



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Elaboración de hojas de papel y bio-plástico a
partir de tallos de rosa (Rosa)**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICA**

**P R E S E N T A:
NAYELI YOKARET SÁNCHEZ MONTES**

ASESOR: Q. CELESTINO SILVA ESCALONA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

Elaboración de hojas de papel y bio-plástico a partir de tallos de rosa (Rosa)

Que presenta la pasante: **Nayeli Yokaret Sánchez Montes**
Con número de cuenta: **415064969** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Química**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de Julio de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Q. Celestino Silva Escalona	
VOCAL	I.A. Ana María Sixto Berrocal	
SECRETARIO	I.Q. Elvia Mayen Santos	
1er. SUPLENTE	I.Q. Miguel Ángel Vázquez Flores	
2do. SUPLENTE	Dra. Francisca Alicia Rodríguez Pérez	

NOTA: los sindonales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

DEDICATORIAS

A mis padres Antonio Sánchez y Lucia Montes por su apoyo incondicional, por enseñarme a ser paciente y perseverante aún en los momentos más difíciles, por soportar mis momentos de enojo y estrés, por todos los sacrificios que han hecho para que pueda realizar mis metas, gracias por cuidar siempre de mí y brindarme su inmenso amor. Mil gracias a ambos, los amo.

A mi hermano Samy por estar siempre al pendiente de mí, eres mi modelo a seguir, tú ejemplo de constancia y amor a tu profesión me motiva cada día.

A mis familiares en especial Alba Barragan, Sandra Coronado, Juan Coronado, Yolanda Rayas, Teresa Rayas y Jacinto Yañez por sus consejos, motivarme a seguir adelante, creer en mí cuando ni yo misma lo hacía y ofrecerme su apoyo.

A mis amigos en especial Kary, Jaqui, Alexs, Brendilla y Rosa gracias por todos estos años que han estado junto a mí, por todos esos momentos de risas, tristezas, preocupaciones, enojos, en fin ustedes hacen que mi vida sea más amena.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser miembro de su comunidad y forjarme como profesionista.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por todos los conocimientos recibidos, por los extraordinarios recuerdos, buenas amistades y por todas las personas que a través de ella conocí.

Al Q. Celestino Silva por permitirme desarrollar este trabajo bajo su dirección, compartirme sus conocimientos y por el tiempo dedicado para la culminación del mismo.

A la Dra. Alicia Rodríguez por brindarme su asesoría y ayuda en el análisis para la identificación de la lignina, así como sus valiosos consejos.

Hay algo en mí que podría ser ilusión, como pasa a menudo con la gente joven entusiasta, pero si tuviese la fortuna de lograr algunos de mis ideales, sería en nombre de toda la humanidad.

NIKOLA TESLA, 1892

Contenido

RESUMEN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	6
1.1 FIBRA CELULÓSICA	6
1.1.1 <i>Celulosa</i>	6
1.1.1.1 Estructura	6
1.1.2 <i>Fuentes de fibra para la obtención de pasta y papel</i>	7
1.1.2.1 Los rosales	8
1.1.2.1.1 Origen.....	9
1.1.2.1.2 Morfología	9
1.1.2.1.3 Tipos de rosas	10
a) Especies silvestres de rosas (rosal silvestre).....	10
b) Rosales antiguos (rosas viejas, rosal antiguo)	10
c) Rosales modernos	11
1.1.3 <i>Métodos de obtención de fibra celulósica</i>	11
1.1.3.1 Método mecánico	11
1.1.3.2 Método químico	12
a) Proceso alcalino o al sulfato	12
b) Proceso al sulfito	13
1.2 LICOR NEGRO	13
1.2.1 <i>Lignina</i>	14
1.2.1.1 Generalidades	14
1.2.1.2 Estructura de la lignina.....	14
1.2.1.3 Tipos de lignina	15
1.3 BIO-PLÁSTICO	15
1.3.1 <i>Biodegradabilidad</i>	16
1.3.2 <i>Tipos de bio-plásticos</i>	16
1.3.3 <i>Aplicaciones de los bio-plásticos</i>	17
1.3.4 <i>Caracterización del bio-plástico</i>	18
1.3.4.1 Espesura	18
1.3.4.2 Permeabilidad al vapor de agua	18

1.3.4.3 Solubilidad en agua	19
1.3.4.4 Biodegradación	19
1.4 MATRIZ POLIMÉRICA Y PLASTIFICANTES	20
1.4.1 Almidón.....	20
1.4.1.1 Amilosa	20
1.4.1.2 Amilopectina.....	21
1.4.2 Glicerol.....	21
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	23
2.1 HOJAS DE PAPEL	23
2.1.1 <i>Diagrama de bloques del proceso</i>	23
2.1.2 <i>Materiales, equipos y reactivos</i>	24
2.1.3 <i>Experimentación</i>	24
i. Obtención de materia prima	24
ii. Deshojado y corte	25
iii. Digestión.....	26
iv. Lavado de la pulpa celulósica	26
v. Licuado de la pulpa celulósica	27
vi. Blanqueamiento de la pulpa celulósica.....	27
vii. 2 ^{do} lavado de la fibra celulósica.	28
viii. Adición de cargas y aditivos.	28
ix. Formación de las hojas	28
x. Prensado de las hojas.....	29
xi. Secado de las hojas	30
xii. Obtención de las hojas	30
2.2 BIO-PLÁSTICO	31
2.2.1 <i>Diagrama de bloques del proceso</i>	31
2.2.2 <i>Materiales, equipos y reactivos</i>	31
2.2.3 <i>Experimentación</i>	32
i. Precipitación de la lignina	32
ii. Filtrado y lavado.....	33
iii. Secado	34
iv. Solubilización	34
v. Adición de matriz polimérica, plastificante y disolvente	35
vi. Colocación en molde	35
vii. Obtención de la película de bio-plástico	36
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	37
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS HOJAS DE PAPEL	37

3.1.1	<i>Espesor</i>	37
3.1.2	<i>Peso base</i>	38
3.1.3	<i>Densidad aparente</i>	40
3.1.4	<i>Bulk (Volumen específico aparente)</i>	40
3.1.5	<i>Contenido de humedad</i>	41
3.1.6	<i>Resistencia de la superficie</i>	42
3.1.7	<i>Encolado</i>	44
3.1.8	<i>Escritura</i>	45
3.1.9	<i>pH</i>	46
3.2	CARACTERIZACIÓN DE LA LIGNINA	48
3.2.1	<i>Espectrofotometría UV-VIS</i>	48
3.2.2	<i>DSC</i>	49
3.2.3	<i>TGA</i>	50
3.3	CARACTERIZACIÓN DEL BIO-PLÁSTICO	51
3.3.1	<i>Espesura</i>	51
3.3.2	<i>Permeabilidad al vapor de agua</i>	52
3.3.3	<i>Solubilidad en agua</i>	53
3.3.4	<i>Biodegradación</i>	55
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS		56
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		63
ANEXO 1		68
	NORMATIVIDAD	68
ANEXO 2		72
	DIAGRAMAS DE LA LIGNINA EN LA LITERATURA	72
	<i>Espectro UV-VIS</i>	72
	<i>DSC</i>	73
	<i>TGA</i>	74
ANEXO 3		75
	CÁLCULOS EXPERIMENTALES	75
	<i>Hojas de papel</i>	75
	<i>Bio-plástico</i>	77

RESUMEN

Existe gran variedad de fuentes para la obtención del papel, el problema siempre ha sido que no son tan reconocidas como lo es el uso de maderas, generando una alta demanda de estas y con eso la destrucción tanto de fauna y flora, generando un impacto medioambiental, en este trabajo se utilizó una materia prima que es considerada un residuo contaminante (lo cual es aún más favorable al ambiente) dándole así un buen uso al elaborar las hojas de papel a partir de los tallos de rosas.

Ya que las industrias papeleras también generan residuos contaminantes, lo anterior mencionado fue como resolver un problema pero generando otro (los licores negros), por esta razón igual se le dio un buen uso a estos licores para obtener lignina y con ayuda de plastificantes se obtuvieron películas de bio-plástico, contribuyendo así a la preservación del medio ambiente.

ANTECEDENTES

La importancia del papel es grande ya que este es muy utilizado en la vida cotidiana, tiene distintos usos y aplicaciones por ejemplo la forma de transmitir conocimientos, ya que anteriormente solo era de forma oral, con este cambio se pudo lograr que más personas tuvieran acceso a la educación y a variados textos de diferentes categorías como lo son religiosos, políticos, etcétera.

La fabricación de pasta, papel y derivados del papel alcanza cifras que sitúan esta industria entre las más grandes del mundo. Hay fábricas en más de 100 países repartidos por todo el mundo, con más de 3.5 millones de personas directamente empleadas. Los mayores productores de pasta y papel son Estados Unidos, Canadá, Japón, China, Finlandia, Suecia, Alemania, Brasil y Francia (todos ellos con cifras superiores a 10 millones de toneladas en 1994). Todos los países son consumidores. Además de sus ventajas económicas, el consumo de papel tiene el valor cultural inherente a la función que desempeña en el registro y difusión de la información. Por esta razón, la tasa de consumo de pasta y papel se ha utilizado como indicador del desarrollo socioeconómico de una nación.³⁵

Para la obtención de pulpa celulósica existen dos principales métodos, estos son el método mecánico y el método químico, los cuales se explicarán brevemente a continuación:

Método químico: Se utiliza principalmente el método alcalino (el cual involucra el proceso kraft y el de la sosa cáustica, para ambos se realiza una cocción en NaOH) o el método del sulfito (la cocción se realiza principalmente en compuestos de sulfito).

Método mecánico: Las fibras celulósicas se desgarran utilizando métodos mecánicos, este es más eficiente pero con pasta de menor calidad comparada con el método químico. Se utilizan resinas ácidas que son muy tóxicas y son difíciles de degradar (aunque estas existan en la naturaleza).

Los licores negros son catalogados como contaminantes físicos, ya que estos contaminan debido a todos los compuestos disueltos que presentan, esto debido principalmente a la presencia de lignina en las aguas residuales, los licores negros también pueden incinerarse pero estos liberan gases de efecto invernadero los cuales son la principal causa del cambio climático.

JUSTIFICACIÓN

La materia prima común para la elaboración de hojas de papel son las maderas, lo cual compromete la deforestación de bosques y termina con los hogares de muchas especies de fauna y flora, aquí se propone utilizar fuentes que son contaminantes al medio ambiente pero que al tratarlas se les da un buen uso, en este caso los tallos de rosa, pues no se les pueden utilizar para alimentar animales o emplearlos de otra manera, este tipo de desecho al descomponerse genera malos olores y es un lugar ideal para bichos e insectos, siendo esta la razón principal para usarlos como materia prima.

Otro punto importante es que al elaborar hojas se obtienen como residuos de la digestión los licores negros, estos generalmente son alcalinos y solo se neutralizan y desechan sin obtener beneficio de ellos, en el presente trabajo se toman estos residuos y a partir de ellos se obtienen películas de bio-plástico el cual comparado con plásticos comunes se degrada en menor tiempo y es más amigable con el ambiente al proceder de fuentes naturales.

OBJETIVOS

- Elaborar hojas de papel a partir de tallos de rosa, brindando así una alternativa al uso excesivo de maderas como materia prima.
- Elaborar películas de bio-plástico a partir del licor negro obtenido en la digestión de la celulosa en los tallos de rosa.

