



**PROYECTO HACHUA. INVESTIGACIÓN Y PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE
LA FABRICACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL BIOPOLÍMERO DEL
AMERO PARA LA INDUSTRIA TEXTIL**

Laura Daniela Castañeda Fonseca

Juan Francisco Dacundo Cárdenas

Isabela Basto Torres

Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería

Bogotá D.C.

Proyecto de Grado

Ing. Sergio Israel Rojas Serrano

16 de febrero de 2022

Índice

1.	RESUMEN EJECUTIVO	5
2.	introducción	6
3.	OBJETIVO GENERAL	7
4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	7
6.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	8
7.	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS O ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	9
8.	MARCO DE REFERENCIA	10
8.1.	Proceso de fabricación textil con fibras sintéticas.....	10
8.1.1.	Fibra sintética.....	10
8.1.2.	Clases de fibras sintéticas	10
8.1.3.	Operaciones para la transformación de fibras sintéticas.....	11
8.1.4.	Lignina	11
8.1.5.	Métodos de extracción de la lignina	11
8.1.6.	Bioplástico	12
8.1.7.	Espectroscopia infrarroja	13
9.	NORMAS DE INGENIERÍA QUE RIGEN LA SOLUCIÓN.	13
10.	ANÁLISIS DE RESTRICCIONES	13
10.1.	Restricciones ambientales.....	14
10.2.	Restricciones técnicas.....	15
10.3.	Restricciones económicas.....	15
11.	METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	16
11.1.	Extracción de la lignina	16
11.3.	Molienda de ameros/hoja y Tamizado.....	17
11.4.	Hidrólisis alcalina y filtración para la obtención del licor negro:	19
11.5.	Proceso de extracción de lignina del licor negro	20
11.6.	Extracción lignina secado licor negro	22
11.8.	Procedimiento para la caracterización del bioplástico	24
11.8.1.	Identificación con espectroscopía infrarroja.....	24
11.8.2.	Análisis espectroscopía infrarroja.....	25
11.8.2.1.	Análisis de los resultados	26
11.8.3.	Comparación con espectrografía poliestireno	28

11.8.4.	Prueba de calor	29
11.8.5.	Prueba de resistencia frente al agua y biodegradabilidad	29
12.	ANÁLISIS DE COSTOS	31
13.	Conclusiones	32
14.	Bibliografía	34

Índice de contenido de tablas e imágenes

Ilustración 1 - Métodos químicos y físicos para la extracción de lignina, Fuente: Orellana Vázquez, K.C., 2018.....	12
Ilustración 2 - Diagrama general para obtención de lignina, Fuente: Creación propia.	16
Ilustración 3-Secado del amero de maíz, Fuente: Creación propia.....	17
Ilustración 4 - Molienda amero de maíz, Fuente: Creación propia.....	18
Ilustración 5 - Tamices y equipo tamizado, Fuente: Creación propia.....	18
Ilustración 6 - Material de cada tamiz, Fuente: Creación propia.	18
Ilustración 7 – Hidrolisis Alcalina, Fuente: Creación propia.	19
Ilustración 8 - PH y licor negro después de reposo, Fuente: Creación propia.	20
Ilustración 9 - Filtración licor negro, Fuente: Creación propia.	20
Ilustración 10 - Hidrolisis Acida por goteo H ₂ SO ₄ 98%, Fuente: Creación propia.	21
Ilustración 11 – Hidrolisis Acida solución 20% H ₂ SO ₄ , Fuente: Creación propia	22
Ilustración 12 - Extracción lignina método secado del licor negro, Fuente: Creación propia.....	22
Ilustración 13 – Fabricación bioplástico, Fuente: Creación propia.....	23
Ilustración 14 - Secado bioplástico, Fuente: Creación propia.	23
Ilustración 15 – Bioplástico luego de 78 horas secado, Fuente: Creación propia.....	24
Ilustración 16- Equipo espectroscopía infrarroja Espectro, Fuente: Creación propia	25
Ilustración 17-Espectro Muestra 1, Fuente: Creación propia	25
Ilustración 18- Espectro Muestra 2, Fuente: Creación propia	26
Ilustración 19-Espectroscopía de bioplástico hecho a partir de sagú. Fuente: (Zuraida, Yusliza, Anuar, & Muhaimin, 2012)	27
Ilustración 20-Espectroscopía de bioplástico del almidón de maíz, Fuente: (Lee & Yeo, 2021).....	27
Ilustración 21-Rango de carbohidratos en la longitud de onda de la miel de abeja. Fuente: (Mondragón Cortez, 2020)	28
Ilustración 22- Análisis del espectro de poliestireno, Fuente: Velandia Cabra, 2017	28
Ilustración 23- Prueba calor, Fuente: Creación propia	29
Ilustración 24- Prueba agua 4 horas, Fuente: Creación propia	30
Ilustración 25- Prueba agua y pH 24 horas, Fuente: Creación propia	30
Ilustración 26 - Margen de utilidad del proyecto Hachua.	32

Tabla 1-Costos de la materia prima usada en el proyecto.	31
Tabla 2-Costos de los equipos y herramientas utilizados en el proyecto.	31
Tabla 3-Costos de los insumos utilizados en el proyecto.	31

1. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto plantea como objetivo primordial la obtención de un biopolímero hecho a partir de la lignina extraída del amero (hoja de color verde que cubre el maíz) con el fin de estudiarlo para determinar sus propiedades fisicoquímicas y clasificarlo para ser usado en la industria textil. Inicialmente se realizó una investigación acerca del proceso de extracción de la lignina, el uso de polímeros en la industria textil y las pruebas que se llevaran a cabo para la caracterización del biopolímero plástico o bioplástico que se va a fabricar, para de esta manera determinar que uso se le puede dar en la industria textil buscando remplazar el uso de plásticos y polímeros sintéticos que afectan el medio ambiente, reconociendo el impacto negativo ambiental de la industria textil a nivel mundial.

El amero de maíz es un residuo fácil de conseguir, debido a que este es desechado en grandes cantidades en las tiendas donde se venden productos agrícolas, es necesario la recolección de este material que posteriormente es procesado para extraer la lignina que es un componente especial que brindara dureza al usarlo en la fabricación del bioplástico que se hace posterior a dicha extracción.

2. INTRODUCCIÓN

La industria textil se refiere a una gran variedad de procesos para crear tejidos de distintos usos y características a partir de fibras. Entre los procesos se encuentran el punto, el tufting o anudado de alfombras, el enfurtido, etc. (Stellman, y otros, 1998)

Este sector industrial abarca una importancia enorme durante la historia de la humanidad desde su importancia en prehistoria durante las heladas hasta el día de hoy, donde representa *status quo* y etiqueta. Siendo una base fundamental en cualquier civilización; el sector textil se caracteriza por sus procesos de transformación de fibras para ser convertidas en material para la creación de prendas de vestir, calzado, recubrimientos de artefactos, etc.

Inicialmente el sector textil empezó usando materia prima pelos de animales, plantas y semillas para obtener las fibras durante la prehistoria. La seda se usó por primera vez alrededor del año 2600 a.C. y no fue hasta el siglo XVIII donde se crearon las primeras fibras sintéticas a partir de celulosa o productos químicos. A diferencia de las fibras sintéticas, la seda es la única fibra natural que obtener un hilo de forma natural. Sin embargo, materiales como el algodón y el lino deben ser estirados y procesados en máquinas de hilar para obtener hilos. (Stellman, y otros, 1998)

En Europa, durante el año 1400 d.C. se creó el huso, una máquina que podría hilar materias primas como el algodón y la lana de oveja con la creación de la rueda de hilar. Durante el siglo XVII y XVIII el sector textil fue el principal protagonista de la primera revolución industrial con la transformación de los talleres artesanales de tejido a plantas industriales de producción en masa, gracias a inventos como la máquina continua de hila, la selfactina las tarjetas perforadas y la máquina. (Stellman, y otros, 1998)

Con el desarrollo tecnológico de la industria textil, se convirtió a su vez en uno de los principales sectores de mercado durante la época el siglo XVIII y XIX levantando la economía de grandes imperios como el Imperio Británico provocando grandes cambios al resto del mundo en la vida familiar dando paso a la primera revolución industrial. Con cambios desde la optimización de procesos industriales, la creación de normas de trabajo, la capitalización de las ciudades e hitos sociales como la creación de los primeros sindicatos de laborales. Durante la historia de la industria textil, los procesos más destacados y los principales en cualquier proceso industrial son: Hilado, Tintura y estampado y acabado o tundido. (Stellman, y otros, 1998)

