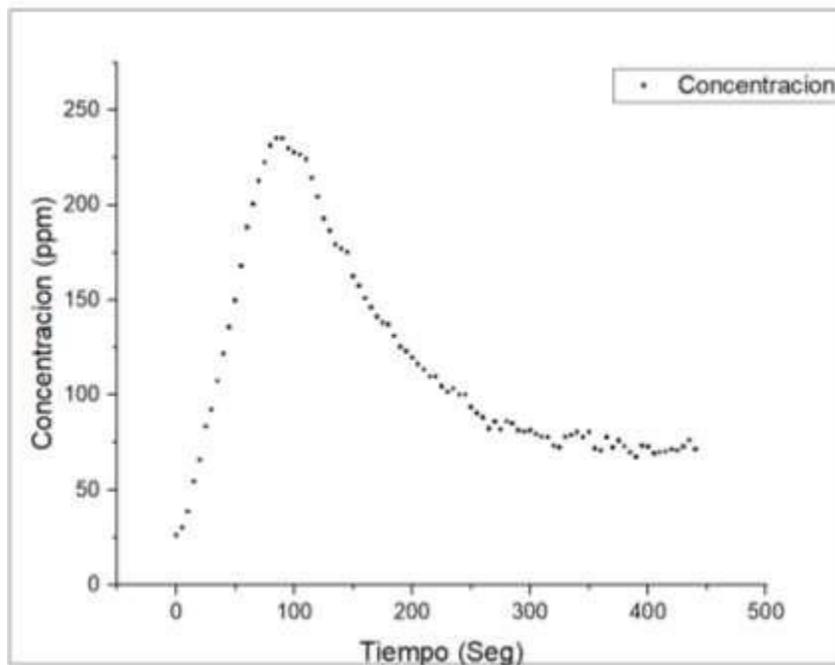


Figura 43

Bioplástico del preparacion 2

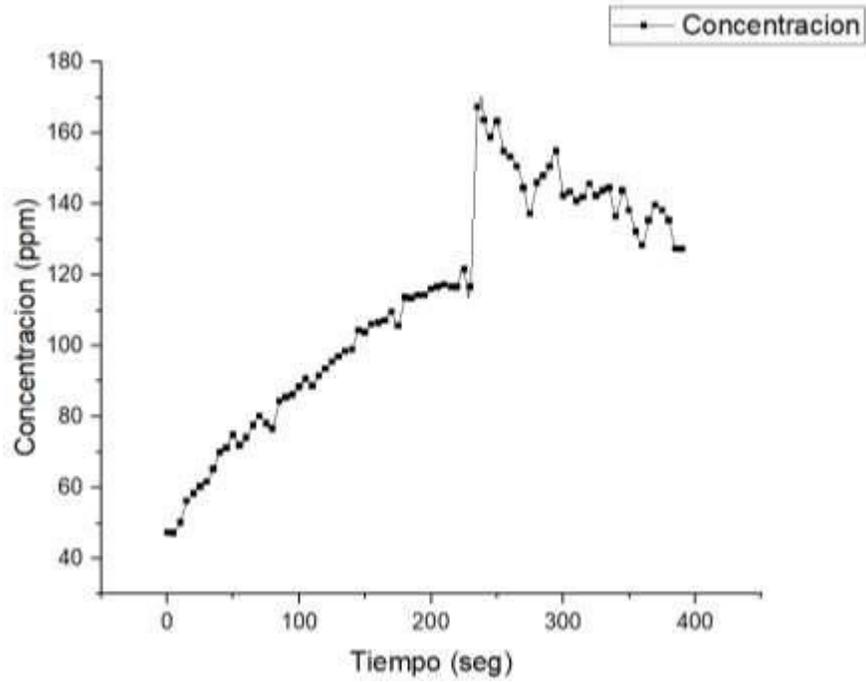
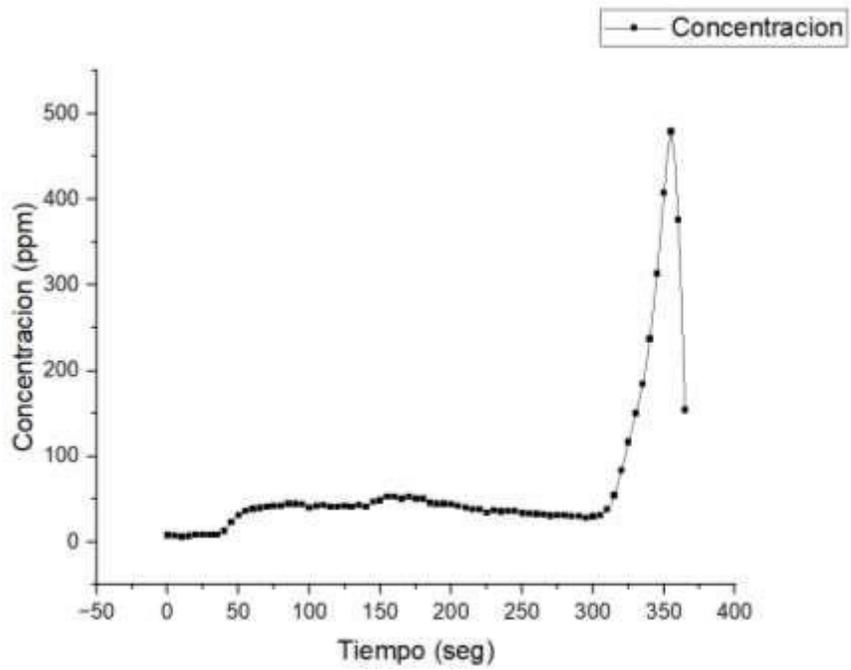