INTRODUCCIÓN

Se cree que la fabricación de papel tiene su origen en China hacia el año 100 d.C: se utilizaban trapos, cáñamo, paja y hierba como materias primas y se golpeaban contra morteros de piedra para separar la fibra original. Aunque con el tiempo ganó terreno la mecanización, hasta el siglo XIX siguieron utilizándose los métodos de producción por lotes y las fuentes de fibra agrícolas. Las primeras máquinas continuas de papel se patentaron en los años de cambio del siglo XIX al XX. Entre 1844 y 1884 se desarrollaron los primeros métodos para la obtención de pasta de madera, una fuente de fibra más abundante que los trapos o las hierbas; estos métodos implicaban la abrasión mecánica y la aplicación de procedimientos químicos a base de sosa cáustica, sulfitos y sulfatos (celulosa al sulfato). Con estos cambios se inició la era moderna de la fabricación de pasta y de papel.³⁵

Las hojas de papel han sido claves para transmitir información a diferentes generaciones, pero esta industria lamentablemente es de las más contaminantes por los químicos utilizados para la obtención de celulosa, sin mencionar el uso sin límites de la fuente principal de materia prima, esto nos lleva a tomar conciencia del rumbo que se está tomando al ser cada vez más grande la demanda de este producto, existen opciones alternas como el reciclar, pero para poder generar papel de calidad se necesita una parte de celulosa no reciclada y una porción de celulosa (papel) reciclado, esto disminuye la demanda de fuentes forestales pero no lo suficiente, es por eso que en el presente trabajo se propone una fuente de materia prima alternativa, la cual comúnmente no tiene otro uso y solo se queda como un residuo sólido.

Además se pretende reciclar los residuos obtenidos en la digestión (llamado licor negro) buscando alguna aplicación, obteniendo productos secundarios como la lignina con la cual en estudios recientes se obtiene bio-plástico. Este puede ser utilizado para elaborar bolsas, cubiertos, etcétera, los cuales son biodegradables, remplazando a los plásticos convencionales que son una increíble fuente de contaminación y un gran problema para la sociedad actual y futuras generaciones.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Fibra celulósica

1.1.1 Celulosa

La celulosa es la sustancia orgánica más abundante en la naturaleza, constituye el soporte estructural de las plantas superiores y está distribuida en todos sus tejidos.¹⁶

La celulosa es una sustancia incolora, insoluble en agua en la mayor parte de los disolventes orgánicos. Se disuelve bien en una disolución amoniacal de hidróxido de cobre (II) (reactivo de *Schweizer*), formando un complejo. También es soluble en ácido clorhídrico concentrado, si bien tiene lugar una degradación a productos de bajo peso molecular. La celulosa posee gran importancia industrial, se obtiene preferentemente de la madera o de la paja. Las fibras vegetales como algodón, yute, lino, cáñamo y ramio, son prácticamente celulosa pura. La madera de las coníferas y de los árboles de fronda constan de 40-50 % de celulosa, junto con 25-30 % de hemicelulosas y otro tanto de lignina incrustada.⁶

1.1.1.1 Estructura

Es una cadena lineal de unidades de glucopiranosas unidas entre sí por enlaces β -glicosídicos entre el carbono 1 de una unidad y el grupo hidroxilo del carbono 4 de otra unidad. Es decir, consiste en largas cadenas de anillos de seis eslabones en la conformación silla más estable, con todos los sustituyentes más voluminosos en las posiciones ecuatoriales.¹⁶

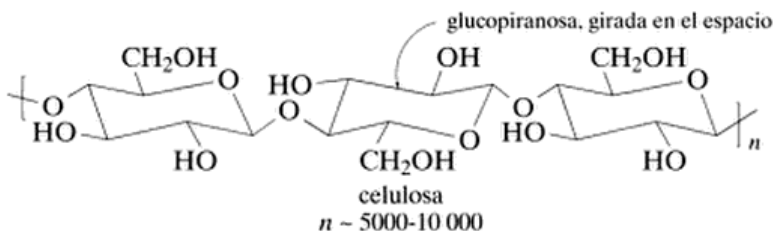


Figura 1. Estructura química de la celulosa.¹⁶

Las cadenas individuales de celulosa están asociadas entre sí formando estructuras regulares que poseen ciertas propiedades cristalinas. Entre 100 y 200 moléculas de celulosa, aproximadamente, se agrupan formando grandes unidades estructurales. Si bien la naturaleza exacta de las interacciones entre las moléculas no se ha determinado, parece ser que los enlaces por puente de hidrógeno entre las cadenas individuales vecinas juegan un papel fundamental en la determinación de la fuerza y la rigidez de la celulosa como soporte estructural.¹⁶

1.1.2 Fuentes de fibra para la obtención de pasta y papel

La estructura básica de la pasta y el papel es un entramado de fibras de celulosa (un polisacárido con 600 a 1000 unidades de sacarosa) unidas mediante enlaces de hidrógeno. Una vez separadas del resto de componentes no celulósicos, mediante el proceso de elaboración de la pasta de papel, estas fibras tienen alta resistencia a la tracción, absorben los aditivos empleados para transformar la pasta en papel y cartón, y son flexibles, químicamente estables y blancas. Esos componentes no celulósicos son, en el caso de la madera, principalmente hemicelulosas (con 15 a 90 unidades iguales de sacarosa), ligninas (altamente polimerizadas y complejas, fundamentalmente monómeros de fenil-propano; actúan como aglutinante de las fibras), extractos (grasas, ceras, alcoholes, fenoles, ácidos aromáticos, aceites esenciales, oleorresinas, esteroides, alcaloides y pigmentos colorantes), y minerales y otros compuestos inorgánicos. La principal fuente de fibra para la fabricación de pasta y de papel es la madera de coníferas y de especies arbóreas de hoja caduca. Fuentes secundarias son la paja de trigo, el centeno y el arroz; cañas, como el bagazo; los tallos leñosos del bambú, lino y cáñamo, y fibras de semillas, hojas y cortezas, como las del algodón, el abacá y el henequén o sisal.³⁵

Es necesario conocer la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina de la materia prima que se pretende utilizar; la tabla 1 nos muestra la cantidad que contienen diferentes materias primas usadas para la elaboración de papel.

Tabla 1. Materias primas usadas para elaboración de papel.²¹

Material	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Maderas blandas	38-46	23-31	22-34
Maderas duras	38-49	20-40	16-30
Paja	28-42	23-38	12-21
Bambú	26-43	25-26	20-32
Algodón	80-85	n.d	n.d
Hoja tusa del maíz	18-40	11.34-31	14-19
Tallo del clavel	40-50	25-45	20-25
Corona de piña	11-45	14-50	10-30
Tallo de rosa	45-50	20-25	20-25
Cáscara de naranja	16.2	13.8	1
Tallo de maíz	50	20	30
Bagazo de plátano	55.65	14	11.58

De acuerdo a la tabla 1 los tallos de rosa contienen una buena cantidad de celulosa y lignina lo cual favorece en la elaboración de hojas de papel y bio-plástico respectivamente, aunque también es necesario comprobar las propiedades físicas de estos.

1.1.2.1 Los rosales

Las rosas son las plantas más conocidas de la civilización tanto actualmente como en años atrás, estas han captado la atención humana por su belleza y aroma de sus flores. Siempre se les ha considerado como un símbolo del amor y de la belleza, siendo ofrecidas a dioses en ofrendas, como el uso de su esencia en perfume, o incluso los pétalos de estas se usan para tomar baños, entre otras aplicaciones.

Los rosales son arbustos conformados por tallos de aproximadamente 6-8 centímetros de grosor y 2-3 metros de alto.

Como se mencionó anteriormente los rosales son muy conocidos, pero lo importante de estos es su flor (a la que se le dan distintos usos),

mientras que los tallos pasan desapercibidos volviéndose simples desechos que al degradarse provocan malos olores.

1.1.2.1.1 Origen

Existen referencias a las rosas desde la antigüedad, la mayoría de ellas provenientes de Asia y África. Escritos chinos sobre jardinería de la época imperial hacen referencia al cuidado de estas flores, las cuales eran codiciadas por su fragancia. De igual modo, en el Antiguo Egipto, e incluso en algunas imágenes de la época, se puede observar la presencia de rosas antiguas, las cuales acompañaban las acciones relacionadas a la belleza. Incluso ahora, en Marruecos y Turquía, la aromaterapia en base a estas plantas sigue siendo bastante popular.¹⁹

Los investigadores piensan que fueron los griegos quienes, en sus periplos de exploración, llegaron a introducir estas flores al resto de Europa. La cultura y la mitología hicieron su parte al adoptar la rosa como símbolo de algunas diosas, de la pasión y el amor.¹⁹

1.1.2.1.2 Morfología

Los rosales son plantas arbustivas, algunas trepadoras, con tallo generalmente espinoso.²⁵

- Tallo: Presentan tallos semileñosos, casi siempre erectos (en ocasiones son rastreros), de textura, en su mayoría rugosa y escamosos, con notables formaciones epidérmicas de variadas formas, estípulas persistentes y bien desarrolladas (espinas).
- Hoja: Sus hojas pueden ser perennes o caducas, pecioladas, compuestas e imparipinnadas, con folíolos de margen serrado (5-11 folíolos). Por lo general, suelen presentar glándulas anexas sobre los márgenes que pueden ser odoríferas o no.
- Flor: Debido a la gran cantidad de hibridaciones, existen flores de diversas formas y características diferentes. Por lo general, son hermafroditas, con simetría radial, perianto bien desarrollado y se disponen de forma solitaria o en inflorescencias en corimbo.

- Fruto: Es conocido como cinorrodon. Se trata de un poliaqueno encerrado en un receptáculo carnoso, oval y de color rojizo en su madurez.

1.1.2.1.3 Tipos de rosas

En general son clasificadas en 3 tipos¹⁸, estas son:

- a) Especies silvestres de rosas: las que existen en la naturaleza.
- b) Rosales antiguos: variedades de rosas anteriores a 1867.
- c) Rosales modernos: variedades de rosas posteriores a 1867.

a) Especies silvestres de rosas (rosal silvestre)

Algunos de los rosales silvestres más difundidos¹⁸ son:

- Rosa banksiae
- Rosa canina
- Rosa centifolia
- Rosa damascena
- Rosa eglanteria
- Rosa gallica
- Rosa pimpinellifolia
- Rosa rugosa
- Rosa virginiana

b) Rosales antiguos (rosas viejas, rosal antiguo)

Son poco conocidos por el gran público. Poco a poco se van utilizando más, pues son increíblemente fuertes y robustos. No requieren de muchos cuidados y tienen menos problemas de plagas y enfermedades.¹⁸

Los rosales antiguos se clasifican en 13 grupos principales¹⁸:

- Alba
- Borbonianos
- Centifolia
- China
- Damascenos
- Gallica

- Híbrido perpetuo
- Musgoso
- Noisettianos
- Patio
- Portland
- Sempervirens
- Té

c) Rosales modernos

De los 3 grupos de rosas, silvestres, antiguos y modernos, este último es el más popular hoy en día y del que existe un mayor número de variedades. Más del 95 % de los rosales que se plantan son rosales modernos.¹⁸

Estos son los 9 grupos principales de rosas modernas¹⁸:

- Arbustivos
- Híbridos de Té
- Floribunda
- Grandiflora
- Polyantha
- Trepadores
- Sarmentosos
- Miniatura
- Tapizantes

1.1.3 Métodos de obtención de fibra celulósica

1.1.3.1 Método mecánico

Las pastas mecánicas se producen triturando la madera contra una piedra o entre placas metálicas, para que se separen las fibras. La acción de las máquinas rompe estas fibras de celulosa, por lo que la pasta resultante es más débil que la separada químicamente. La lignina que une la celulosa a la hemicelulosa no se disuelve, simplemente se ablanda, permitiendo que las fibras se asienten fuera de la estructura de la madera. El rendimiento (proporción de la madera inicial en la pasta) suele ser superior al 85 %.³⁵

Aunque este método tiene un buen rendimiento en cuanto a la madera inicial, realmente no tiene la misma cantidad de celulosa que se puede obtener en el método químico.