3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo de bioplástico a partir de la lignina, con el fin de sustituir el plástico derivado del petróleo usado en la industria textil.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Examinar las referencias sobre los polímeros y plásticos usados en la industria textil
2. Estudiar el proceso de la extracción de Lignina para realizar el prototipo y diseño del bioplástico.
3. Indagar acerca del proceso para la producción de bioplástico a escala industrial.
4. Reconocer la viabilidad del uso y fabricación del bioplástico en la industria textil en Colombia.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según datos del movimiento Global Fashion Revolution, la industria de la ropa genera noventa y dos millones de toneladas de residuos sólidos anuales a nivel mundial y al confeccionarse se producen mil setecientos quince millones de toneladas de emisiones de CO₂. La industria textil ocupa el segundo puesto como uno de los sectores industriales más contaminantes a nivel mundial siendo superado por la industria petrolera. (Semana, 2020)

Así mismo, los desechos textiles podrían aumentar un sesenta por ciento para el año 2030 generando un total de 148 millones de toneladas al año. Incluso, sumando el aspecto del material de una vestimenta, esta podría demorar entre un mes a 500 años en descomponerse, dependiendo de los precursores químicos y el tipo de tejido empleado durante su fabricación. (Semana, 2020)

Actualmente se han investigado distintos métodos para reducir la contaminación generada por el sector industrial como: búsqueda de nuevos materiales biodegradables para el tejido y la tinción, optimización ecosostenible del proceso de transformación, mejora de las condiciones laborales y el uso de la economía circular para el aprovechamiento de los residuos textiles.

6. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El maíz es el cereal con mayor producción en el mundo, en Colombia, el maíz es el cereal que ocupa una de las mayores extensiones del país, 1.720 hectáreas para el año 2010 con una producción cercana a 688.000 toneladas.

Las propiedades y características que posee la hoja es lo que hace que este residuo sea finalmente aprovechado por diferentes actores de diversas industrias; este residuo se encuentra como una oportunidad para crear una alternativa y así reducir el uso del plástico, de este modo, es importante garantizar modalidades de consumo y producción sostenible que apunten a la reducción de desechos mediante actividades de reducción, reciclado y reutilización.

Teniendo en cuenta lo anterior, el amero de maíz es una fibra natural con potencial en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas que brindan la oportunidad de crear propuestas con valor agregado convirtiéndose en nuevas alternativas en pro de las necesidades de la sociedad, uno de los usos a los que se le puede asignar esta fibra es a la contribución para la industria textil.

Cada año se produce a nivel mundial alrededor de un millón de toneladas de tejido para la fabricación de prendas de vestir combinando fibras naturales como el algodón o la lana con fibras sintéticas como el poliéster, esta mezcla tiene como finalidad mejorar los aspectos relacionados con la mejora en la durabilidad de las prendas. (red de desarrollo sostenible, 2020)

El desafío de la industria textil es llevar a cabo un cambio radical hacia productos innovadores y de alto valor para llevar a cabo una mano de obra más económica.

En Bogotá se genera un total de 318 toneladas de residuos textiles donde un 97% de ellos pueden ser aprovechables (Semana, 2020). No obstante, en Colombia no se tiene la capacidad de reciclar este tipo de material, siendo así, solo se puede reciclar el 5%. Por este motivo se propone investigar y desarrollar el bioplástico a partir del amero y que pueda ser usado en la industria textil colombiana mediante experimentos y pruebas de ingeniería de materiales para clasificar el uso del polímero en este sector industrial.

7. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS O ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Muchas telas usadas a diario están compuestas de fibras sintéticas como por ejemplo el poliéster y el nylon, estos son usados como materia prima, derivado del petróleo y combustibles fósiles. Diferentes áreas de estudio industrial y científico han buscado alternativas para combatir el uso de combustibles fósiles, en particular, para los productos de uso diario como empaques plásticos, ropa, muebles, neumáticos, entre otros.

En base a lo anterior, la intención del biopolímero que se va a fabricar es una alternativa para ofrecer a la industria textil el uso de fibras poliméricas más sustentables y sostenibles, la materia prima a ofrecer es un bioplástico proveniente del amero de maíz, obtenido mediante la técnica de extracción de Lignina.

El biopolímero debe cumplir unos requerimientos para ser usado en la industria textil, este debe tener la capacidad de deformarse con calor, es decir debe poder derretirse y luego volver a solidificarse, debe ser resistente pero también debe ser flexible, por último y más importante debe degradarse.

8. MARCO DE REFERENCIA

8.1. Proceso de fabricación textil con fibras sintéticas

8.1.1. Fibra sintética

Son fibras hechas a partir de polímeros sintetizados de productos químicos o derivados del petróleo. Este material se remonta a la creación de la viscosa en 1891 por Charles F. Cross y Eduard John Bevan. En el siglo XX se comenzó la producción en masa de telas sintéticas debido a la alta demanda en el sector textil, creando una amplia gama de productos con distintas características para suplir múltiples necesidades. Estas fibras se crean colando el polímero fundido para obtener el filamento texturizándolo para que tenga más volumen o se prensa para convertirlo en fibra para hilar (Stellman, y otros, 1998).

8.1.2. Clases de fibras sintéticas

- **Poliamidas:** Son amidas poliméricas de cadena larga que se identifican químicamente por la diamina entre sus cadenas de carbono. Este es conocido mundialmente como Nylon® (Stellman, y otros, 1998).
- **Poliésteres:** Obtenidos gracias a la reacción de etilenglicol y ácido tereftálico, produce un plástico formado por largas cadenas de carbono. Al ser fundido se bombea a través de unas hiladoras que dan la forma del hilo hasta ser enfriado.
- **Polivinilos:** Conocido también como poliacrilonitrilo o fibra acrílica, es el más importante de las fibras textiles gracias a su dureza y resistencia. (Stellman, y otros, 1998)
- **Poliolefinas:** Se obtiene de manera similar al Nylon, con la diferencia que al enfriarse se puede seguir estirando hasta obtener la forma deseada. (Stellman, y otros, 1998)
- **Polipropileno:** Conocido como Ulstron en Reino Unido, este polímero puede hilarse cuando está en estado de fusión, se estira y se endurece durante el recocado. (Stellman, y otros, 1998)
- **Poliuretanos:** Conocido también como *Spandex*, es un polímero elastomérico, es decir, tiene la propiedad de estirarse como el caucho. Obtenido a partir de una goma de poliuretano lineal se funde por tratamiento de altas temperaturas y a presiones elevadas hasta obtener un poliuretano vulcanizado a fin de obtener un monofilamento. (Stellman, y otros, 1998)

8.1.3. Operaciones para la transformación de fibras sintéticas

8.1.3.1. *Corte de fibras*

Se pasan por una máquina cortadora para asimilarlos como fibras naturales, este proceso se puede hacer mezclando las fibras sintéticas junto a las naturales durante del proceso de hilado para obtener una tela con mejores propiedades físicas (Stellman, y otros, 1998).

8.1.3.2. *Rizado*

Para darle un aspecto similar a la lana, las fibras sintéticas pasan por una máquina rizadora la cual contiene rodillos estirados calientes que forman el rizo continuamente. A su vez, se pueden aplicar productos químicos para controlar la coagulación del filamento y así obtener fibras simétricas. Si la fibra se humedece, puede curvarse y formar un rizo. Para obtener un hilo texturizado, consiste en pasar dos hebras de nilón por un calentador que eleva su temperatura a los 180°C y después por un huso que gira a sesenta mil revoluciones por minuto (rpm) o incluso a 1,5 millones de rpm. (Stellman, y otros, 1998)

8.1.4. Lignina

La lignina es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas y junto con la celulosa y la hemicelulosa conforma la pared celular en una disposición regulada a nivel nano-estructural, dando como resultado redes de lignina-hidratos de carbono. La lignina está presente en todas las plantas vasculares y se forma mediante la reacción de fotosíntesis. La lignina está considerada como un recurso renovable asequible y de potencial uso industrial, cuya producción anual se ha estimado en el intervalo de 5-36 x 10⁸ toneladas (Chávez, 2013). La composición inicial de las hojas de maíz, las cuales según un estudio de caracterización corresponden a: hemicelulosa con 7%, celulosa con 30%, lignina con 23% y 40% que corresponde al agua retirada (Garzón Ramírez, A. M. 2018).