Figura 44

Bioplástico del preparacion 1



De acuerdo a las figuras 45 y 46 una estabilidad después de tener su pico más alto de concentración de monóxido de carbono (CO), mientras que en la figura 47 se observa que tiene un comportamiento casi parecido ya que después de tener su pico más alto de monóxido de carbono (CO) se aprecia que este tiende a disminuir, al igual que las otras gráficas.

Figura 45

Plástico de alta densidad

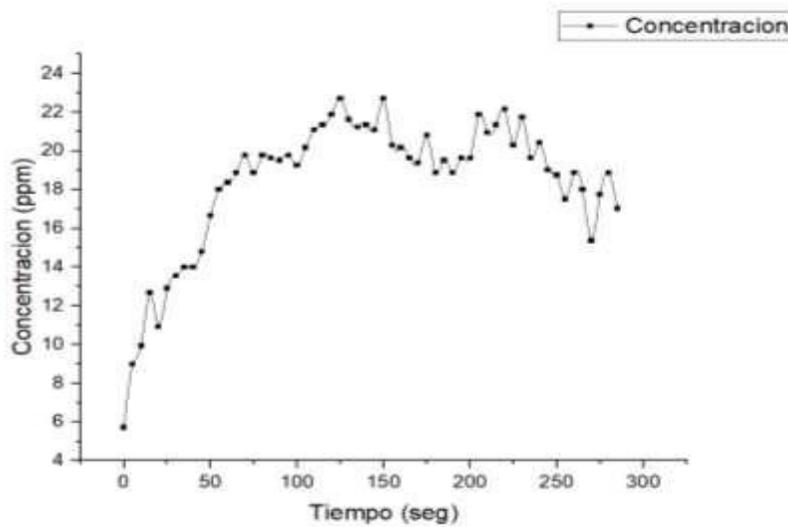


Figura 46

Plástico de alta densidad

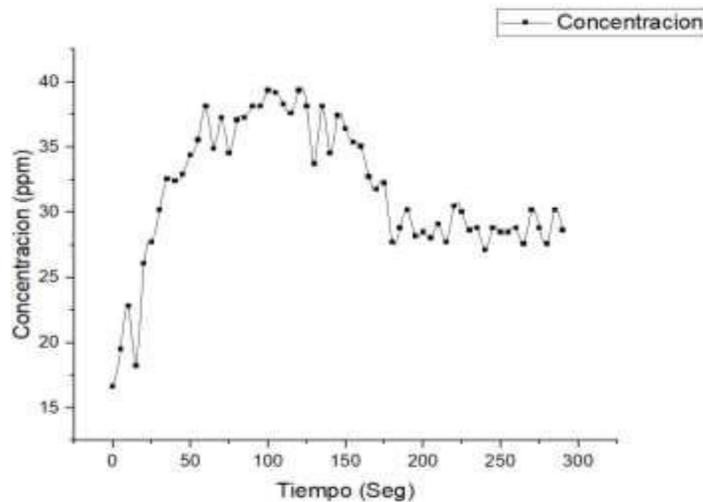


Figura 47

Plástico de alta densidad

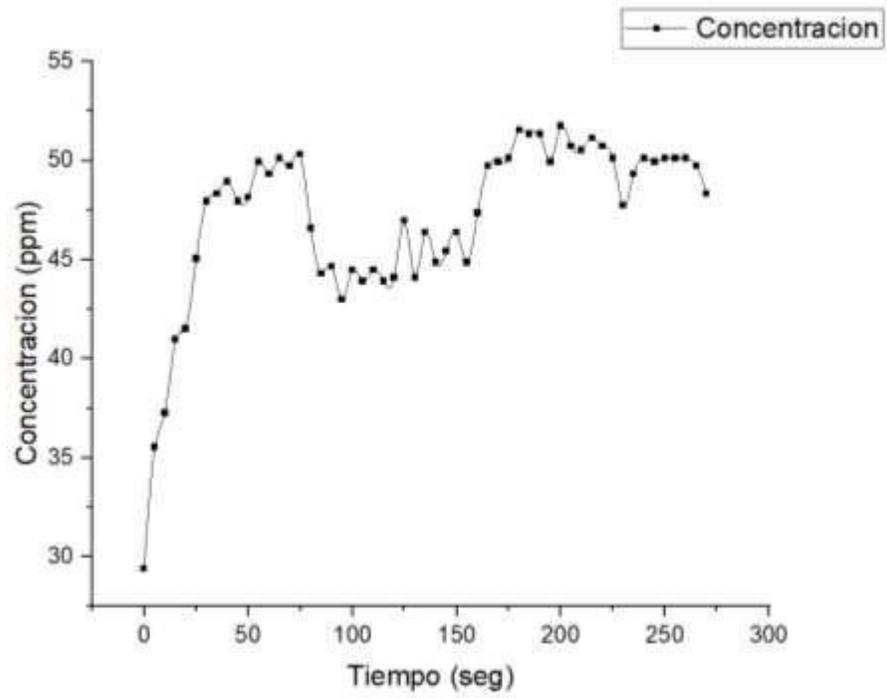


Figura 48

Plástico de baja densidad

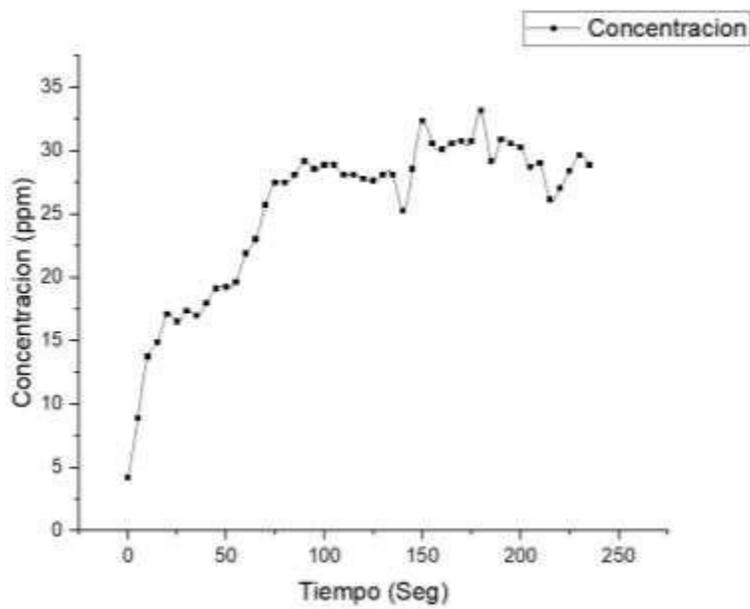


Figura 49

Plástico de baja densidad

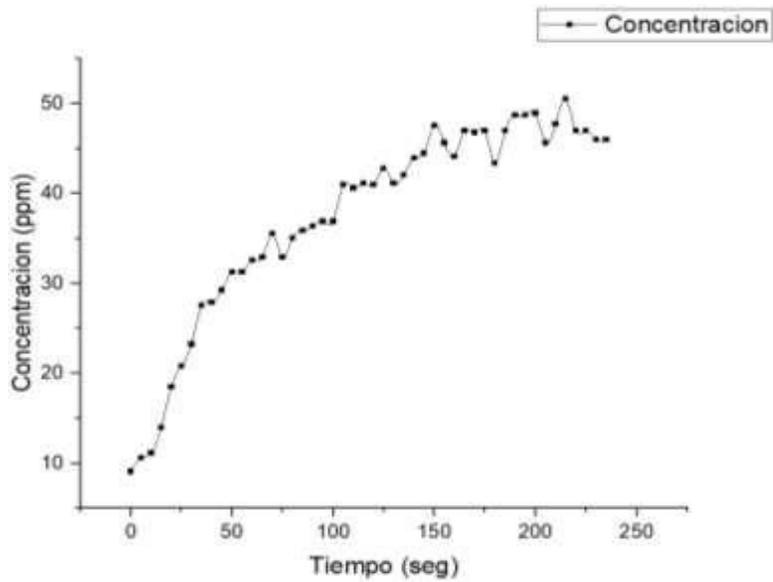
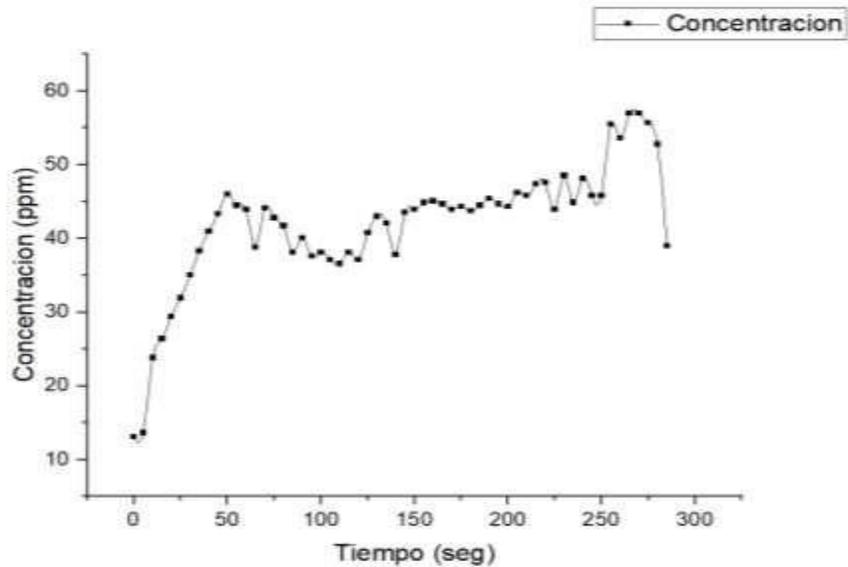


Figura 50

Plástico de baja densidad



En las figuras de plástico de alta y de baja densidad que corresponde a las figuras 45, 46, 47, 48, 49 y 50, se observa como a pesar de tener un aumento de concentración tiende a

estabilizarse, y también presentan una mayor resistencia ya que las concentraciones de monóxido de carbono (CO) son más frecuentes, ya que los plásticos pueden aguantar una mayor temperatura.