1.1.3.2 Método químico

La pasta química se produce disolviendo químicamente la lignina dispuesta entre las fibras de la madera, con lo cual se separan éstas sin dañarse de forma sustancial. Como en estos procesos se eliminan muchos de los componentes no fibrosos de la madera, los rendimientos son normalmente del 40 al 55 %.³⁵

Se tienen dos procesos de mayor relevancia para la obtención de pulpas químicas y son el proceso alcalino o al sulfato y el proceso al sulfito.

a) Proceso alcalino o al sulfato

El procedimiento al sulfato produce una pasta más fuerte y oscura, y requiere la recuperación química para poder competir económicamente. Su punto de partida está en el procedimiento a la sosa (que utiliza únicamente hidróxido sódico para la digestión) y comenzó a adquirir importancia en la industria del decenio de 1930 al de 1950 con el desarrollo del blanqueo por dióxido de cloro y la implantación de procedimientos químicos de recuperación, que también producen vapor y energía para la fábrica.³⁵

La mezcla de cocción (licor blanco) es hidróxido sódico (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S). La moderna pasta kraft se transporta generalmente en digestores continuos con frecuencia revestidos de acero inoxidable. La temperatura del digestor se sube lentamente hasta unos 170 °C y se mantiene a ese nivel durante 3 o 4 horas. La pasta (llamada “parda”, por su color) se tamiza para separar los trozos de madera que hayan quedado sin digerir, se lava para separar la mezcla de cocción utilizada (ahora licor negro) y se envía a la nave de blanqueado o a la máquina de producción de pasta. La madera sin digerir se devuelve al digestor o a la caldera para quemarla y producir energía. El licor negro recogido del digestor y el “papel pardo” de los lavaderos contiene sustancias orgánicas disueltas cuya composición química exacta depende de las

características de la especie de la madera y de las condiciones de la cocción.³⁵

b) Proceso al sulfito

Suele utilizarse la digestión en medio ácido, existen variantes en las que se emplean un medio neutro o un medio básico. El licor de cocción de ácido sulfuroso (H_2SO_3) e ion bisulfito (HSO_3^-), se prepara *in situ*. Se quema azufre elemental para producir dióxido de azufre (SO_2), que se hace pasar a través de una torre de absorción que contiene agua y una de las cuatro bases alcalinas (CaCO_3 , el sulfito original, Na_2CO_3 , hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) o hidróxido amónico (NH_4OH) que producen el ácido y el ion y controlan sus proporciones. Normalmente, la pasta al sulfito se carga en digestores discontinuos revestidos de ladrillos. Para evitar reacciones no deseadas, los digestores se calientan lentamente hasta una temperatura máxima de 130 a 140 °C, y las astillas se cuecen durante 6 a 8 horas. Al aumentar la presión del digestor, el dióxido de azufre gaseoso (SO_2) se purga y se vuelve a mezclar con el ácido de la cocción. Cuando quedan aproximadamente de 1 a 1.5 horas de cocción, se interrumpe la calefacción y se disminuye la presión extrayendo gas y vapor de agua. La pasta se descarga en un tanque, se lava y criba. La mezcla usada en la digestión, llamada licor rojo, se puede utilizar para recuperar calor y productos químicos en todos los procedimientos menos en el que tiene como base bisulfito sódico. Para la pasta al sulfito amónico, el licor rojo diluido se deja para eliminar el SO_2 residual, se concentra y se quema. El gas que sale contiene SO_2 se enfría y se pasa a través de una torre de absorción en la que se combina con amoniaco para regenerar el licor de cocción. Finalmente, el licor se filtra, se refuerza con SO_2 y se almacena. El amoniaco no se puede recuperar porque se transforma en nitrógeno y agua en la caldera de recuperación.³⁵

1.2 Licor negro

Residuo generado en el proceso de cocción química de las astillas para la obtención de pulpa química, kraft o pasta woodfree. Básicamente está

compuesto por licor blanco, lignina y hemicelulosas que se separan de la celulosa por la cocción y reacción química.²⁷

Es una solución acuosa, compleja, constituida por componentes orgánicos (lignina, polisacáridos y compuestos resinosos de baja masa molar) e inorgánicos (iones de sales solventes).³⁰

El licor negro es un subproducto del proceso de pulpeo que se realiza a altas temperaturas y en digestores con adición de sustancias químicas.³⁰

1.2.1 Lignina

1.2.1.1 Generalidades

La lignina es una macromolécula fenólica compleja. Después de la celulosa, la sustancia orgánica más abundante en las plantas es la lignina, un polímero altamente ramificado de los grupos fenilpropanoides que desempeña funciones tanto primarias como secundarias.⁹

Su estructura y su resistencia a la degradación son exclusivas. En la madera y en estructuras lignificadas, la lignina está intrínsecamente asociada a la celulosa y a las hemicelulosas, añadiendo fuerza estructural y protegiendo a los polisacáridos mediante una barrera resistente a la degradación. Los hongos de la podredumbre blanca son los únicos que degradan a la lignina, estos hongos se han estudiado a fondo para su aplicación en biotecnología, en el blanqueado y el tratamiento de residuos procedentes de la fabricación de papel y de compuestos xenobióticos.⁹

1.2.1.2 Estructura de la lignina

No se conoce la estructura precisa de la lignina, debido a la dificultad de extraerla de las plantas, ya que se encuentra covalentemente unida a la celulosa y otros polisacáridos de la pared celular.³⁴

La lignina está formada generalmente por tres derivados fenilpropanoides diferentes: los alcoholes coniferílico, cumárico y sinapílico; sintetizados a partir de la fenilalanina a través de varios derivados del ácido cinámico. Los alcoholes fenilpropanoides se unen en un polímero por la acción de enzimas que generan intermediarios en

forma de radicales libres. Las proporciones de las tres unidades monoméricas en la lignina varían entre especies, órganos vegetales e incluso entre las capas de una pared celular. En el polímero, con frecuencia hay muchos enlaces C-C y C-O-C en cada unidad de alcohol fenilpropanoide, generando una estructura compleja que se ramifica en tres dimensiones. A diferencia de polímeros como almidón, caucho o celulosa, las unidades de lignina no parecen estar unidas de un modo único y repetitivo. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que una proteína guía puede unir las unidades fenilpropanoides durante la biosíntesis, dando lugar a una estructura que dirige la formación de una gran unidad repetitiva.³⁴

1.2.1.3 Tipos de lignina

Existen diversos tipos de ligninas que dependen específicamente de los procesos existentes para su separación y del tipo de recurso del cual son obtenidas. Se pueden distinguir en dos categorías: por un lado se encuentran las ligninas comerciales con azufre que incluyen a los lignosulfonatos y lignina kraft, cuya producción es la más elevada. Estas ligninas convencionales, mayoritariamente obtenidas en la industria de pulpa y papel proceden de coníferas. La segunda categoría incluye ligninas sin azufre en su composición, obtenidas a través de diferentes procesos y la mayoría aún no están comercializadas, entre ellas se encuentran las de los procesos alcalinos, organosolv, explosión de vapor y la de hidrolisis de la biomasa, principalmente de la producción de bioetanol, haciendo de esta lignina un material potencialmente importante para diferentes usos. Estas ligninas proceden de madera y plantas anuales.²²

1.3 Bio-plástico

Los bio-plásticos hacen referencia a una doble sostenibilidad, por un lado se consideran bio-plásticos a aquellos provenientes de fuentes renovables, y por otro lado atienden a aquellos que tienen una degradabilidad natural eliminando así las acumulaciones de basura. Hay bio-plásticos que combinan ambas características, procediendo así de fuentes renovables y teniendo alta biodegradabilidad. Ejemplos de estos

son el PHA (Polihidroxialcanoato) o el PLA (Ácido Poliláctico), siendo 100% degradables, resistentes y versátiles. Estos bio-plásticos son desarrollados en biotecnología y se usan en sectores como la agricultura, industria textil, medicina, industria alimentaria y en el mercado de embalajes y envases, aunque su uso es aún limitado.⁴

Generalmente los bio-plásticos se componen de una matriz polimérica, un plastificante (con el fin de mejorar la movilidad y disminuir la temperatura de transición vítrea) y, adicionalmente, aditivos para mejorar las propiedades del bio-plástico.⁴

En el presente trabajo se usará como matriz polimérica la lignina junto con el almidón y como plastificante se usará el glicerol. Las propiedades de los bio-plásticos pueden ser controladas por la relación de matriz polimérica-plastificante que se utilice, así como también influye la presión, temperatura y tiempo durante el proceso de moldeo.

Es importante definir la biodegradabilidad, ya que esto es lo que diferencia a los bio-plásticos de plásticos comunes.

1.3.1 Biodegradabilidad

Significa que las especies microbianas en el ambiente (es decir los microorganismos en el suelo y en el agua) degradarán una porción de (o incluso la totalidad de) el material polimérico, bajo las condiciones ambientales adecuadas, y sin producir subproductos tóxicos.²⁶

Los productos finales de la degradación de la porción biodegradable del material, son el bióxido de carbono y el agua. Dada la diversidad de constituyentes en los plásticos biodegradables, estos últimos se pueden considerar como materiales compuestos; en consecuencia sólo una porción de estos plásticos pueden ser verdaderamente biodegradables.²⁶

1.3.2 Tipos de bio-plásticos

Hasta ahora se han desarrollado tres plásticos biodegradables. Tienen diferentes características de degradabilidad, y se degradan a lo largo de

diferentes periodos de tiempo (cualquier periodo entre unos cuantos meses a unos cuantos años)²⁶, los cuales son:

- a. El sistema basado en almidones, es el más alejado en términos de capacidad de producción. El almidón puede ser extraído de la papa, del trigo, arroz y del maíz. En este sistema, los gránulos de almidón se procesan en un polvo que se calienta y se convierte en un líquido pegajoso. Este líquido es entonces enfriado, formado en pastillas y llevado al equipo de procesamiento de plásticos convencional. Se mezclan varios aditivos y aglutinantes con el almidón, a fin de impartir características especiales a los materiales bio-plásticos.
- b. En el sistema basado en lácticos, el forraje en fermentación produce ácido láctico, que entonces se polimeriza para formar una resina de poliéster. Los usos típicos incluyen aplicaciones médicas y farmacéuticas.
- c. En el tercer sistema (fermentación de azúcares), se agregan ácidos orgánicos a un material de alimentación de azúcar. Utilizando un proceso especialmente desarrollado, la reacción resultante produce un polímero muy cristalino y rígido, mismo que, después de un posterior procesamiento, se comporta de manera similar a los polímeros desarrollados a partir del petróleo.

Hoy día se están haciendo muchos intentos para producir plásticos totalmente biodegradables, mediante el uso de diversos desperdicios agrícolas (*agrodesperdicio*), carbohidratos de las plantas, proteínas de las plantas y aceites vegetales.²⁶

1.3.3 Aplicaciones de los bio-plásticos

Algunas de las aplicaciones de los bio-plásticos son²⁶:

- Utensilios de mesa desechables fabricados de un sustituto del cereal, como son granos de arroz o la harina de trigo;
- plásticos fabricados casi totalmente de almidones extraídos de papas, trigo, arroz y maíz;

- artículos de plástico fabricados de granos de café y cáscaras de arroz, deshidratadas y moldeadas a altas presiones y temperaturas;
- polímeros solubles en agua y compostables, para aplicaciones médicas y quirúrgicas;
- recipientes para alimentos y bebidas (hechos de almidón de papa, piedra caliza, celulosa y agua) que se pueden disolver en las atarjeas pluviales y en los océanos sin afectar la vida marina ni la vida silvestre.

1.3.4 Caracterización del bio-plástico

A continuación se describen algunos métodos para caracterizar el bio-plástico, los cuales son los más sencillos de realizar a nivel laboratorio, esto para determinar realmente si el producto obtenido es bio-plástico y también conocer en cierto modo la calidad de este.