8.1.5. Métodos de extracción de la lignina

Para el proceso de extracción de la lignina en materia vegetal se han identificado varios procesos ya sean químicos o mecánicos. Estas técnicas se los puede dividir en dos grupos: El primer grupo están todos los métodos en los cuales se libera hemicelulosa y celulosa por solubilización, quedando la lignina como un residuo insoluble. El segundo grupo sucede lo contrario consta de métodos que deja como

residuos a la hemicelulosa y celulosa, provocando así la recuperación de la lignina durante la fase líquida (Orellana Vázquez, K.C., 2018). En consecuencia, existen diferentes clases de lignina que difieren en su estructura según su método de extracción: la lignina tipo sulfito, es producida por el proceso sulfito usado para obtener pasta celulósica, es la lignina más abundante en la industria; el tipo Kraft, solía ser la más abundante en el mercado, y era obtenida a partir de una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio; y el tipo soda, es obtenida a partir de plantas no maderables. Para extraerla existen varios métodos, los más conocidos son el ácido, el alcalino y el método por solventes orgánicos. Cada uno da origen a una lignina con una estructura diferente a las demás. Para el caso de la extracción con medio ácido la molécula de lignina es fractura para lograr su separación, mientras que con los otros métodos la lignina es solubilizada y fácilmente extraída (Garzón Ramírez, A. M. 2018).

Nombre	Metodología
Lignina de madera molida (MWL)	Extracción acuosa con dioxano de la madera finamente molida
Lignina enzimática celulosa (CEL)	Fracción soluble resultante de la MWEL
Lignina nativa de Braun	Extracto etanólico de madera residual (tamaño de partículas tipo aserrín)
Lignina enzimática de madera molida (MWEL)	Residuo que queda después de la hidrólisis de los carbohidratos de la madera finamente molida
Ligninas tipo Kraft y tipo sulfito	Disolución química de lignina a elevadas temperaturas y presiones
Lignina tipo soda	Disolución en medio alcalino de fibras no madereras tales como, paja, bagazo de caña, etc
Lignina Klason	Insoluble, residuos condensados después de la hidrólisis de polisacáridos con ácido sulfúrico
Licor Negro	Solución que pertenece al proceso de Kraft se caracteriza por ser una solución acuosa compuesta de gran cantidad de compuestos orgánicos, para maderas suaves como el pino o duras como el eucalipto.

Ilustración 1 - Métodos químicos y físicos para la extracción de lignina, Fuente: Orellana Vázquez, K.C., 2018.

8.1.6. Bioplástico

Los bioplásticos son compuestos de alto peso molecular elaborados a partir de fuentes naturales, tales como cultivos de poliésteres microbianos, de almidón, celulosa entre otros (Avellán et al., 2020).

8.1.7. Espectroscopia infrarroja

La espectroscopia infrarroja es una de las técnicas de espectroscopia molecular, que permiten obtener información estructural química de la materia. En esta técnica, un haz de luz infrarroja incide sobre la materia y provoca vibraciones de los átomos de la molécula. Las vibraciones son específicas a determinadas frecuencias de los enlaces químicos, que corresponden a niveles de energía de la molécula, y van a depender de la forma de la superficie de energía potencial de la molécula, la geometría molecular, las masas atómicas y, posiblemente, el acoplamiento vibracional. La cantidad de luz absorbida es registrada continuamente, usualmente se usa un rango de longitudes de onda de interés que va desde 4000-400 cm^{-1} (Velandia Cabra, 2017, p. 124).

9. NORMAS DE INGENIERÍA QUE RIGEN LA SOLUCIÓN.

Inicialmente hablaremos del el Proyecto de Ley 080 que presentó el 25 de septiembre de 2019 la Senadora Angélica Lozano Correa y el Representante Cesar Augusto Ortiz Zorro ante el Congreso de la República de Colombia “Por medio de la cual se establecen medidas tendientes a la reducción de la producción y el consumo, de los plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se regula un régimen de transición para reemplazar progresivamente por alternativas reutilizables, biodegradables u otras cuya degradación no genere contaminación, y se dictan otras disposiciones”, lo anterior con el fin de resguardar los derechos fundamentales a la vida, salud y el goce de un ambiente sano. El Proyecto de Ley 080 de 2019 define los plásticos de un solo uso como aquellos fabricados, a partir de PET, LDPE, HDPE, PS, PP y Poliestireno Expandido, que son usados por una sola vez y cuya vida útil es muy corta, para luego ser desechados (Meneses, 2020).

El decreto 1625 de 2016, tiene por objeto la creación de beneficios para el sector textil en sus etapas de hilado, fibrado, tejido y confección, cuando en su cadena productiva contemplen estrategias relacionadas con el reciclaje, así con el uso de materiales que contribuyan a la sostenibilidad ambiental.

10. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

Se evaluaron distintos aspectos que determinan la factibilidad de la producción de bioplástico a partir del amero de maíz. Durante la realización del proyecto, se plantearon diferentes etapas que arguyen los resultados de las investigaciones y experimentos de laboratorio realizados.

10.1. Restricciones ambientales

El licor negro es un líquido altamente contaminante principalmente debido a que requiere una elevada DQO, lo cual hace que sea poco biodegradable en condiciones normales como en cuerpos de agua, esto hace que se produzca impactos ambientales si no es tratado adecuadamente. Si se vertiera el licor negro directamente a un río o cauce natural, produciría un impacto ambiental considerable puesto que el pH de (12-13) afecta el equilibrio biológico y la gran carga del material orgánico e inorgánico que contiene generará una alta contaminación al agua (Arenales, 2018). Según lo anterior se entiende que en la práctica de laboratorio se generan residuos que son peligrosos para el medio ambiente.

Para contrarrestar este efecto será necesario reducir el nivel de pH de los restos producidos durante la extracción de la lignina. También se puede lograr el proceso de lignificación haciendo uso del peróxido de hidrógeno mediante experimentos *in vitro*. (Thomas, Durand, Chassenieux, & Jyotishkumar, 2013).

El licor negro, producto líquido del pulpeo o hidrolisis alcalina, puede representar un problema si no se realiza una recuperación de éste; sin embargo, actualmente la mayor parte de las plantas nuevas de pulpeo cuentan con un ciclo de recuperación, que minimiza el impacto ambiental de este efluente (Arenales, 2018)

Al realizarle el filtrado al licor negro se disminuye la DQO en un 28,1% de DQO en el licor negro. Dentro de los procedimientos del laboratorio a realizar, se realiza un filtrado del licor negro, lo que va a reducir la contaminación e impacto que este pueda producir al medio ambiente. Industrialmente dicho licor negro posee un alto valor energético para la industria, la energía calórica liberada por la combustión del licor negro es aprovechada para producir vapor y energía, siendo este el principal uso que se le ha dado a este residuo (Rivera, 2009).

A menor pH mayor es el porcentaje de reducción de DQO, se evidencia la importancia del pH en la descontaminación del licor negro. Este resultado era de esperarse porque la alta DQO del licor es producto de la lignina que posee disuelta, esta es soluble en medio alcalino, pero en medios ácidos es insoluble (Rivera, 2009). Basándose en lo anterior, en los experimentos a realizar, se hará un ajuste de pH para los residuos del licor negro con Ácido Acético o Ácido sulfúrico.

10.2. Restricciones técnicas

Dentro de las pruebas físicas y mecánicas se identificaron algunas restricciones debido a que algunas de las pruebas y análisis a realizar no son posibles llevarlas a cabo debido a que no se cuenta con los equipos requeridos para las respectivas pruebas. Para las pruebas de resistencia de materiales, se plantearon metodologías alternativas para desarrollar nuevos procedimientos que permitan determinar la durabilidad del bioplástico.

10.3. Restricciones económicas

Durante la elaboración de las técnicas y procedimientos a seguir en el laboratorio para la extracción de la lignina, se informó que el NH_4OH (Hidróxido de amonio), uno de los reactivos para hacer la hidrólisis alcalina, fue discontinuado en el laboratorio de la Universidad EAN, así mismo, este precursor químico tiene un costo elevado debido a su compleja elaboración y su uso mitigado por entidades del estado. Para la restricción económica se ajustó el procedimiento reemplazando el uso de Hidróxido de Amonio (NH_4OH) e Hidróxido de potasio (KOH), por Hidróxido de sodio (NaOH).

Parte de los altos costos de los químicos se debe a la alta demanda en los agro-insumos, estos son en su mayoría derivados del amoníaco, así mismo lo retrata el presidente de la Sociedad de Agricultores de Colombia «En mayo o junio de 2020 el precio de la urea estuvo en 200 dólares». (Semana, 2021).

11. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Se da un panorama general de la problemática, se recolectarán datos cualitativos y cuantitativos que permitan brindar un mejor análisis y desarrollo a la solución del problema. En cuanto a restricciones técnicas, se decide realizar pruebas físicas para la caracterización del biopolímero, entre estos se encuentra la espectroscopía infrarroja, grosor de muestras del biopolímero y realizar pruebas de resistencia ejerciendo presión sobre el material.