2.3.2. Análisis estadístico de degradabilidad térmica

Los resultados obtenidos fueron analizados a través del programa estadístico Rstudio versión 1.6.0. mediante un análisis de normalidad con la prueba de Shapiro Wilk, una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis con una confiabilidad del 95% y diferencias significativas (valor $P < 0,05$) y un test de Dunn. Este test, permite hacer múltiples comparaciones por pares basadas en aproximaciones del estadístico para ver las diferencias en este caso entre los factores (Dinno y Dinno, 2017).

Para la prueba de normalidad se optó por Shapiro-Wilk, dado que el conjunto de datos no superaba los 50 máximos que esta prueba puede manejar. Para comprender la distribución de los datos recopilados a partir de la prueba de degradabilidad térmica, específicamente centrándonos en los datos de bioplástico, plástico de alta densidad y plástico de baja densidad, la cual indicó un valor P de 0.04394, esto quiere decir que los datos no tienen una distribución normal.

A partir del dato de normalidad, se realiza una prueba no paramétrica en este caso es la de KruskalWallis, la cual nos indica si existen diferencias significativas entre los factores, el valor P es de 0.04, esto quiere decir que entre los factores hay diferencias, pero para ser más exactos con ello, se realizó un test de Dunn, la cual permite ver detalladamente en que factores hay diferencias, los resultados obtenidos en el test de Dunn, indican que entre el bioplástico y plástico de alta densidad existen diferencias significativas.

2.4. Discusión

Los resultados obtenidos de humedad en el almidón de la cáscara de plátano evidencian una diferencia significativa en los niveles de humedad entre el almidón de la cáscara de plátano utilizado en nuestra investigación y el proveniente del trópico boliviano. Mientras que nuestro promedio de humedad se sitúa alrededor del 40.86%, el almidón boliviano exhibe la investigación de López (2020). Muestra un contenido de humedad considerablemente mayor, alcanzando

un 84.29%. Este contraste puede atribuirse a diversas variables, como las condiciones climáticas, el proceso de obtención del almidón, y las características inherentes a la variedad de plátano utilizada. Estas discrepancias resaltan la importancia de considerar la procedencia y las condiciones de producción al interpretar y comparar resultados en estudios relacionados con materiales biodegradables derivados de productos agrícolas

Los datos de pH que reveló las muestras de almidón de cáscara de plátano presentan un pH promedio de 5.8, sugiriendo una leve acidez. En contraste, a la investigación de Calero (2021). mostró un pH neutro en todas las muestras. Estas diferencias pueden deberse a variables como las condiciones de cultivo y los métodos de procesamiento. Es esencial considerar estas disparidades al aplicar el almidón en la industria

Las pruebas de resistencia a la tensión se llevaron a cabo conforme a la norma ASTM D638-10 para plásticos la cual es la que rige la metodología y/o procedimiento que se debe respetar para realizar pruebas mecánicas en plásticos, esta norma establece un rango aceptable de 14 a 140 MP para la tensión. Los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio para medir tensión del bioplástico comprimido a presión y temperatura controlada para ser convertido a pellets, arrojaron valores inferiores a 1 MPa en algunos casos, lo cual no cumple con los estándares establecidos por la norma. Esto indica que las propiedades físicas del bioplástico producido en el laboratorio son deficientes en comparación con los plásticos comerciales.

Los resultados obtenidos en este estudio sobre las propiedades mecánicas de los bioplásticos son consistentes con investigaciones previas en el campo. Varios autores han encontrado que la fragilidad es una característica común en los bioplásticos, especialmente cuando se someten a cargas significativas (Smith y Jones, 2022). Pero esta susceptibilidad a la fractura puede limitar su aplicabilidad en ciertos contextos, lo que destaca la importancia de comprender y mejorar su resistencia mecánica (García, 2021).