1.3.4.1 Espesura

La espesura del bio-plástico se determina utilizando un micrómetro manual con una sensibilidad de (± 0.01 mm) en cinco puntos aleatorios. La espesura final se determina con el promedio de las cinco lecturas tomadas de forma aleatoria.¹⁰

1.3.4.2 Permeabilidad al vapor de agua

Se determina gravimétricamente a 25 °C de acuerdo con el método E96-80 descrito por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) modificado según Gontard (1993) y Vicentini (2003). Los bio-plásticos se cortan en forma circular con un diámetro de 3 cm y se introducen en vasos volumétricos (adaptados) con agua destilada. Los vasos se colocan a 25 °C en un desecador con silica. El peso del vaso se determina cada 24 horas durante nueve días a través de una balanza analítica. El flujo de permeabilidad al vapor de agua (Fva) se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación.¹⁰

$$Fva = \frac{g}{t \cdot A}$$

Dónde g es la pérdida de peso, t el tiempo total en horas y A es el área de permeabilidad. La permeabilidad al vapor de agua (Pva) se calcula a partir de la siguiente ecuación. ¹⁰

$$Pva = (Fva) \cdot \left(\frac{X}{\Delta P} \right)$$

Donde X es la media del espesor del bio-plástico y la diferencia de presión de vapor del medioambiente que contiene el desecador (0 kPa, 25 °C) y el agua pura (3.1697 kPa a 25 °C).¹⁰

1.3.4.3 Solubilidad en agua

Es la medida de la capacidad que tiene una determinada sustancia de disolverse en otra, expresada como el porcentaje de disolución de la primera sustancia en la segunda. Es una propiedad importante de la película relacionada con el tipo de aplicación y el comportamiento que puede tener cuando se sumerge en agua o cuando entra en contacto con ambientes húmedos. ¹⁰

La solubilidad en agua del bio-plástico se determina de acuerdo con la metodología propuesta por Gontard (1992) con adaptación. Los bio-plásticos son cortados en forma circular con un diámetro de 2 cm y también son pesados, luego se sumergen en agua destilada en Beakers con 50 mL de agua destilada. Se agitan lentamente a 25 °C por 24 h. Después se retiran las muestras y se secan (105 ± 2 °C durante 24 h) en un horno para determinar el peso del material que no fue solubilizado. La solubilidad se expresa de acuerdo con la siguiente ecuación. ¹⁰

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(1 - \left(\frac{PI - PF}{PI} \right) \right) \cdot 100$$

Dónde PI es el peso inicial del bio-plástico y PF es el peso final del material seco que no se solubilizo. ¹⁰

1.3.4.4 Biodegradación

La biodegradación del bio-plástico se determina de acuerdo a la metodología propuesta por López (2010) modificada. Los bio-plásticos se cortan en forma rectangular. Se les toman fotos para la cuantificación

del área y luego se entierran las muestras a 15 cm de profundidad. Se recopilan los datos cada tres días hasta completar 15 días.¹⁰

1.4 Matriz polimérica y plastificantes

1.4.1 Almidón

Las plantas almacenan su reserva de carbohidratos en forma de almidón, que se halla principalmente en las raíces, tubérculos y semillas. El almidón es un polisacárido de elevado peso molecular que se hidroliza parcialmente con la enzima maltasa, lo que establece la presencia de enlaces α y completamente en medio ácido, dando glucosa. En el almidón se pueden separar dos tipos diferentes de moléculas, la amilosa y la amilopectina.¹⁶

1.4.1.1 Amilosa

Presenta un peso molecular medio aproximado del orden de 10^6 y es un polímero de glucopiranosas unidas entre sí por enlaces glicosídicos α entre el carbono 1 de una glucopiranosas y el grupo hidroxilo del carbono 4.¹⁶

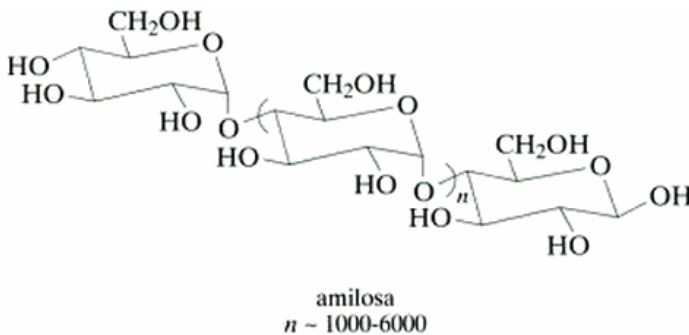


Figura 2. Estructura química de la amilosa.¹⁶

La estructura de la amilosa se ha determinado por metilación exhaustiva seguida de hidrólisis; esta secuencia de reacciones permite obtener casi exclusivamente la 2, 3, 6-tri-O-metilglucosa. La amilosa y el yodo forman un complejo de color azul que es el color habitual que adquiere el almidón en presencia del yodo.¹⁶

1.4.1.2 Amilopectina

El componente mayoritario del almidón es la amilopectina, que posee una estructura más compleja que la amilosa. Es un polímero ramificado que contiene aproximadamente un millón de unidades de glucosa en una única molécula. La metilación total de la amilopectina seguida de hidrólisis da lugar a un 3 % de 2, 3-di-O-metilglucosa, lo que sugiere que algunas unidades de glucosa están unidas con otras a través del grupo hidroxilo del carbono 6 además del enlace entre los oxígenos de los carbonos 1 y 4. Los estudios enzimáticos y las reacciones de hidrólisis han demostrado que la amilopectina posee una estructura parcialmente ramificada, en la que el grupo hidroxilo del carbono 6 de algunas unidades de glucosa forma también enlaces glicosídicos.¹⁶

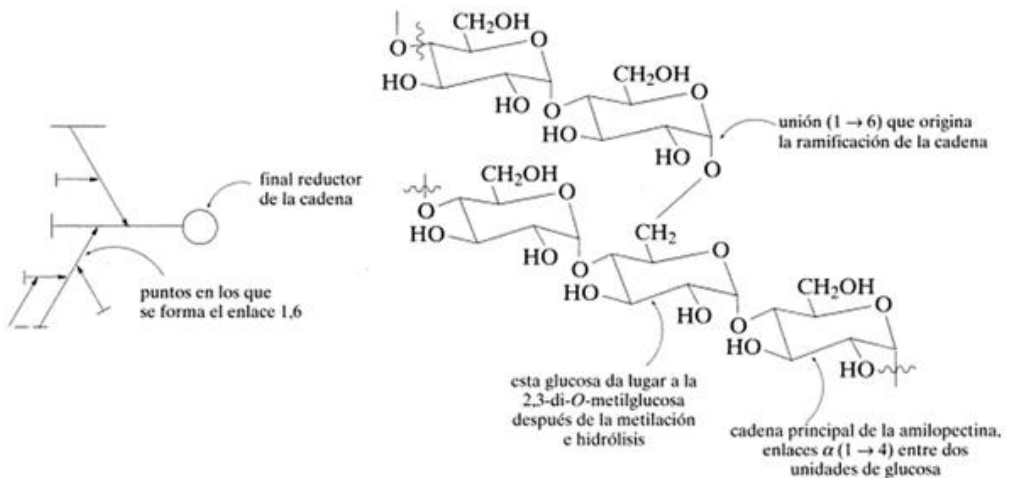


Figura 3. Estructura química de la amilopectina, con una ramificación en la cadena.¹⁶

La ramificación aparece una vez cada 20 o 25 unidades de glucosa. Así pues, la estructura global de la amilopectina se asemeja a las ramas de un árbol.¹⁶

1.4.2 Glicerol

Glicerol es el nombre común del compuesto puro 1, 2, 3-propanotriol, el cual es un líquido incoloro e inodoro, de sabor dulce.⁵

El término “glicerol” proviene del vocablo griego *glikis*, que significa dulce. Los términos “glicerín” y “glicerina” se utilizan comúnmente para describir soluciones comerciales concentradas de glicerol en agua.⁵

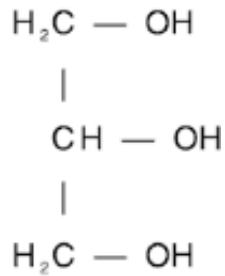


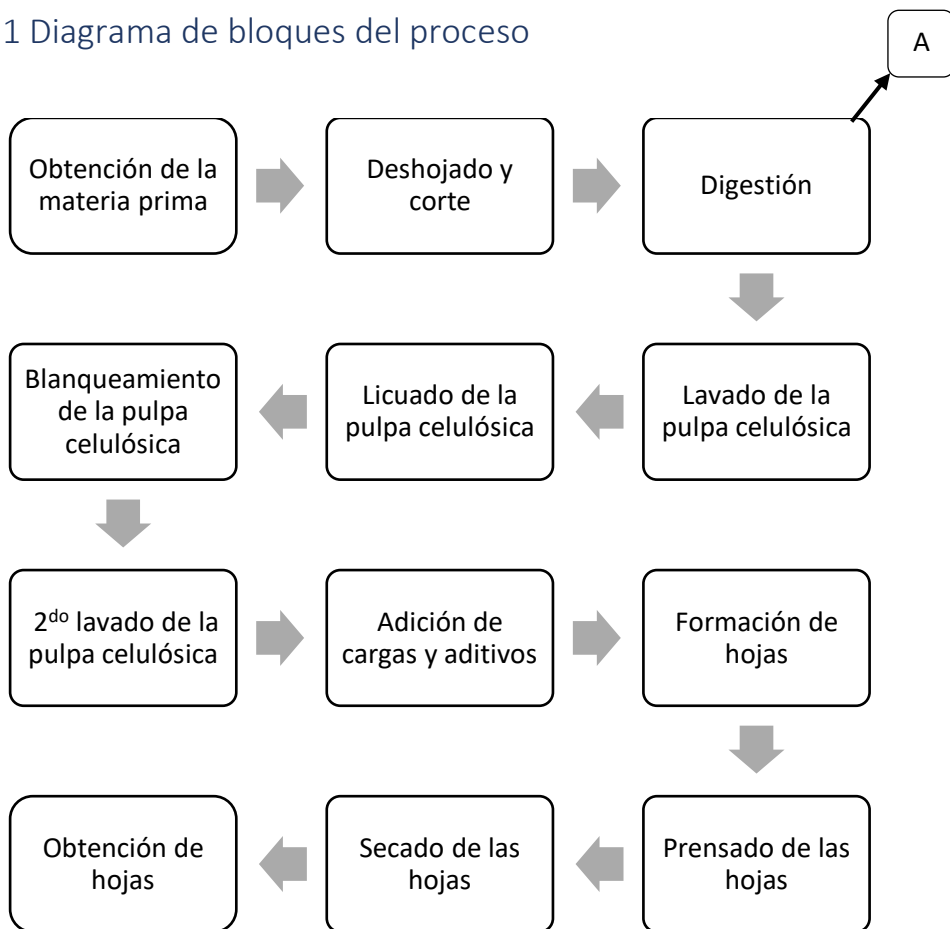
Figura 4. Estructura química de la glicerina.⁵

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Hojas de papel

El procedimiento tomado en cuenta para la elaboración de las hojas de papel fue el semi-químico, me basé principalmente en el artículo **Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel.**¹

2.1.1 Diagrama de bloques del proceso



***Nota: A es referido al licor negro (residuo en este punto del proceso), al cual se le dio un tratamiento para la obtención del bio-plástico (ver página 31).

2.1.2 Materiales, equipos y reactivos

Materiales

- Probeta graduada de 10 mL
- Probeta graduada de 2 L
- Espátula
- Vaso de precipitado de 1 L
- Termómetro

Equipo

- Parrilla de calentamiento
- Licuadora
- Balanza granataria

Reactivos

- ❖ Hipoclorito de sodio
- ❖ NaOH 7.69 % masa
- ❖ CaCO₃
- ❖ Resistol blanco

2.1.3 Experimentación

i. Obtención de materia prima

Como se menciona anteriormente la materia prima utilizada para la elaboración de las hojas son los tallos de rosas (figura 5), estas fueron recolectadas de florerías ubicadas en la Laguna, Coacalco de Berriozábal.



Figura 5. Obtención de los tallos de rosas.

ii. Deshojado y corte

Deshojé y retiré las espinas de los tallos de rosa (figura 6), para no causar molestias (pinchazos) al cortar en pequeños trozos los tallos, los cuales fueron de 0.5 cm aproximadamente (figura 7) para que se logrará así una mejor cocción, teniendo 1.5 kg de materia prima.



Figura 6. Deshojado de los tallos de rosa.