11.1. Extracción de la lignina

El método seleccionado para la extracción de la lignina es el método de hidrolisis alcalina para obtener el licor negro, después se hace una hidrolisis ácida para precipitar la lignina.

La obtención de lignina lleva consigo una serie de procesos que comienzan con la recopilación y adecuación de la materia prima y terminan con el tratamiento químico para extraerla. Inicialmente, se deberá recolectar suficiente material lignocelulósico (hojas de mazorca), dicho material fue recolectado de una tienda de frutas y verduras en un barrio. Es importante aclarar que, aunque en el diagrama no se encuentre representado, se ejecutan dos procesos de filtración antes y después de la extracción, con los objetivos de separar el licor negro de la celulosa y la hemicelulosa; y de obtener la lignina en la torta de filtrado (Garzón Ramírez, A. M. 2018). En la figura 2, se muestra el diagrama general para la fase de obtención de lignina.

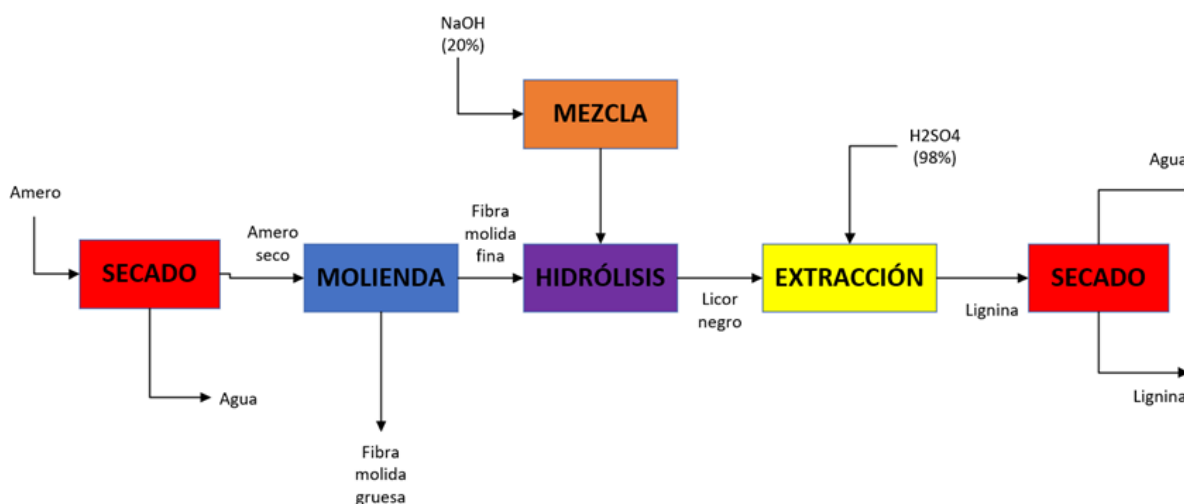


Ilustración 2 - Diagrama general para obtención de lignina, Fuente: Creación propia.

11.2. Secado del amero/hoja

El objetivo del secado es lograr una reducción en el contenido de humedad, la temperatura adecuada se debe seleccionar con cuidado por la facilidad de degradación que tienen los componentes a las altas temperaturas; los procesos de descomposición térmica de la hemicelulosa y la celulosa cerca de los 180°C y 240°C respectivamente, mientras que para la lignina el punto está cerca de los 280°C (Garzón Ramírez, A. M. 2018). El proceso de secado se hizo en una mufla a 84°C, se usó un 1 Kg de material lignocelulósico que fue secado en 5 grupos e 200g hasta que hubiera una pérdida del 70% aproximadamente, es decir que finalmente cada grupo debía pesar aproximadamente 60g. En promedio cada grupo tardo en secar 2.05 horas. Al finalizar se obtuvieron 293 g de material lignocelulósico seco.



Ilustración 3-Secado del amero de maíz, Fuente: Creación propia.

11.3. Molienda de ameros/hoja y Tamizado

La molienda que tiene como fin de reducir el tamaño de partícula de los ameros hasta un diámetro menor, aumentar el área de superficie de hidrólisis y reducir el grado de polimerización de los compuestos. La partícula deberá tener un tamaño máximo de 1mm, para esto se deben separar según el tamaño obtenido después de la molienda, este proceso se realiza mediante tamizado. (Garzón Ramírez, A. M. 2018). La molienda se hizo dividiendo el material seco en 5 grupos de 58.6 g, debido a que el molino no tenía una gran capacidad. Inicialmente la molienda se hacía durante 20 segundos, pero durante la practica notamos que se debía aumentar a un minuto, al finalizas la molienda se obtuvo 268.5 g de material, lo que quiere decir que en la molienda hubo una pérdida de 24.5g.



Ilustración 4 - Molienda amero de maíz, Fuente: Creación propia.

El tamizado se hizo usando los tamices #10#30#80 donde el material del tamiz ·10 y 30 fueron desechados y solo se usó el material del tamiz #80 y los fondos por cada uno se obtuvieron 93.73g y 30.28 g respectivamente, sumando estos 124.01 g.



Ilustración 5 - Tamices y equipo tamizado, Fuente: Creación propia



Ilustración 6 - Material de cada tamiz, Fuente: Creación propia.

11.4. Hidrólisis alcalina y filtración para la obtención del licor negro:

Tiene como objetivo recuperar el licor negro en el que se encuentra disuelta la lignina. En este proceso inicialmente se debe tomar una muestra inicial de 60g de material lignocelulósico, a la cual se le adicionan 1000 mL de NaOH en un vaso precipitado de 1 L. Luego, se toma la mezcla de fibra y NaOH al 20% y se calienta en una plancha de calor a 100°C durante un periodo de 240 minutos (Garzón Ramírez, A. M. 2018).



Ilustración 7 – Hidrolisis Alcalina, Fuente: Creación propia.

Después de que haya pasado el tiempo establecido y se haya dejado reposar, se debe obtener un pH de 14.8 como se muestra en la ilustración 8. La muestra se divide en dos fases, líquido (licor negro) y sólido (celulosa, hemicelulosa y extraíbles), por lo tanto, se procede a realizar una filtración, donde el líquido filtrado sería el licor negro es almacenado en un recipiente para la extracción de lignina. (Garzón Ramírez, A. M. 2018).



Ilustración 8 - PH y licor negro después de reposo, Fuente: Creación propia.



Ilustración 9 - Filtración licor negro, Fuente: Creación propia.

11.5. Proceso de extracción de lignina del licor negro

Se realiza una medición de pH inicial. Para la recuperación de la lignina disuelta en el licor, serán necesarios 3ml de H_2SO_4 agregados por goteo por cada 70ml de licor, para que se precipite la lignina. El pH al que la lignina se vuelve insoluble es igual a 2, por lo tanto, después de adicionar el ácido por goteo, se deberá realizar una medición del pH hasta obtener el valor deseado, observando los cambios físicos que se darán a lugar en la muestra. Se observará un sólido en el fondo del recipiente, lo cual indica que la lignina ha precipitado; se debe dejar en reposo por lo menos una hora para realizar la posterior separación por filtrado. (Garzón Ramírez, A. M. 2018).



Ilustración 10 - Hidrolisis Acida por goteo H₂SO₄ 98%, Fuente: Creación propia.

Durante el procedimiento se evidencia que 3 ml de ácido H₂SO₄ al 98% no son suficientes para bajar el pH de 70 ml de licor negro, se realizaron pruebas con una pequeña cantidad de licor negro para determinar cuánto se necesitaba y se determinó que se necesita casi 3 veces H₂SO₄ que la cantidad del licor, lo cual indica que no es un proceso viable debido a la gran cantidad de ácido que se usa.

Para precipitar la lignina se decide usar otra metodología, se adiciona a la solución H₂SO₄ al 20% v/v. El precipitado obtenido es llevado a la estufa, a 50° C por 24 horas, obteniendo, de esta forma, la lignina precipitada completamente seca. (López Gómez, 2017).