Por otro lado, la relación lineal positiva entre la tensión y la deformación observada en este estudio es coherente con la teoría de la mecánica de materiales. Sin embargo, es importante considerar que esta relación puede variar según la composición específica del bioplástico y el

método de procesamiento utilizado (Fernández y López, 2019). Investigaciones adicionales podrían explorar cómo diferentes factores influyen en esta relación para optimizar el diseño de bioplásticos con propiedades mecánicas mejoradas.

En cuanto a las pruebas estadísticas realizadas, los resultados muestran que no hay diferencias significativas entre las preparaciones evaluados en términos de resistencia mecánica. Esto sugiere que las condiciones de secado y tensión mecánica no tienen un impacto significativo en la resistencia del material en el rango de valores analizados. Sin embargo, es importante destacar que estos resultados pueden variar según los parámetros específicos de procesamiento y las características del bioplástico utilizado (Ramírez, 2020).

La degradabilidad térmica es un aspecto crucial a considerar en la evaluación de la viabilidad y el impacto ambiental de los materiales plásticos, especialmente en el contexto actual de preocupación por la sostenibilidad (Pérez, 2023). En su estudio, se utilizaron métodos innovadores para analizar cómo diferentes tipos de bioplásticos y polímeros tradicionales responden a altas temperaturas, con un enfoque específico en las emisiones de monóxido de carbono (CO).

Los resultados muestran una estabilidad relativa en las concentraciones de CO después de alcanzar los picos máximos, para los bioplásticos y los polímeros de alta y baja densidad. Esta observación sugiere que, una vez que se alcanza cierta temperatura crítica, los materiales tienden a mantener una liberación constante de CO en lugar de seguir aumentando en concentración. Esta información es valiosa para comprender mejor la degradabilidad térmica de estos materiales y puede guiar estrategias para mitigar sus impactos ambientales (Ramgobin y Fontaine, 2021).

Además, el análisis estadístico realizado para comparar las diferentes preparaciones y tipos de materiales proporciona información importante sobre la resistencia relativa de los bioplásticos en comparación con los plásticos tradicionales. Aunque no se encontraron diferencias significativas en las emisiones de CO entre las preparaciones y los polímeros de alta y baja densidad, esta investigación ofrece una base sólida para futuros estudios que puedan explorar aún más estas diferencias con muestras más grandes o en diferentes condiciones ambientales.

3. Conclusiones

Basado en los resultados obtenidos de las tres preparaciones experimentales propuestos para la fabricación de bioplástico, se ha determinado que la preparación número tres no fue óptimo. La temperatura aplicada en esta preparación resultó ser excesivamente alta, lo que provocó la quema y craquelamiento completo de la muestra durante el proceso de secado en horno de convección forzada. Este hallazgo subraya la importancia crítica de la calibración precisa de las condiciones de procesamiento en la síntesis de bioplásticos, para asegurar la integridad y funcionalidad del material final.

Conforme a las pruebas estadísticas de degradabilidad térmica, se ha determinado que el bioplástico libera una mayor cantidad de monóxido de carbono (CO) en partes por millón (ppm) en comparación con el plástico de alta densidad, de acuerdo con las mediciones capturadas por un sistema operado con Arduino. Esta elevada emisión de CO por parte del bioplástico indica una posible descomposición más rápida frente al plástico de alta densidad. Este resultado sugiere que el bioplástico podría ser una alternativa más amigable con el medio ambiente, capaz de degradarse en un tiempo menor, disminuyendo así su impacto ecológico a largo plazo frente a los plásticos tradicionales (Posada, 1994).

Mediante la medición de tensión y la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis, se concluyó la aceptación de la hipótesis nula, la cual afirma que no existen diferencias significativas entre las preparaciones 1 y 2. Sin embargo, un análisis detallado a través de la elaboración de gráficas permitió observar que los pellets secados a 80 °C presentan una mayor tensión, un fenómeno que también se refleja en los valores de elongación de cada pellet.