Figura 7. Corte de los tallos de rosa.

iii. Digestión

Para la digestión coloqué los tallos en una disolución de NaOH al 7.69 % masa (de acuerdo a los cálculos realizados se utilizaron 500 g de NaOH en 6 L de agua) a una temperatura de 80 °C durante 4 horas (al terminar este tiempo los tallos de rosa tenían un color marrón oscuro y eran muy suaves, ver figura 8). El producto sólido obtenido es llamado pulpa celulósica, mientras que el líquido es el licor negro (al cual se le dio una aplicación que se explica más adelante).

Se dejó enfriar para realizar el siguiente paso del procedimiento.



Figura 8. Inicio y final (izquierda y derecha respectivamente) de la digestión.

iv. Lavado de la pulpa celulósica

Separé la pulpa celulósica del líquido con ayuda de manta de cielo para posteriormente lavarla con agua (figura 9), esto hasta que ya no tuviera una textura jabonosa (el licor negro lo recolecté en botes para su posterior uso).



Figura 9. Lavado de la pulpa celulósica.

v. Licuado de la pulpa celulósica

Las fibras celulósicas obtenidas aún eran muy gruesas y estas tenían que ser finas, en este caso las dejé licuando aproximadamente de 4 a 5 minutos (figura 10).



Figura 10. Licuado de la pulpa celulósica.

vi. Blanqueamiento de la pulpa celulósica

Las fibras tenían una coloración marrón oscuro ya mencionado con anterioridad, para esto las blanqueé con ayuda de hipoclorito de sodio (utilicé blanqueador/cloro de uso comercial), aproximadamente añadí 3 L de blanqueador en una suspensión de 6 L y deje reposar esta disolución durante 3 días (figura 11).



Figura 11. Blanqueamiento de la pulpa celulósica.

vii. 2^{do} lavado de la fibra celulósica.

Las fibras obtenidas ya eran de un color blanco, pero aún debía de lavarlas por segunda vez con agua (debido al cloro añadido para blanquear), tamicé la pulpa celulósica con la manta de cielo y la coloqué en agua limpia (figura 12), repitiendo este proceso hasta que el agua obtenida del lavado tenía un pH neutro.



Figura 12. Segundo lavado de la fibra celulósica.

viii. Adición de cargas y aditivos.

Posteriormente le añadí 7 gramos de CaCO_3 y 8 mL de Resistol blanco como aditivos a la fibra celulósica y la dejé reposar durante 3 días.

ix. Formación de las hojas

Tamicé la celulosa en bastidores y papel pellón para poder formar la hoja de papel (figura 13), debía de cubrir toda el área del bastidor para que las hojas no tuvieran orificios al momento de secarse.



Figura 13. Formación de las hojas en bastidores.

x. Prensado de las hojas

Las hojas aún contenían agua, por lo que las coloqué en una prensa (figura 14) hasta que estuvieran casi secas (este paso requirió que se revisaran continuamente las hojas y se les cambiará el papel pellón, ya que si se dejaban mucho tiempo en esas condiciones se podían generar hongos).



Figura 14. Prensado de las hojas húmedas.

xi. Secado de las hojas

Al tener las hojas ya casi secas, las retiré de la prensa (figura 15) y las puse a secar en el sol, pero con peso sobre ellas para que no se arrugaran y perdieran la forma deseada.



Figura 15. Hoja aún con un porcentaje de humedad.

xii. Obtención de las hojas

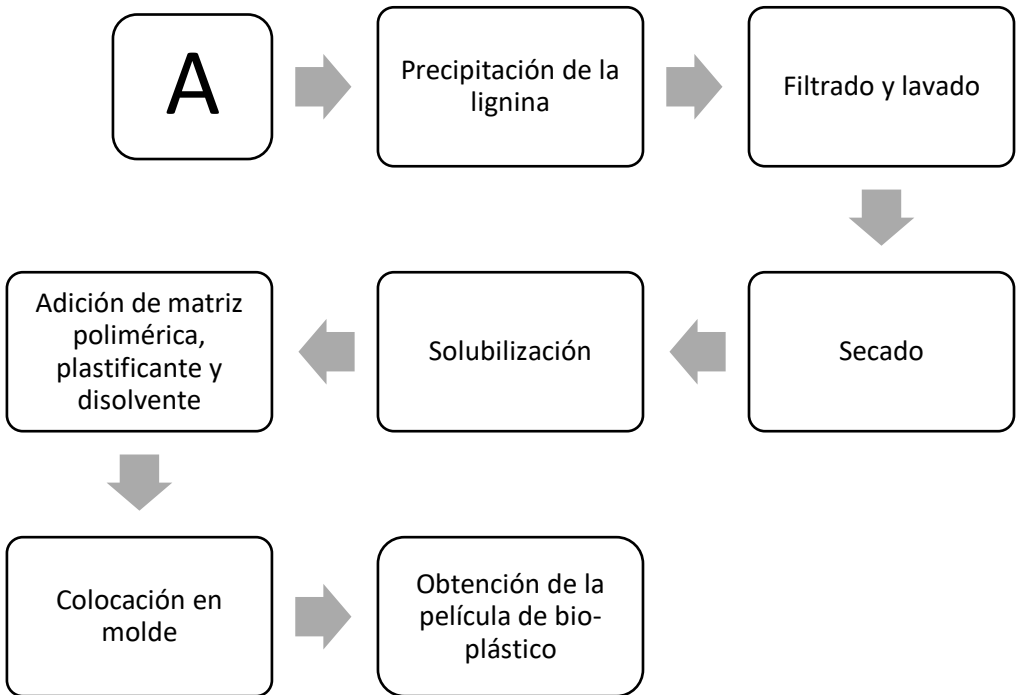
En este paso retiré las hojas secas del papel pellón, y con ayuda de una guillotina de papel les di una forma más simétrica (figura 16).



Figura 16. Obtención de las hojas.

2.2 Bio-plástico

2.2.1 Diagrama de bloques del proceso



2.2.2 Materiales, equipos y reactivos

Materiales

- Espátula
- Vaso de precipitado de 500 mL
- Pipeta graduada de 10 mL
- Matraz de aforo de 200 mL
- Matraz de aforo de 10 mL
- Embudo de vidrio
- Papel filtro
- Vaso de precipitado de 250 mL
- Pipeta graduada de 1 mL
- Vidrio de reloj

- Agitador de vidrio
- Piseta

Equipo

- Parrilla de calentamiento con agitación
- Barra magnética

Reactivos

- ❖ H_2SO_4 al 2 N y 0.1 N
- ❖ NaOH al 0.25 M
- ❖ Almidón
- ❖ Glicerol

2.2.3 Experimentación

i. Precipitación de la lignina

Tomé una muestra de 200 mL de licor negro y la coloqué en agitación constante a una temperatura de 50 °C (figura 17, lado izquierdo), le fui agregando H_2SO_4 al 2 N hasta que tuviera un pH=2 (figura 17, lado derecho) y dejé precipitar la disolución durante 7 días (figura 18).

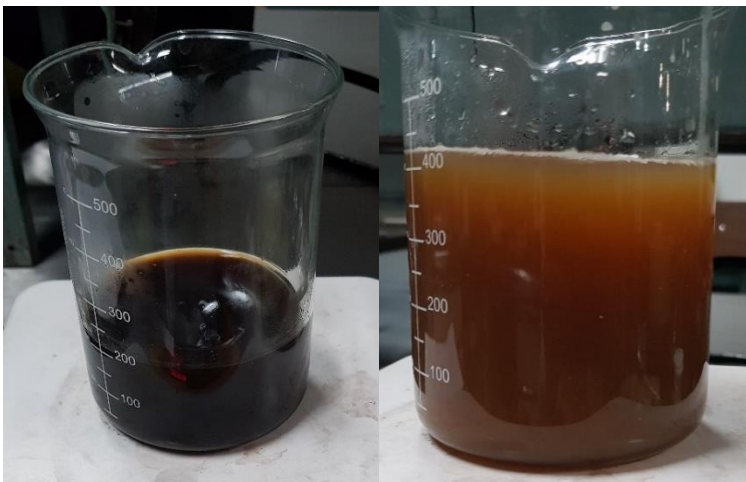


Figura 17. Licor negro antes y después de añadir H_2SO_4 (izquierda y derecha respectivamente).



Figura 18. Precipitado de la lignina.

ii. Filtrado y lavado

Filtré el precipitado (lignina), lo lavé con H_2SO_4 al 0.1 N y agua destilada (figura 19).



Figura 19. Filtrado y lavado de la lignina.

iii. Secado

La lignina obtenida aún contenía mucho líquido (figura 20, lado izquierdo), para esto la sequé con ayuda de la estufa a 50 °C por 24 horas, obteniendo cristales de color marrón oscuro-negro (figura 20, lado derecho).



Figura 20. Lignina antes y después del secado (izquierda y derecha respectivamente).

iv. Solubilización

Los cristales los solubilité en NaOH al 0.25 M (figura 21), ya que la lignina no se solubiliza en agua.



Figura 21. Solubilización de la lignina.

v. Adición de matriz polimérica, plastificante y disolvente

Para obtener el bio-plástico fue necesaria una mezcla al 6 % en peso de todos los componentes, en proporciones de lignina 20 %, almidón 60 % y glicerol 20 % (el cálculo correspondiente se muestra en el anexo 3).

Coloqué la disolución de lignina en baño María con agitación constante para poder ir agregando el almidón, glicerol y disolvente (agua), obteniendo así una mezcla homogénea (figura 22), después de esto la mezcla permaneció 30 minutos en las condiciones iniciales y al final esta tenía una consistencia gelatinosa.



Figura 22. Disolución de lignina, matriz polimérica y plastificante.

vi. Colocación en molde

Coloqué la mezcla en un molde de teflón (el cual tenía un poco de aceite para que el bio-plástico pudiera separarse fácilmente) durante 4 días (figura 23) y así dejar que el disolvente se evaporara por completo.



Figura 23. Bio-plástico en presencia del disolvente.

vii. Obtención de la película de bio-plástico

Después de este tiempo el bio-plástico ya no contenía disolvente y lo retiré del molde (figura 24) para que se le realizará la caracterización correspondiente.



Figura 24. Obtención de la película de bio-plástico.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Caracterización de las hojas de papel

Obtuve alrededor de 40-45 hojas de papel (en un rango de tamaño de 17.6 cm x 19.6 cm y 12.3 cm x 14.1 cm) con los 1.5 kg de materia prima, aunque no todas estas eran del mismo tamaño, a continuación se muestran los resultados de la caracterización de 5 hojas tomadas al azar.

3.1.1 Espesor

El espesor del papel es la distancia perpendicular, entre las dos caras del papel²³ en otras palabras al tener un cuerpo de 3 dimensiones el espesor sería la distancia “z”.

Me basé principalmente en la norma **NMX-N-009-SCFI-2010: Industrias de celulosa y papel- espesor y peso específico de papeles y cartoncillos- método de prueba**, la cual se detalla en el anexo 1.

Tomé tres puntos diferentes de la superficie (como se muestra en la figura 25) y los reporté en μm , esta medida la realicé con ayuda de un vernier (figura 26).

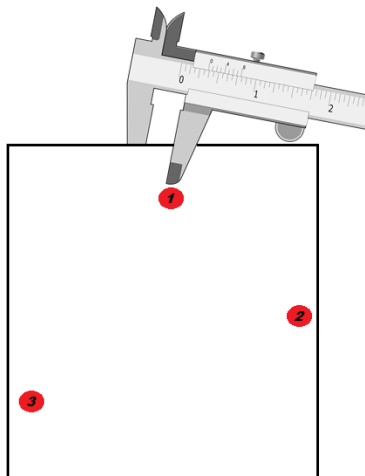


Figura 25. Ejemplo de la medida del espesor de las hojas de papel.



Figura 26. Medición del espesor de las hojas de papel.

Los datos obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 2. Espesor de las hojas de papel.