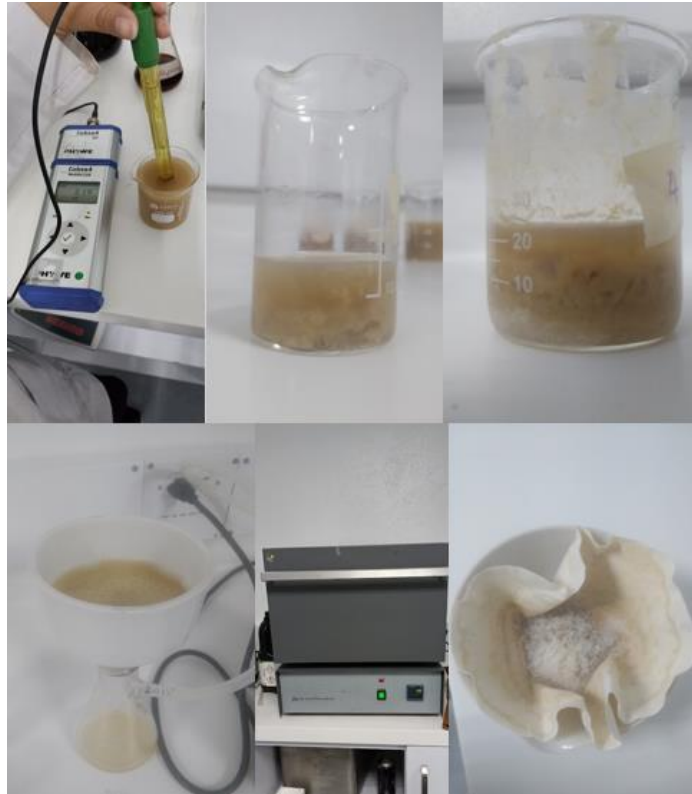


Ilustración 11 – Hidrolisis Acida solución 20% H₂SO₄, Fuente: Creación propia

11.6. Extracción lignina secado licor negro

La lignina se puede obtener directamente del licor negro del proceso de deslignificación mediante secado de estufa a 40° C. Cabe esperar una lignina contaminada con impurezas de azúcares, ácidos urónicos, resinas, formas, aceites, etc. Pero con la ventaja de no usar ácido sulfúrico (Mateos et al., 2011).



Ilustración 12 - Extracción lignina método secado del licor negro, Fuente: Creación propia.

11.7. Fabricación de bioplástico

Para el procedimiento de fabricación se colocan en un recipiente 34 mL de agua destilada junto con 5 g de la lignina de maíz extraída previamente, mezclando constantemente hasta homogeneizar y cuidando en todo momento que la temperatura no excediera los 70°C. Posteriormente se agregó gota a gota 5 mL de glicerina con agitación constante, notando un cambio en la consistencia de la mezcla. Luego se añadieron 6 mL de ácido acético al 3% v/v homogenizando hasta que se dejó de percibir vapor en la mezcla (Avellán et al., 2020). También se debió agregar 3 mg de almidón para lograr que tomara más viscosidad. Finalizado este proceso, se formó la lámina sobre una placa de vidrio Petri, se expuso 30° C para su secado y posteriormente se retiró el bioplástico obtenido. Se hicieron 2 muestras, una con la lignina más limpia que se extrajo del licor negro por hidrólisis ácida y la otra con la lignina que se extrajo mediante el secado del licor negro oscura e impura.

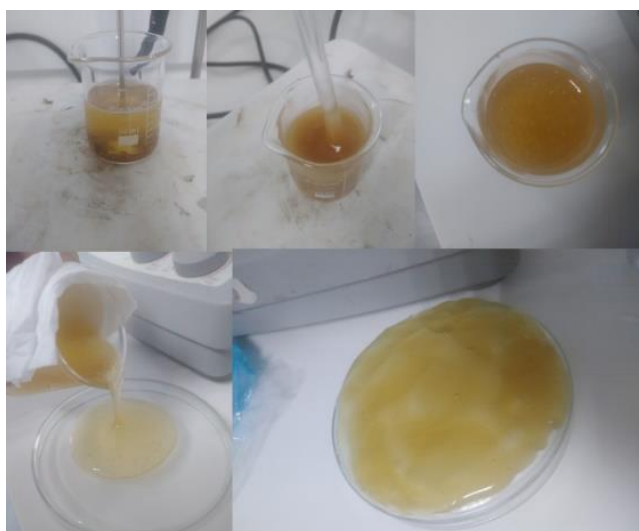


Ilustración 13 – Fabricación bioplástico, Fuente: Creación propia.



Ilustración 14 - Secado bioplástico, Fuente: Creación propia.



Ilustración 15 – Bioplástico luego de 78 horas secado, Fuente: Creación propia.

11.8. Procedimiento para la caracterización del bioplástico

11.8.1. Identificación con espectroscopía infrarroja

En esta técnica, un haz de la luz infrarroja incide sobre la materia y provoca vibraciones de los átomos de la molécula. Las vibraciones son específicas a determinadas frecuencias de los enlaces químicos, que corresponden a niveles de energía de la molécula, y van a depender de la forma de la superficie de energía potencial de la molécula, la geometría molecular, las masas atómicas y, posiblemente, el acoplamiento vibracional (Velandia Cabra, 2017, p. 124). Para la lectura se utilizó el equipo IRTracer-100 fourier transform infrared spectrophotometer de Shimadzu que se maneja con un software llamado LabSolutions. El rango de medición utilizado fue de 600 a 3600 cm^{-1} , inicialmente se limpia la zona de lectura con papel de arroz que no deja residuos y acetona que por su alta volatilidad no deja residuos. Después de limpiar se dispone un pequeño trozo del bioplástico dentro del equipo y se ajusta. Posteriormente se procede a hacer la lectura de los espectros por medio del software.

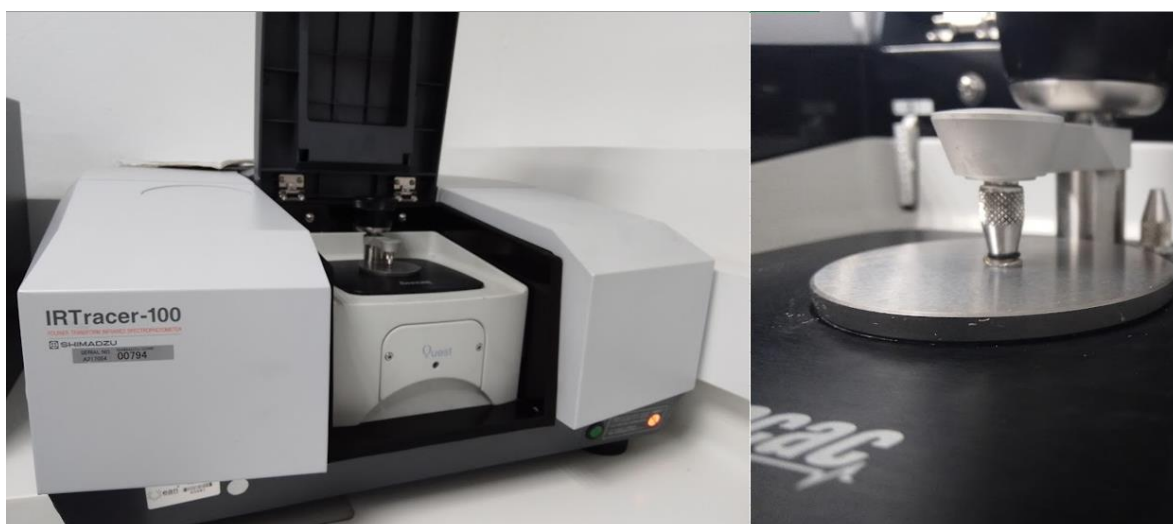


Ilustración 16- Equipo espectroscopía infrarroja Espectro, Fuente: Creación propia

La Muestra 1 es la del bioplástico obtenido fue la hecha con la lignina que se extrajo mediante el secado del licor negro oscura e impura, que nos dio como resultado un bioplástico más oscuro, este bioplástico no tiene mucha dureza, esto se le atribuye a la poca cantidad de lignina y glicerina que fueron adicionadas. La Muestra 2 es el bioplástico fabricado con la lignina extraída por medio de hidrólisis acida.