4. Recomendaciones

Es necesario que se dé continuidad con el proyecto de investigación teniendo en cuenta el proceso experimental que dicta la norma técnica colombiana que rija la creación de un bioplástico a partir del almidón de la cascara de plátano.

Optimización del proceso de extracción de almidón: se sugiere investigar y probar diferentes métodos de extracción de almidón de la cáscara de plátano para determinar el más eficiente en términos de rendimiento y calidad del almidón obtenido.

Variación de formulaciones: experimentar con diferentes formulaciones de bioplástico utilizando almidón de la cáscara de plátano en distintas proporciones y combinaciones con otros aditivos para determinar la formulación óptima que brinde las mejores propiedades físicas y mecánicas al bioplástico.

Estudio de propiedades mecánicas: realizar pruebas más detalladas y exhaustivas para evaluar las propiedades mecánicas del bioplástico, como resistencia a la tracción, compresión, maleabilidad y estabilidad térmica, con el fin de comprender mejor su comportamiento y posibles aplicaciones.

Referencias bibliográficas

- Ambiente Stereo. (4 de abril de 2023). *Verde Tierra: Alarmante contaminación de plástico en los océanos*. Recuperado de <https://ambientestereo.fm/sitio/verde-tierra-2/alarman-te-contaminacion-de-plastico-en-los-oceanos/>
- Aponte, G., y Soledad, B. (2022). *Bioplásticos: Sustentabilidad Ambiental y Principales Tendencias*. *Tekhné, 25*(3).
- Argentina.gob. (2023). *Etapas de control de residuos sólidos urbanos*. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu/etapas>
- ASTM International. (2010). *ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. Pennsylvania, Estados Unidos.
- ASTM International. (2018). *ASTM D6954-18: Standard guide for exposing and testing plastics that degrade in the environment by a combination of oxidation and biodegradation*.
- ASTM, S. (1999). Standard test method for heat and visible smoke release rates for materials and products using an oxygen consumption calorimeter. E1354-99.
- Barrios Barrios, V. M. F. (2017). *Reaprovechamiento de las cáscaras de plátano Musa paradisiaca para la elaboración de bioplástico en Yangas-Santa Rosa de Quives, 2017*.
- Bayas, B. O., y Miranda Tinoco, G. E. (2018). *Uso de red de sensores inalámbricos y su incidencia en la geolocalización del ganado vacuno de la finca experimental La María-UTEQ*.
- Blogger. (3 de julio de 2015). *Generalidades*. Recuperado de <http://cibernautadelambiente.blogspot.com/2015/09/generalidades.html>

Brañes, V., y Aquila, E. *Obtención de jarabe de glucosa por hidrólisis enzimática como proceso de valoración económica de residuos de la cáscara de plátano*. *Bioplástico a base de la cáscara del plátano*. *Revista de Iniciación Científica, 1*(1), 34-37.

Bromiley, P., y Thacker, N. (2010). *Shannon Entropy, Renyi Entropy, and Information*. *Imaging Science and Biomedical Engineering*, 204-214.

Cabarcas, E., Guerra, A., y Henao, C. (2012). *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción* (Tesis doctoral). Universidad de Cartagena.

Calero Zurita, M. F., y Manchay, L. (2021). *Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del plátano (musa paradisiaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos* (Tesis de licenciatura). Quevedo-Ecuador.

CORPONARIÑO. (2008). *Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO: Diagnóstico biofísico y socioeconómico municipio de Sandona. Equipo de acompañamiento técnico ambiental y social*.

CORPONARIÑO. (2008). *Diagnóstico biofísico socioeconómico de Sandona*. Sandona- Nariño.

EPA. (s.f). *La escala de pH*
https://www3.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html

EPA. (s.f). *La escala de pH*. Agencia de protección ambiental.
https://www3.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2001). *Producción de Plátano en el Mundo*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s05.htm>

Ghanbarzadeh, M. (2012). *Microstructure of thermostatic starch polymers*. *Int. Agrophysics*. Journal of Alternative Perspectives in the Social Sciences*.