	Espesor 1 (μm)	Espesor 2 (μm)	Espesor 3 (μm)	Promedio (μm)
Hoja 1	5000	5000	6000	5300
Hoja 2	5000	5000	5000	5000
Hoja 3	5000	5000	6000	5300
Hoja 4	5000	6000	6000	5600
Hoja 5	7000	5000	7000	6300

3.1.2 Peso base

También es conocido como gramaje y es el peso en gramos de una superficie de papel en un metro cuadrado.²³

Basada principalmente en la norma **NMX-N-001-SCFI-2011 Industrias de celulosa y papel- determinación del gramaje o peso base del**

papel, cartoncillo y cartón (peso por unidad de área)- método de prueba, ver anexo 1.

La muestra la pesé en una balanza ± 0.1 g (figura 27) y también calculé el área de cada una de estas (figura 28). Los datos se muestran a continuación, se utilizó la ecuación 2 para realizar los cálculos necesarios y así obtener el peso base (como se muestra en el anexo 3).



Figura 27. Medición del peso de las hojas de papel.



Figura 28. Medición del área de las hojas de papel.

Tabla 3. Peso base de las hojas de papel.

	Peso (g)	Área (cm ²)	Peso base (g/m ²)
Hoja 1	5.4	335.62	160.8963
Hoja 2	1.5	227.85	65.8328
Hoja 3	2.1	275.9	76.1145
Hoja 4	4.8	343.2	139.8601
Hoja 5	5.4	330.43	163.4234

3.1.3 Densidad aparente

Es probablemente la propiedad fundamental más importante, esta nos proporciona información sobre la estructura de la hoja y está relacionada con la mayoría de las propiedades del papel, especialmente: porosidad, rigidez, dureza y resistencias, aunque de hecho influye en todas las propiedades ópticas y físicas, excepto el peso base, también afecta la absorción y la facilidad para ser impreso.²⁰

Utilicé la ecuación 3 para realizar los cálculos necesarios y así obtener el valor de esta propiedad (como se muestra en el anexo 3).

Tabla 4. Densidad aparente de las hojas de papel.

	Peso base (g/cm ²)	Espesor (μm)	ρ _A (g/cm ³)
Hoja 1	160.8963	5300	3.0358x10 ⁻²
Hoja 2	65.8328	5000	1.3167x10 ⁻²
Hoja 3	76.1145	5300	1.4361x10 ⁻²
Hoja 4	139.8601	5600	2.4975x10 ⁻²
Hoja 5	163.4234	6300	2.5940x10 ⁻²

3.1.4 Bulk (Volumen específico aparente)

Es la recíproca de la densidad, o sea, el volumen en cm³ de 1 gramo de papel. En algunos casos se acostumbra utilizar bulk, cuando se trata de

papeles voluminosos, pero puede considerarse un equivalente de la densidad aparente y lo que influye en una, se aplica también a la otra. Esta propiedad es importante para los fabricantes de libros, ya que si hay variaciones de consideración, tendrán diferente grueso los libros, causando problemas en su encuadernación.²⁰

Se muestran los cálculos obtenidos a partir de la ecuación 4 (ver anexo 3).

Tabla 5. Bulk de las hojas de papel.

	ρ_A (g/cm ³)	Bulk (cm ³ /g)
Hoja 1	3.0358×10^{-2}	32.9402
Hoja 2	1.3167×10^{-2}	75.9474
Hoja 3	1.4361×10^{-2}	69.6330
Hoja 4	2.4975×10^{-2}	40.0400
Hoja 5	2.5940×10^{-2}	38.5505

3.1.5 Contenido de humedad

Para la obtención del contenido de humedad utilicé como referencia la norma **NMX-N-016-SCFI-2010 Industrias de celulosa y papel-determinación de humedad de los papeles y cartones por secado en estufa-método de prueba** (ver anexo 1).

Ya que se contaba con una termo-balanza como equipo para secar la hoja de papel y esta misma nos iba dando el peso de la muestra, corté pequeñas partes de las hojas de papel hasta tener un peso de 0.5 g o mayor (esto porque es el peso mínimo que requiere la termo-balanza para comenzar su funcionamiento), el equipo nos indicaba el peso inicial y final de nuestra muestra (figura 29), realizando así los cálculos correspondientes para la obtención del contenido de humedad con ayuda de la ecuación 5 (anexo 3).



Figura 29. Obtención del contenido de humedad en las hojas de papel.

Tabla 6. Contenido de humedad en las hojas de papel.

	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Humedad (%)
Hoja 1	0.52	0.492	5.38
Hoja 2	0.509	0.481	5.50
Hoja 3	0.518	0.489	5.60
Hoja 4	0.584	0.554	5.14
Hoja 5	0.536	0.511	4.66

3.1.6 Resistencia de la superficie

Se debía realizar una prueba llamada simulación de impresión, pero dado que no se contaba con los equipos necesarios, realicé una impresión como tal en las hojas de papel (figura 30) utilizando como equipo una impresora Epson L350, esto para observar si el papel no se rasgaba.



Figura 30. Resistencia de la superficie en la hoja 1 y 3 (izquierda y derecha respectivamente).

Tabla 7. Resistencia de la superficie de las hojas de papel.

	Observaciones
Hoja 1	Ya que la hoja 1 presentaba arrugas se atascó un poco en la impresora y rasgó una pequeña parte, al igual si se quisiera imprimir sobre las arrugas, solo se mancharía la hoja, obteniendo así una mala impresión
Hoja 2	No se registró ningún rasgado en la hoja después de imprimir.
Hoja 3	La hoja presentaba pequeños orificios (no existió una distribución uniforme de la celulosa al elaborarla) pero esto no fue problema, ya que no se rasgó la hoja.
Hoja 4	La hoja presentaba arrugas y una pequeña rasgadura en el centro (desde su elaboración), se obtuvo una buena impresión y sin rasgar la hoja.
Hoja 5	La hoja presentaba arrugas desde su elaboración y se obtuvo una buena impresión sin rasgaduras de esta.

3.1.7 Encolado

En la norma **NMX-N-005-SCFI-2017 Celulosa y papel- determinación del encolado del papel por su resistencia a la tinta (método tipo Hércules)- método de prueba** (ver el anexo 1) nos explica el procedimiento a seguir para determinar esta propiedad en las hojas de papel, el inconveniente es que no se contaba con los equipos y reactivos necesarios que se requerían, así que utilicé agua para sustituir la tinta y medí el tiempo que tarda esta en pasar de una cara de la hoja a la otra cara, como muestra se recortaron rectángulos de las hojas de papel de aproximadamente 1 cm x 2 cm (figura 31).



Figura 31. Determinación del encolado en las hojas de papel.

Tabla 8. Determinación del encolado en las hojas de papel.

	Tiempo 1 (seg)	Tiempo 2 (seg)	TiempoPromedio (seg)
Hoja 1	2	1	1.5
Hoja 2	1	1	1
Hoja 3	2	2	2
Hoja 4	3	3	3
Hoja 5	2	2	2

3.1.8 Escritura

Se determinó si la tinta se corría (de la hoja que se imprimió), utilizando también para escribir lápiz, bolígrafo y marca textos, borrando en este caso sólo el grafito (figura 32) y reportando las observaciones.

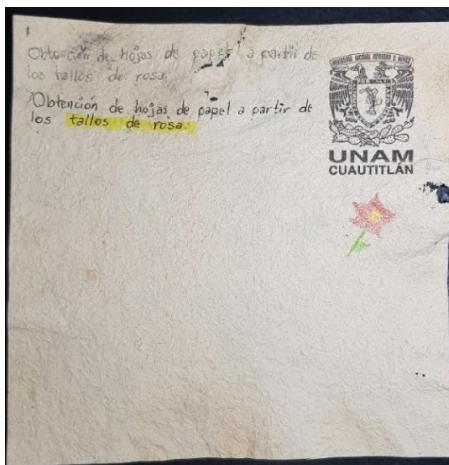


Figura 32. Escritura en la hoja 1.

Tabla 9. Observaciones de la escritura en las hojas de papel.

	Tinta (impresión)	Lápiz	Lápices de colores	Bolígrafo	Marca textos
Hoja 1	No se corre	Difícil de escribir, se borra completamente	Fácil de colorear, se corre poco	Fácil de escribir, se corre un poco	No se corre
Hoja 2	No se corre	Fácil de escribir, se borra parcialmente	Se rompe al colorear	Fácil de escribir, no se corre	No se corre
Hoja 3	No se corre	Fácil de escribir, se borra completamente	Fácil de colorear, se corre poco	Fácil de escribir, no se corre	No se corre

Hoja 4	No se corre	Fácil de escribir, se borra parcialmente	Fácil de colorear, no se corre	Fácil de escribir, no se corre	Se corre poco
Hoja 5	No se corre	Difícil escribir, se borra completamente	Fácil de colorear, no se corre	Difícil de escribir, no se corre	No se corre

3.1.9 pH

La medición del pH se basó completamente en la norma **NMX-N-011-1965 Método de prueba para la determinación del pH en papel** (ver el anexo 1) la cual nos indica el procedimiento a seguir ya sea en frío o caliente, en este caso seguí el procedimiento en frío y se utilizó un potenciómetro para conocer el pH de las muestras, a las hojas de papel les corté un rectángulo de aproximadamente 0.5 cm x 1 cm, los cuales coloqué en vasos de precipitado con aproximadamente 70 mL de agua destilada y les puse encima un vidrio de reloj (figura 33), los dejé reposar durante una hora, al terminar este tiempo se le midió el pH al agua con ayuda del potenciómetro (figura 34) y se reportaron los resultados.



Figura 33. Reposo de la hoja de papel, para la determinación del pH.



Figura 34. Determinación del pH de las hojas de papel.

Tabla 10. Determinación del pH de las hojas de papel.

	pH 1	pH 2	pH _{Promedio}
Hoja 1	8.08	7.89	7.985
Hoja 2	7.99	7.68	7.835
Hoja 3	7.87	7.53	7.7
Hoja 4	7.75	7.46	7.605
Hoja 5	7.66	7.38	7.52

3.2 Caracterización de la lignina

Ya que una de las materias primas para elaborar bio-plástico es la lignina (obtenida del licor negro), debía de asegurarme que realmente se obtuvo este compuesto y no algún otro que fuera desconocido, para esto realicé una espectrofotometría UV-Vis y dos técnicas de análisis térmico, las cuales son Calorimetría Diferencial de Barrido (Differential Scanning Calorimetry, DSC) y Análisis por Termo Gravimetría (Thermo Gravimetric Analysis, TGA).

3.2.1 Espectrofotometría UV-VIS

Me basé principalmente en el artículo **softwood and hardwood lignin fluorescence spectra of wood cell walls in different mounting media**¹⁵ para realizar el procedimiento que se menciona a continuación:

1. Se pesó un cristal de lignina (0.0088 gramos) el cual se disolvió en una disolución de agua-dioxano (2 mL de cada disolvente).
2. Se observó que la disolución contaba con material suspendido, por lo cual se colocó en una centrifuga Cole Parmer (1300 rpm) durante 15 minutos (el líquido obtenido es el que se analizó en el espectrofotómetro, refiriéndonos a este como muestra).
3. Con ayuda de un espectrofotómetro *Thermo SCIENTIFIC Genesys 10S UV-VIS Spectrophotometer* se obtuvo la curva de absorbancia vs longitud de onda de la lignina en una escala de 190-600 nm, utilizando como blanco una disolución de agua-dioxano (2 mL de cada disolvente).
4. Con un cuenta gotas se tomó la muestra para colocarla en la celda de cuarzo.
5. Al realizar esta primera prueba la curva no fue satisfactoria porque se saturó el equipo, por lo que se colocó una gota de la muestra en el blanco, realizando otra vez esta lectura.
6. Se repitió el paso 4 para medir la absorbancia de la muestra.