11.8.2. Análisis espectroscopía infrarroja Muestra 1.

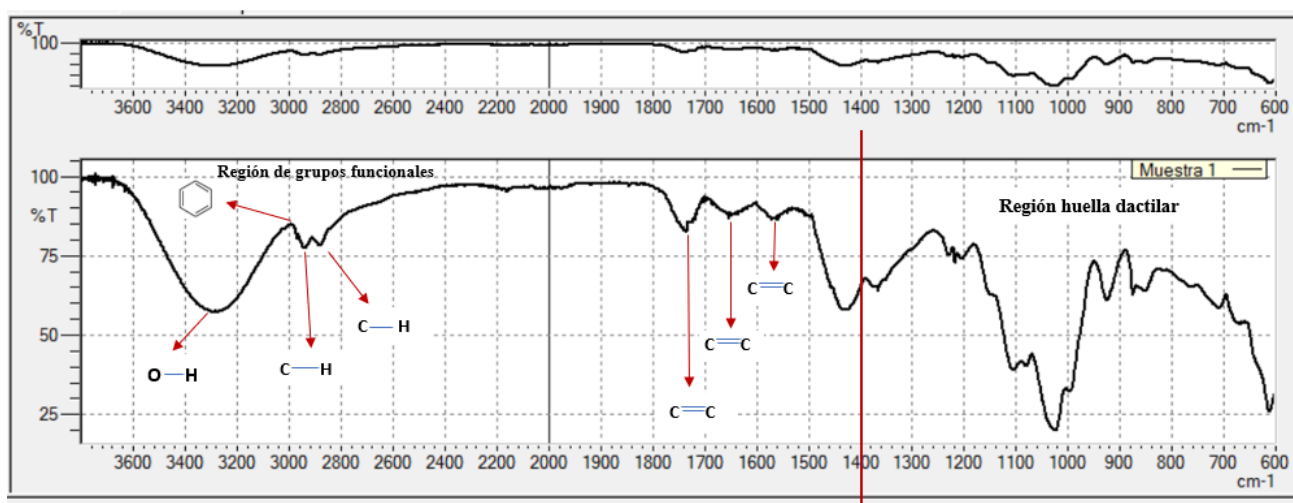


Ilustración 17-Espectro Muestra 1, Fuente: Creación propia

Muestra 2

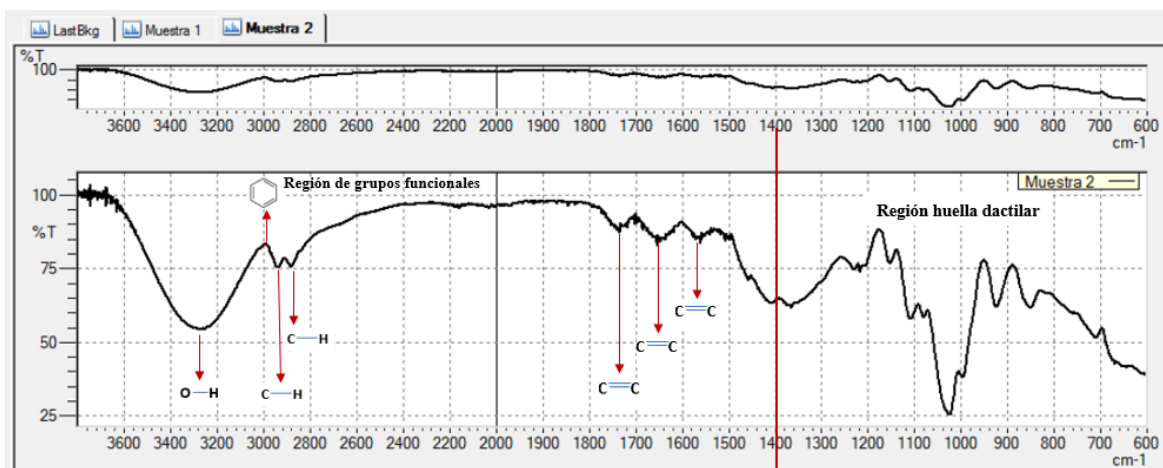


Ilustración 18- Espectro Muestra 2, Fuente: Creación propia

Para cada muestra se observan cuatro grupos de bandas correspondientes a los múltiples movimientos de tensión de los enlaces O-H, anillo bencénico, C-H y C-C.

Una absorción muy ancha, alrededor de 3300 cm^{-1} es característica de un grupo OH, debido a los continuos cambios en la muestra, las múltiples frecuencias de absorción de este enlace se conforman en una absorción ancha.

Debido a que no existe un alto momento dipolar, el enlace doble de Carbono generan absorciones débiles entre 1620 y 1680 cm^{-1} .

El enlace CH muestra vibraciones simétricas y asimétricas, las frecuencias de estiramiento dependen de la hibridación del carbono. La forma exacta depende del número de sustituyentes en el alqueno, que generalmente aparece como un pico agudo único, en este caso el tipo de enlace corresponde a CH sp^3 , puesto que la frecuencia de estiramiento está entre 2800 y 3000 cm^{-1} .

11.8.2.1. Análisis de los resultados

Se puede concluir que las tres muestras presentan el mismo pico entre el rango de longitud de onda de 1100 cm^{-1} a 900 cm^{-1} , presentan el mismo comportamiento con bioplásticos hechos con otras materias primas como se muestran en la ilustración 19 y en la ilustración 20.

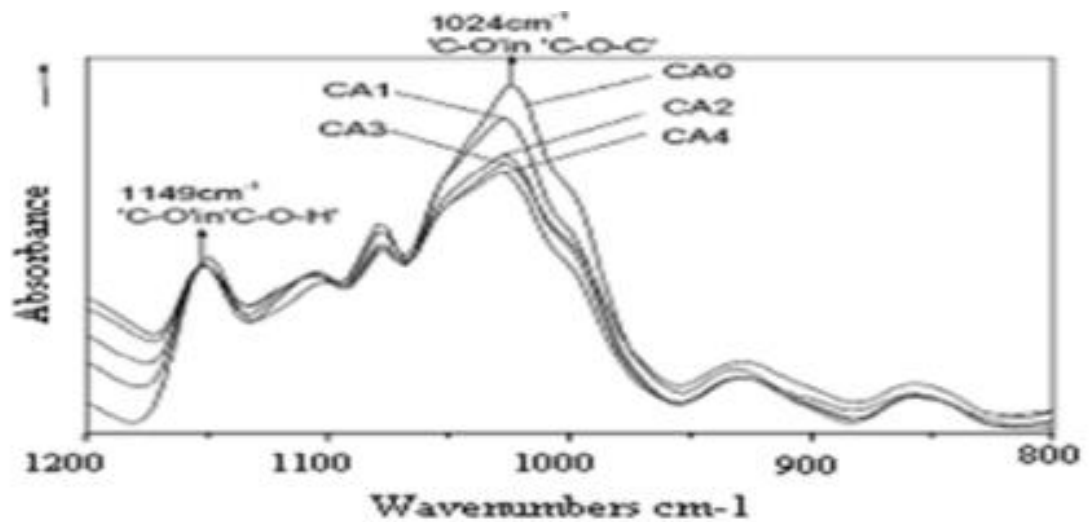


Ilustración 19-Espectroscopía de bioplástico hecho a partir de sagú. Fuente: (Zuraida, Yusliza, Anuar, & Muhaimin, 2012)

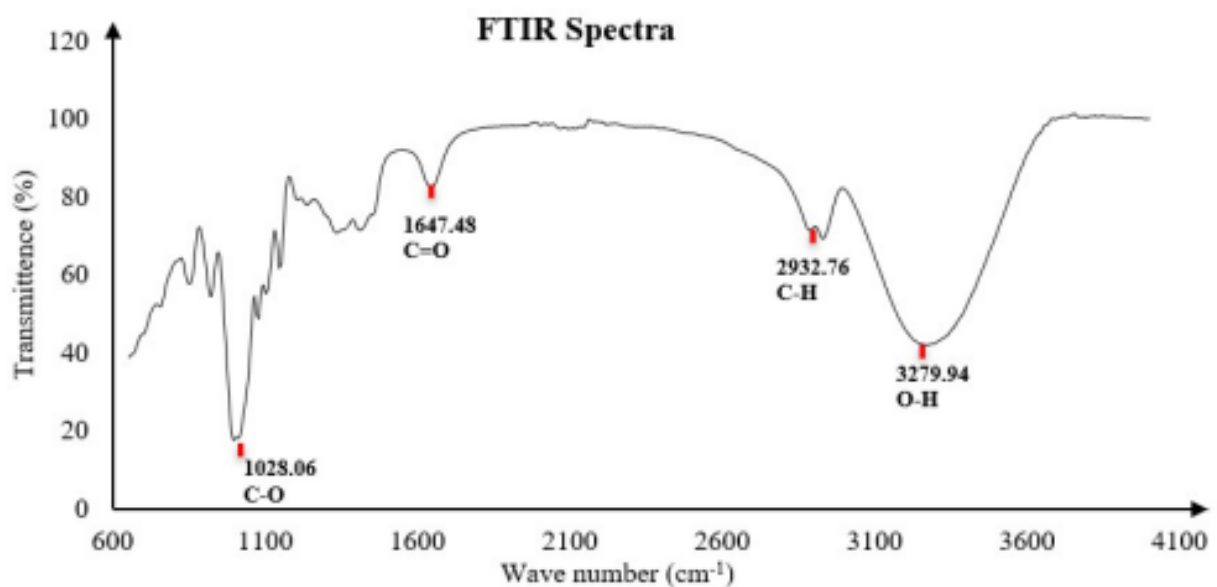


Ilustración 20-Espectroscopía de bioplástico del almidón de maíz, Fuente: (Lee & Yeo, 2021)

Como se puede apreciar, en las ilustraciones anteriormente mencionadas se presenta un pico cercano a la longitud de onda 1100 cm⁻¹, esto como resultado del almidón usado para la realización de los bioplásticos, siendo un ingrediente fundamental para la polimerización de las fibras naturales. Esta longitud de onda representa a los carbohidratos, como se muestra en la ilustración 21.