Julio, A. S., Silva, A. N., Mercado, I., Vergara, A. F., y Eraso, M. J. (2019). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante*. *Revista UIS Ingenierías, 18*(4), 131-138.

Ortega, C. (2023, 26 octubre). Anova: Qué es y cómo hacer un análisis de la varianza. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/anova/>

Pedreño, J. N., Herrero, J. M., Lucas, I. G., y Beneyto, J. M. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante.

Piemonte, V. (2011). *Bioplastic wastes: the best final disposition for energy saving*. *Journal of Polymers and the Environment*, 19, 988-994.

Pizá Cedano, H. S., Rolando Franco, S., Ramirez Urbina, C. C., Villanueva Benites, S., y Zapata Carrasco, A. P. (2018). *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú*.

Pizá Cedano, H. S., Rolando Franco, S., Ramirez Urbina, C. C., Villanueva Benites, S., y Zapata Carrasco, A. P. (2018). *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú*.

Pla, L. (2006). *Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza*. *Interciencia, 31*(8), 583-590.

Posada Barreto, E. (2022). *Los bioplásticos como sustitutos de los plásticos de un solo uso en Colombia* (Tesis doctoral). Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Posada Bustamante, B. (1994). La degradación de los plásticos.

Quintana Remache, D. M. (2021). *Obtención de bioplástico a partir de la yuca amarilla (Manihot esculenta) y aceite esencial de hierbaluisa (Cymbopogon citratus) para embalaje de alimentos*.

Quixchan, J. M., González-Cortés, N., García-Zarracino, R., y Jiménez-Vera, R. (2018). Componentes prebióticos del plátano: fibra dietética y almidón resistente*. *Revista Iberoamericana de Ciencias, 5*(3), 40-50.

Ramgobin, A., Fontaine, G. y Bourbigot, S. (2021). Investigación de la estabilidad térmica y el comportamiento al fuego de polímeros de alto rendimiento: un estudio de caso de poliimida. *Diario de seguridad contra incendios* , 120 , 103060.

Remar, R. (2011). *Bioplásticos*. Fundación Moderna. Recuperado de Fundación Moderna.

Rivas, C. A. (2018). *Piensa un minuto antes de actuar: Gestión integral de residuos sólidos*.

Rivera Quixchan, J. M., González Cortés, N., García Zarracino, R., y Jiménez Vera, R. (2018). *Componentes prebióticos del plátano: fibra dietética y almidón resistente*. *Revista Iberoamericana de Ciencias, 5*(3), 40-50.

Romero Villamizar, J. S. (2005). *Estudio sobre la aplicabilidad de bioplástico en la industria de productos desechables plásticos: Ventajas y obstáculos de su implementación en Colombia*.

Salgado Cantaro, L. R., y Herrera Valerio, V. A. (2020). *Análisis de la sostenibilidad para la producción de bioplásticos a partir de los residuos de Musa Balbisiana y Zea Mays*.

Segura, A., Rojas, L., y Pulido, Y. (2020). *Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos*. *Revista Espacios, 41*(17), 1-9.

Segura, D., Noguez, R., y Espín, G. (2007). *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables*. *Biotecnología, 14*(3), 361-372.

Shannon, C. E., y Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press, Urbana, IL.

SITURNARIÑO. (9 de abril de 2023). Recuperado de <https://situr.narino.gov.co/municipio/sandona>

Tapia D. (2011). *Obtención de películas biodegradables*. Universidad de Sao Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasil.

Trabajo Final, B. (2 de noviembre de 2023). *¿Cómo se mide la normalidad de datos con la Prueba de Shapiro-Wilk? Ejemplo de caso real*. *Trabajo Final*. Recuperado de <https://trabajofinal.es/prueba-shapiro-normalidad- ejemplo>

YuJ. yGao T., (1996). Biodegradable thermoplastic starch.J. Appl. Polymer.