Teniendo como resultado la figura 35, la cual es parecida a la de la lignina informada en la literatura³⁶ (ver anexo 2, figura 1):

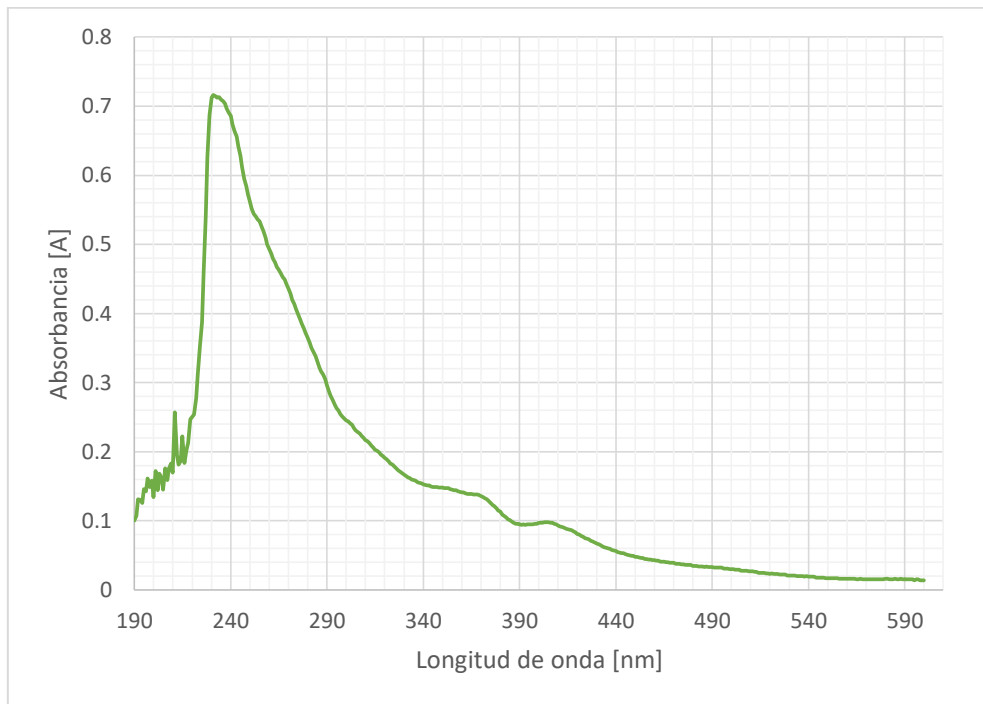


Figura 35. Espectro UV-VIS de la lignina obtenida de tallos de rosa de 190-600 nm.

3.2.2 DSC

Este análisis se realizó con el equipo *TA Instruments DSC 2010 Differential Scanning Calorimeter* y el programa *Thermal Advantage – [DSC– 2010 DSC (3)]* en el cual se obtiene la figura 36, que nos muestra la temperatura en donde existen cambios significativos de pendiente, siendo esta parecida a la de la lignina reportada en la literatura³⁵ (ver anexo 2, figura 2):

Sample: lignine
Size: 2.9000 mg
Method: MTA1001(30-150)
Comment: char ab granulo negro

DSC

File: C:\...DSC\taller Alimentos\lignine.001

Run Date: 29-May-2019 09:12
Instrument: 2010 DSC V4.4E

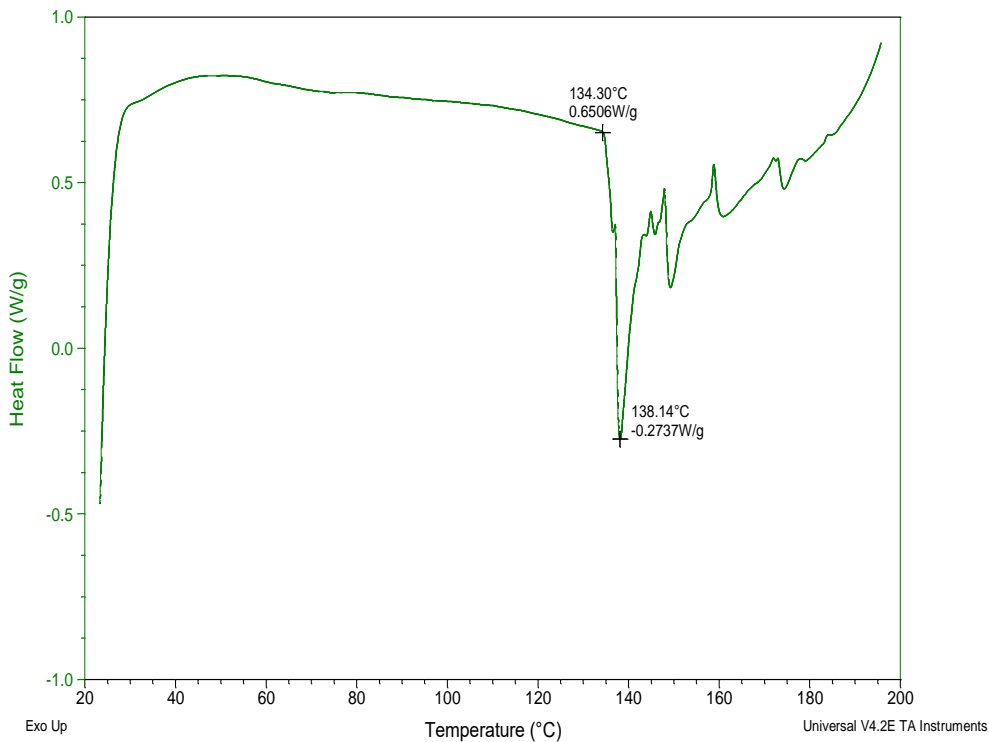


Figura 36. DSC de la lignina de los tallos de rosa.

3.2.3 TGA

Este análisis se realizó con el equipo *TA Instruments SDT 2960 Simultaneous DSC-TGA* y el programa *Thermal Advantage – [TGA-DTA – 2960 SDT (1)]*; obteniendo la figura 37, mostrada a continuación y la cual es parecida a la de la lignina informada en la literatura³⁵ (ver anexo 2, figura 3):

Sample: lignine
Size: 3.0731 mg
Method: MTB1001(40-130).
Comment: cha ab granulo negro

TGA-DTA

File: C:\TA\Data\SDT\lignine.001
Operator: Manuel Paz.
Run Date: 29-May-2019 09:16
Instrument: 2960 SDT V3.0F

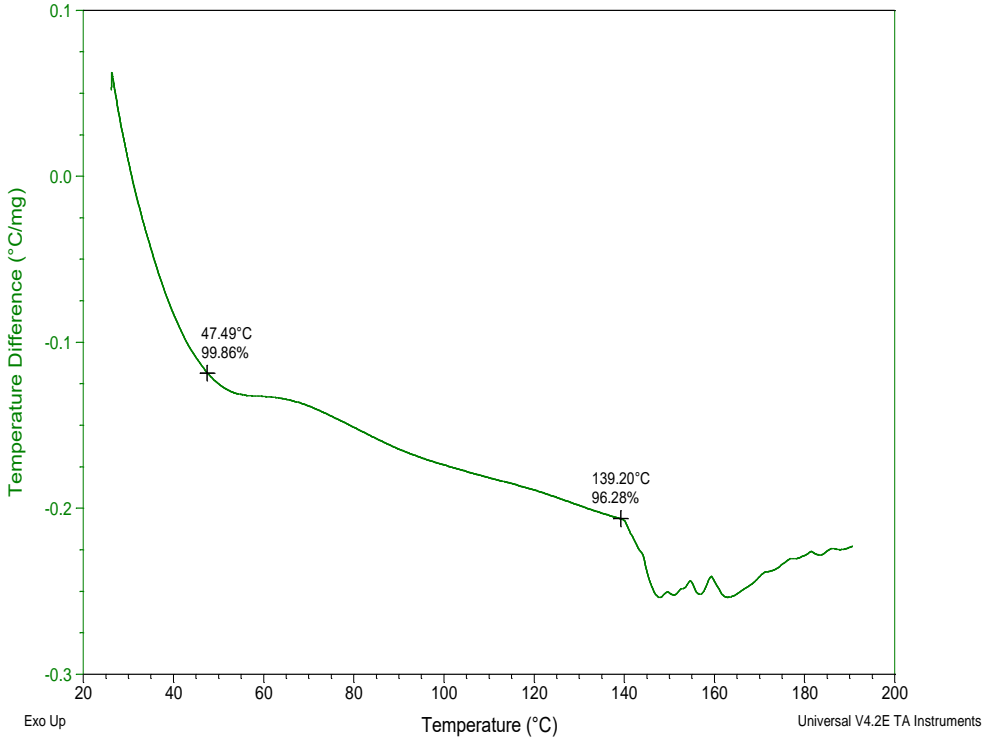


Figura 37. TGA de la lignina de los tallos de rosa.

3.3 Caracterización del bio-plástico

Se obtuvo una película de bio-plástico a la cual se le realizaron algunas pruebas para su caracterización y así saber si realmente se tenía un bio-plástico, estas pruebas se muestran a continuación.

3.3.1 Espesura

La espesura del bio-plástico se determinó utilizando un vernier esto en cinco puntos aleatorios (figura 38).



Figura 38. Determinación del espesor del bio-plástico.

Tabla 11. Espesura de la película bio-plástica.

	Espesor (mm)
Punto 1	0.1
Punto 2	0.6
Punto 3	0.5
Punto 4	1.3
Punto 5	0.8
Promedio	0.66

3.3.2 Permeabilidad al vapor de agua

Ya que el bio-plástico restante tenía formas irregulares, fue más sencillo cortarlo de forma triangular, teniendo la muestra 1 con un área de 1.38 cm y un peso inicial de 0.1556 gramos, mientras que la muestra 2 contaba con área de 0.48 cm y un peso inicial de 0.0801 gramos.

Cada muestra fue introducida en un vaso de precipitado con agua destilada y se colocaron en un desecador con un absorbente de humedad (figura 39) durante 4 días (se les determinó el peso cada 24 horas), calculando la permeabilidad al vapor de agua con la ayuda de la ecuación 6 y ecuación 7 (ver anexo 3).



Figura 39. Muestras del bio-plástico en el desecador para la determinación de la permeabilidad en agua.

Tabla 12. Peso (gramos) de las muestras 1 y 2.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Muestra 1	97.1	94.8	92.3	90.1	87.1
Muestra 2	97.0	94.7	92.0	89.8	87.4

Tabla 13. Permeabilidad al vapor del agua de la película bio-plástica en las muestras 1 y 2.

	Pérdida de peso (g)	Tiempo (h)	Área de permeabilidad (cm ²)	Flujo de permeabilidad (g/ h m ²)	Permeabilidad al vapor de agua (g mm/h m ² kPa)
Muestra 1	10	96	1.38 cm	754.83	157.17
Muestra 2	9.6	96	0.48	2083.33	433.79

3.3.3 Solubilidad en agua

La muestra de bio-plástico la pesé y coloqué en un vaso de precipitado con 50 mL de agua destilada y se dejó con agitación constante en una parrilla de agitación durante 24 horas (figura 40), para después ser

colocada en una estufa a 55 ± 2 °C por 24 horas y así determinar el % de solubilidad del bio-plástico, con ayuda de la ecuación 8 (ver anexo 3).

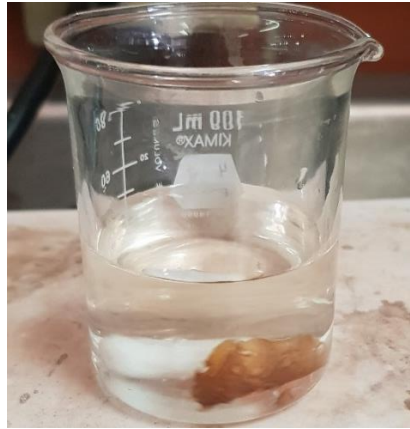


Figura 40. Inicio de la prueba de solubilidad en agua del bio-plástico.

Tabla 14. Solubilidad en agua de la película bio-plástica.

	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% solubilidad
Muestra 1	0.0774	0.0664	85.79

También se le midió el pH a la disolución resultante, ya que la lignina (componente del bio-plástico) fue obtenida en un medio ácido y esto generaba dudas sobre las repercusiones del bio-plástico al disolverse en el agua; teniendo así un pH neutro como se muestra en la figura 41.