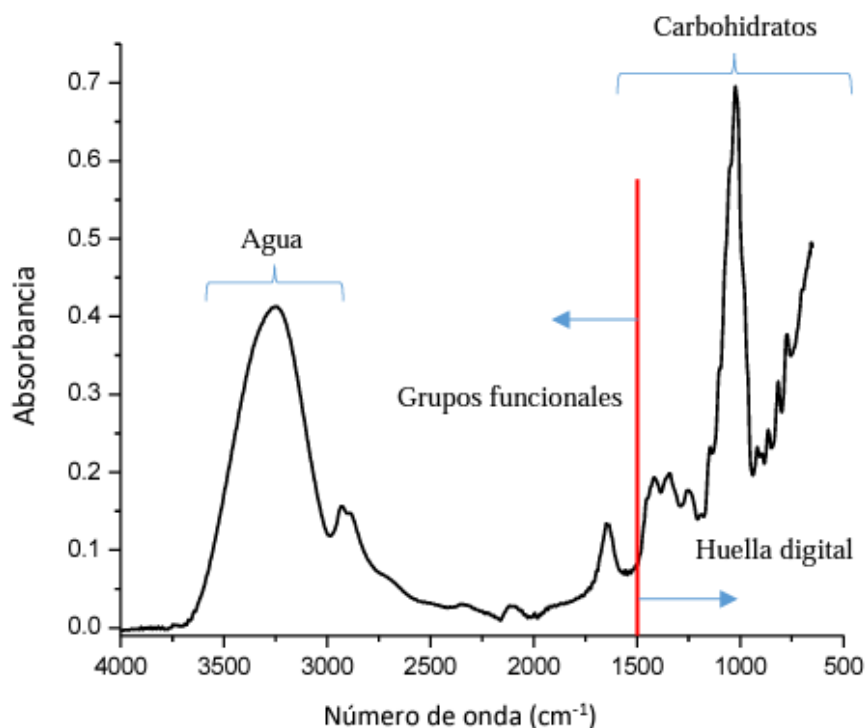


Ilustración 21-Rango de carbohidratos en la longitud de onda de la miel de abeja. Fuente: (Mondragón Cortez, 2020)

11.8.3. Comparación con espectrografía poliestireno

En este espectro, se observan claramente tres grupos de bandas correspondientes a los múltiples movimientos de tensión de los enlaces C-H a 2800 y 3200 cm⁻¹. C-C 1400 – 1600 cm⁻¹ del anillo aromático y a movimiento de flexión de C-H₂ y tensiones del anillo aromático entre 700 – 800cm⁻¹ (Velandia Cabra, 2017).

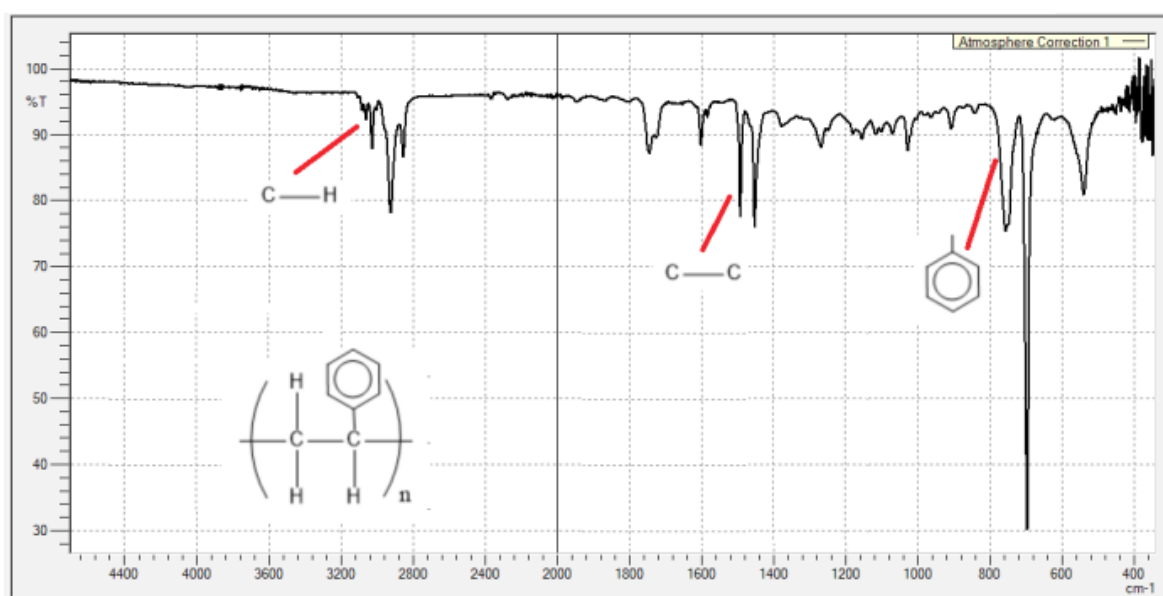


Ilustración 22- Análisis del espectro de poliestireno, Fuente: Velandia Cabra, 2017

11.8.4. Prueba de calor

Como se menciona en la parte de requerimientos del producto, es importante que el bioplástico tenga la capacidad de actuar como un termoplástico, quiere decir, que debe poder derretirse al calor y luego solidificarse, siendo un factor clave para su transformación en fibra y sea usado en la industria textil. Para este procedimiento, se toma un trozo del bioplástico y se calienta en un vaso de precipitado hasta que se torne líquido, luego se retira de la plancha, se deja reposar hasta enfriar y se verifica si vuelve a ser sólido. Durante el experimento se tomaron dos muestras de cada bioplástico (una muestra de 2,78 g del bioplástico hecho con la lignina extraída por hidrolisis y 3,24 g del bioplástico fabricado con la lignina impura), se agregó en un vaso precipitado y se sometió a una plancha de calentamiento a 200°C hasta que se volvió líquido. Posteriormente se dejó enfriar hasta solidificarse, observando que el bioplástico presentó una mayor dureza y densidad.



Ilustración 23- Prueba calor, Fuente: Creación propia

11.8.5. Prueba de resistencia frente al agua y biodegradabilidad

Se toma una muestra del bioplástico y se sumerge dentro de un recipiente con agua para analizar su biodegradabilidad, la muestra permanecerá 24 horas sumergida en medio acuoso para luego pesar su masa final, medir su grosor y determinar su dureza (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007). Se tomaron 2 muestras de cada bioplástico, una muestra de 2,43 g del bioplástico hecho con la lignina extraída por hidrolisis y 3,05 g del bioplástico fabricado con la lignina impura y se agregó en un vaso precipitado. Posteriormente en cada vaso se

añadieron 40 ml de agua. Al pasar 4 horas este dentro del agua empieza a notarse cambios físicos, como el que se observa en la ilustración 21. Se puede observar como este absorbe agua y se empieza a deshacer.



Ilustración 24- Prueba agua 4 horas, Fuente: Creación propia



Ilustración 25- Prueba agua y pH 24 horas, Fuente: Creación propia

12. ANÁLISIS DE COSTOS

Por medio de este análisis se realizará la identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo nuestro proyecto, se determinará la cantidad de recursos necesarios, es decir, la mano de obra, equipo y maquinaria necesaria asociados para la producción de bioplástico fabricado a partir de la Lignina a nivel industrial.

Costos Directos: Estos se relacionados directamente con la manufactura, con el producto que se va a vender como la mano de obra directamente involucrada, materias primas, servicios. Todo esto son costos variables, si se produce mucho se debe comprar mucho, si se produce poco se va a comprar poco.

Materia prima	Cantidad	Precio
Glicerina	1L	\$ 51.800,00
Ácido sulfúrico 98%	2,5L	\$ 162.203,00
Ácido Acético	1kg	\$ 9.450,00
Hidróxido de Sodio	1kg	\$ 24.000,00
Amidón	1kg	\$ 26.000,00
TOTAL	\$	273.453,00

Tabla 1-Costos de la materia prima usada en el proyecto.

Maquinaria	Costo	Cantidad	Precio
Horno de secado	\$ 2.900.000,00	1	\$ 2.900.000,00
Balanza Eléctrica	\$ 333.200,00	1	\$ 333.200,00
Molino Industrial	\$ 5.630.000,00	1	\$ 5.630.000,00
Plancha de calentamiento	\$ 2.000.000,00	3	\$ 6.000.000,00
Tamizador industrial	\$ 2.467.000,00	1	\$ 2.467.000,00
Bomba de vacío	\$ 496.900,00	2	\$ 993.800,00
TOTAL	\$		18.324.000,00

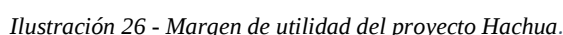
Tabla 2-Costos de los equipos y herramientas utilizados en el proyecto.

Insumos	Cantidad	PrecioXund	Precio total
Papel filtro	10	\$ 3.655,68	\$ 36.556,80
Tiras de indicador de pH	24	\$ 932,17	\$ 22.372,08
Crisol	5	\$ 203.490	\$ 1.017.450
Vaso precipitado 1000 ml	6	\$ 23.776	\$ 142.656
Embudo Buchner	2	\$ 136.454	\$ 272.908
Erlenmeyer	2	\$ 20.849	\$ 41.698
Vidrio de reloj	5	\$ 7.299	\$ 36.495
TOTAL			\$ 1.570.135,88

Tabla 3-Costos de los insumos utilizados en el proyecto.

En base al análisis de costo de materias primas y lo experimentado durante la práctica de laboratorio se identifica que el proceso de hidrólisis ácida para la extracción de la lignina es poco viable debido al uso de grandes cantidades de Ácido Sulfúrico con costos elevados y además de esto las consecuencias ambientales que este conlleva. Adicionalmente durante

Para el análisis de costos es de suma importancia el costo total de la maquinaria e insumos utilizados para llevar a cabo el producto final (bioplástico), en este costo se tiene en cuenta la cantidad de máquinas e insumos de laboratorio que se utilizaron durante la elaboración de bioplástico y el precio de cada uno.



13. CONCLUSIONES

Los bioplásticos se presentan como una estrategia ambiental para reducir la contaminación atmosférica, siendo esta una alternativa más ecológica, limpia en el proceso productivo y en su descomposición final; además cuentan con un alto potencial para mitigar el uso de combustibles fósiles, sin embargo, durante la realización del proceso de elaboración se cuentan con algunas limitaciones técnicas, entre estas se encuentra la hidrólisis ácida para la extracción de lignina, en este proceso se observó un costo elevado debido a las grandes cantidades de ácido sulfúrico que se deben usar durante el mismo, por la misma razón la cantidad de lignina que se logró extraer fue muy poca. Por esta última, también se agregó muy poca lignina a la composición del bioplástico, por esta razón el bioplástico no gana la dureza suficiente, aunque

esto también se le atribuye a que se pudo haber agregado más glicerina que cumple la función de ser plastificante en el proceso de fabricación.

Dado que durante la práctica no fue posible realizar ensayos de resistencia de materiales sometiéndolo a una presión de esfuerzo, se observa que este no es totalmente rígido y presenta elasticidad, el material demostró ser un polímero según los resultados de la espectroscopía infrarroja y apto para la industria textil en cuanto al poder solidificarse nuevamente después de ser sometido a altas temperaturas para convertirlo en líquido. Se sugiere que en próximas investigaciones se experimente si este material se puede convertir en fibra o mezclarlo con otros materiales de la industria textil para determinar cómo se podría usar este bioplástico en esta industria. En cuanto a la biodegradabilidad, se evidencio que este si se degrada en el agua, aunque este afecta la alcalinidad del agua.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., & Riera, M. A. (2020). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) (Obtaining bioplastic from corn starch (*Zea mays* L.)).
- BADECOL. (s.f.). Badecol Balanzas de Colombia. Obtenido de Balanza de mesa electrónica : https://www.badecol.com/products/balanza-de-mesa-electronica-contadora-prixma?variant=40775973339291¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2021-11-29&utm_source=google&utm_m
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46.
- Colombia, C. d. (21 de Julio de 2020). Congreso de la república de Colombia . Obtenido de PL insentivo sector textil: <http://leyes.senado.gov.co/proyectos/images/documentos/Textos%20Radicados/proyectos%20de%20ley/2020%20-%202021/PL%20117-20%20Incentivo%20Sector%20Textil.pdf>
- Garzón Ramírez, A. M. (2018) Desarrollo de una propuesta para la elaboración de un material para empaques de calzado a partir de un aglomerado compuesto de retazos de cuero y lignina extraída de hojas de maíz (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7209>
- Gibbens, S. (16 de noviembre de 2018). Todo lo que necesitas saber sobre los bioplásticos. Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2018/11/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-los-bioplasticos>
- Hincapié Quimbayo, L. A. (2018). Aprovechamiento de la hoja de mazorca y sus propiedades para la reconversión de una nueva materia prima. Pereira: Universidad Católica de Pereira.
- Irina Voevodina, A. K. (2020). *plastice*. Obtenido de Bio.based Polymers : <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/ueber-uns/nationale-infostelle-nachhaltige-kunststoffe/bio-based-polymers.pdf>
- Lee, C. Y., & Yeo, W. S. (2021). A Basic Characterization Study of Bioplastics via Gelatinization of Corn Starch. Sarawak, Malasia.
- López Gómez, A. (2017). Diseño y evaluación de formulaciones adhesivas para materiales lignocelulósicos a partir de lignina obtenida de dos procesos de pulpeo, kraft y acetosolv.
- Mateos, F. L., Aguilar, M. A. M. Z., de Alva, H. E., Pérez, A., García, J. C., Morales, M. G., & Alfonso, J. E. M. (2011). Caracterización y aplicación de lignina de *Paulownia* obtenida mediante un proceso de autohidrólisis y deslignificación NaOH/antraquinona. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 68(553), 189-194.

- Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (diciembre de 2007). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. Envigado, Antioquia, Colombia.
- Mercado Libre. (s.f.). Mercado Libre. Obtenido de Hornos de secado industriales: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-876493622-horno-para-secado-de-muestras-_JM#position=18&search_layout=stack&type=item&tracking_id=46434a3e-47a8-4d97-892f-9284a92e180c
- Mondragón Cortez, P. (septiembre de 2020). Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas. Zapopan, Jalisco, México.
- Orellana Vázquez, K.C. (2018). Estudio de la degradabilidad del PCL (Policaprolactona) dosificado con la Lignina extraída de la fibra de banano. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15179>
- Quimbayo, L. A. (2018). Aprovechamiento de la hoja de mazorca y sus propiedades para la reconversión de una nueva materia prima. Obtenido de <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/5318/4/DDMDI94.pdf>
- Red de desarrollo sostenible. (17 de mayo de 2020). Obtenido de En busca de bioplásticos para la fabricación de tejidos con propiedades avanzadas: <https://www.rds.org.co/es/novedades/en-busca-de-bioplasticos-para-la-fabricacion-de-tejidos-con-propiedades-avanzadas>
- Renales Ríos, A. S. (2018). Evaluación de la contaminación del agua en la obtención de pulpa a la soda a diferentes concentraciones a partir del pseudotallo de plátano (*Musa spp*) proveniente de la provincia de Padre Abad, región Ucayali, en los meses de marzo-agosto del 2016.
- Rivera, A. L. O. (2009). Tratamiento por acidificación controlada del licor negro derivado del bagazo de caña para la recuperación de lignina y reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Maestría en Ecotecnología).
- Semana. (2 de marzo de 2021). Susto en el agro: precios de los insumos están por las nubes. Obtenido de Semana: <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/susto-en-el-agro-precios-de-los-insumos-estan-por-las-nubes/202134/>
- Semana. (20 de febrero de 2020). Proponen convertir los residuos textiles en materiales de construcción. Obtenido de Semana: <https://www.semana.com/impacto/articulo/proponen-convertir-los-residuos-textiles-en-materiales-de-construccion/48686/>
- Silva, B. (9 de septiembre de 2021). Franca Magazine. Obtenido de El bioplástico y los bioplásticos utilizados en la industria textil: <https://francamagazine.com/el-bio-nylon-y-los-bioplasticos-utilizados-en-la-industria-textil/>

- Stellman, J., McCann, M., Warshaw, L., Brabant, C., Finklea, J., H. Coppée, G., . . . Terracini, B. (1998). ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Thomas, S., Durand, D., Chassenieux, C., & Jyotishkumar, P. (2013). Handbook of Biopolymer-Based Materials. Weinheim: Wiley.
- Velandia Cabra, J. R. (2017). Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. Bogotá D.C.: ONTARE.
- Zuraida, A., Yusliza, Y., Anuar, H., & Muhaimin, R. (2012). The effect of water and citric acid on sago starch bioplastics. Kuala Lumpur, Malasia.