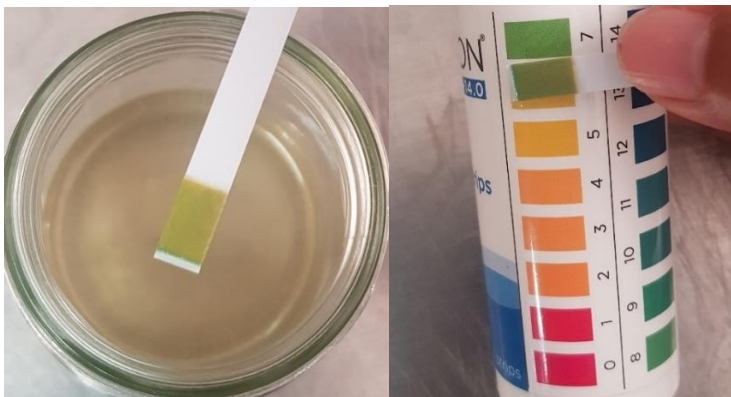


Figura 41. Medición del pH del agua al disolver el bio-plástico.

3.3.4 Biodegradación

Las dos muestras de bio-plástico se cortaron de forma triangular debido a lo pequeño de la muestra, estas se enterraron a 15 cm de profundidad para así poder determinar si realmente se biodegradaban (figura 42). Las muestras se enterraron el día 18 de Mayo hasta el día 2 de Junio. Al término de esta fecha se buscaron las muestras pero no se encontraron restos, comprobando así su biodegradación.



Figura 42. Muestras de bio-plástico antes de ser enterradas.

Tabla 15. Determinación de la degradación en la película bio-plástica.

	Área inicial (cm ²)	Área final (cm ²)
Muestra 1	1.125	0.0
Muestra 2	0.56	0.0

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo se observó que para llevar a cabo el método de obtención de la celulosa (semi-químico) es necesario realizar la cocción en niveles de pH alcalinos ya que la pasta obtenida era jabonosa al tacto, también es necesario obtener fibras de celulosa delgadas, ya que si estas son demasiado gruesas se obtendría una hoja en la que sería muy difícil escribir.

De acuerdo con lo reportado por Epson¹⁷ (específicamente las hojas de papel que distribuyen) el grosor para el papel normal de calidad es entre 0.08 y 0.11 mm (de 0.003 a 0.004 pulgadas), mientras las hojas de tallos de rosa tienen un grosor de 5.0 a 5.6 mm (tabla 2), teniendo una gran diferencia, aunque todas las hojas de papel comercializadas poseen diferentes grosores.

Otra característica importante es el gramaje de las hojas de papel, ya que este nos va a indicar que tan prensadas se encuentran o no las fibras y el aire contenido entre ellas, por lo general las hojas de papel offset (papel utilizado para imprimir) van desde 60 a 350 gramos/m² y el papel bond va de los 60 a los 130 gramos³¹, mientras que las hojas obtenidas tienen un rango de 65.8 a 163.4 gramos/m² (véase tabla 3), por lo tanto las hojas obtenidas tienen características similares a las hojas de papel offset.

La densidad aparente se reporta de 0.5 g/cm³ para papeles voluminosos a 0.75 g/cm³ para papeles más comprimidos (como el bond) e incluso de 1.0 g/cm³ o mayores para papeles couché y el glassine²⁰, los valores reportados en la tabla 4 son muy pequeños comparados con los reportados en la literatura, esto se podría deber a que los espesores (tabla 2) obtenidos de las hojas son muy grandes, lo cual afecta significativamente la densidad aparente, pero también nos indica que existe una pequeña cantidad de volumen de aire atrapado entre las fibras del papel de tallos de rosa, esto por el uso de cargas al elaborarlo, comprobando lo anterior se toma en cuenta el bulk o volumen específico aparente en el cual tenemos valores relativamente grandes (tabla 5),

mientras que en la literatura se tienen valores de 2 cm³/g en papeles voluminosos a 1.33 cm³/g en papeles comprimidos y para papeles couché y el glassine de 1.0 cm³/cm (valores obtenidos a partir de la inversa de la densidad aparente reportada en la literatura²⁰).

Si el contenido de humedad en las hojas de papel es alto, provoca cambios en las propiedades físicas de estas, como una mala impresión en ellas o deformaciones (ondulaciones), según la literatura¹³ el intervalo de humedad es de 3.7-5.5 % y de acuerdo a la tabla 6 los resultados se encuentran dentro de este rango, excepto la hoja 3 que se encuentra 0.01 % arriba de lo establecido, pero al ser una cantidad pequeña no tiene ningún efecto negativo en la calidad de la hoja.

Al tener un porcentaje de humedad satisfactorio se observa que se tienen buenas impresiones en las hojas, algunas se rasgaron al imprimir en ellas, pero la razón por lo que sucedió esto es que al ser hojas elaboradas a nivel laboratorio no se tienen los equipos necesarios para obtener una hoja sin arrugas u ondulaciones, generando así que se atoraran y se rasgaran al pasar por la impresora.

Para conocer la absorción de líquidos acuosos de las hojas del papel se utiliza el encolado, ya que no se contaba con el equipo necesario para realizar la prueba mostrada en la NMX-N-005-SCFI-2017 (ver anexo 1) se utilizó una gota de agua, la cual fue absorbida rápidamente por la hoja (véase tabla 8) por lo que este papel absorbería fácilmente un 50 % de su peso en agua aproximadamente y de acuerdo a la literatura¹⁴.

En la tabla 9 se observan algunas complicaciones al momento de utilizar lápiz, lápices de colores o bolígrafo para escribir o dibujar (según sea el caso), pero esto es debido a las ondulaciones que presenta la hoja por un mal prensado al momento de secarlas o porque se rompen, ya que algunas hojas no cuentan con un grosor uniforme e incluso en algunos puntos carecen de celulosa por su elaboración a nivel laboratorio como se mencionó anteriormente, en general las hojas son eficientes al ser utilizadas para imprimir, ya que es la prueba que mejor resultados dio porque la tinta no se corre y se obtiene una buena absorción de esta.

El pH en el papel es de suma importancia ya que nos va a indicar la durabilidad de este de acuerdo a la literatura si se cuenta con un papel alcalino su periodo de vida será de cientos de años, mientras que en el papel ácido será en décadas³ por esta razón la obtención de la celulosa es en un ambiente alcalino, ya que ayuda a prevenir el deterioro químico interno, aunque la celulosa es lavada hasta tener un pH neutro se añade carbonato de calcio precisamente para mantener el pH alcalino (7.0 a 9.0) en la tabla 10 observamos que se tienen pH's de 7.52 a 7.9 lo que indica una hoja de papel con un tiempo de vida largo.

La caracterización de la lignina es importante para esto se realizan 3 pruebas, si se compara el espectro obtenido (figura 35) con el espectro reportado en la literatura³⁷ (ver figura 1, anexo 2) se observa gran similitud entre ellos, incluso los ruidos que presentan al inicio son similares, en la literatura se observa el pico máximo en 220 nm, mientras que el presente trabajo nos da en 230 nm, esta variación puede deberse al hecho de que la lignina cambia un poco su estructura química al ser obtenida de diferentes materias primas, y al no existir un espectro para lignina de tallos de rosa se compara con el espectro de lignina del pino mocarpel, aunque como se mencionó por la forma de los dos espectros realmente se obtuvo lignina del licor negro.

Si se compara el DSC obtenido (figura 36) con el que se reporta en la literatura³⁶ (figura 2, anexo 2) se puede observar una variación significativa en los puntos de fusión que nos presenta cada uno (138.14 °C y 75 °C, respectivamente), mientras que en el TGA obtenido (figura 37) nos indica que a la temperatura de 47.49 °C se pierde el 99.86 % de masa y a 39.20 °C se pierde un 96.28 %; al leer este porcentaje de pérdida de masa en la gráfica presentada en la literatura³⁶ (véase figura 3, anexo 2) se obtienen las temperaturas de 24 °C y 70 °C respectivamente, como se observa no tenemos temperaturas similares, se mencionó anteriormente que esto se debe a que el caracterizar la lignina es muy difícil, ya que existen muchas fuentes de obtención y diferentes métodos de extracción, en el caso del TGA también influye la preparación de la muestra (si se utilizó un cristal, polvo o masa), ya que esto nos va a arrojar diferentes comportamientos térmicos.

El procedimiento para la obtención del bio-plástico es relativamente sencillo, la cuestión es que se obtenga verdaderamente bio-plástico y se pueda probar que este cuenta con ventajas y desventajas comparado con los plásticos convencionales e incluso con otros bio-plásticos obtenidos a partir de otras materias primas.

Al igual que en las hojas de papel el espesor de los plásticos y bio-plásticos varían dependiendo del uso que se le va a dar a estos, por ejemplo en el trabajo “*Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.)*”¹⁰, reportan espesores de 0.21 mm a 0.45 mm, mientras que en la tabla 11 tenemos un promedio de 0.66 mm lo cual no se toma como un gran diferencia de espesor, pero si se requiere un espesor menor se puede utilizar un molde más grande al momento de elaborar el bio-plástico.

La permeabilidad al vapor de agua nos indica la cantidad de vapor de agua que pasa por unidad de superficie de un material de espesura conocida, que es inducida por una diferencia de presiones entre dos superficies específicas, con condiciones de temperatura y humedad relativa específica ASTM E96-80, (ASTM 1089).¹⁰

Al estar relacionado con la espesura los datos obtenidos van a poder diferenciarse de los reportados en “*Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.)*”¹⁰ (los cuales son de 0.78 g mm/ h m² kPa hasta 1.86 g mm/ h m² kPa), si observamos la tabla 13 tenemos 157.17 g mm/ h m² kPa y 433.79 g mm/ h m² kPa de la muestra 1 y 2 respectivamente, como se mencionó con anterioridad al comparar los datos estos son muy distintos, por lo cual no se puede determinar si esto afecta o no en la calidad del bio-plástico.

Es altamente conocido que los plásticos convencionales son muy poco o incluso nulamente solubles en agua, mientras que la solubilidad de los bio-plásticos es alta (dependiendo de la materia prima con la que se elaboren), al comparar esta característica entre el bio-plástico de almidón (54.76 hasta 39.88 %)¹⁰ y el obtenido de los tallos de rosa

(85.79 %, véase tabla 14) se nota que el obtenido con tallos de rosa es más soluble (contiene almidón, glicerol y lignina, siendo esta última de gran ayuda tanto para una mayor degradación y tal vez para una mejor solubilidad en agua). En el mismo trabajo del bio-plástico a partir de almidón¹⁰ nos hablan sobre valores del 26.81 % a 39.41 % de solubilidad en bio-plásticos a base de aislado proteico de soja y en bio-plásticos a base de gluten de trigo presentaron una solubilidad de 31.5 a 100 %, por lo que este último es similar al bio-plástico de tallos de rosa.

La degradación de los plásticos tarda miles de años, representando así un problema, en cambio los bio-plásticos tardan de semanas a años dependiendo de la materia prima con la que se elaboren, del tiempo y las condiciones en las que se va a llevar a cabo la degradación, por ejemplo en el presente trabajo el bio-plástico desapareció por completo (véase tabla 15) después de 15 días, fue enterrado en un lugar en donde recibe mucha luz solar, la tierra es húmeda (un poco fangosa) e incluso se encuentra flora a sus alrededores, para observar si al degradarse provoca algún cambio en esta (que las llegue a dañar), los datos del suelo no fueron tomados en cuenta ya que solo se requieren datos cualitativos; la flora que existe a su alrededor creció de manera normal, incluso se encontró fauna como lombrices y cochinillas por lo cual se especula que el bio-plástico no causa ningún daño.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Es posible obtener hojas de papel de otras fuentes de materia prima como lo son los tallos de rosa, estas hojas poseen características que nos permiten escribir en ellas e incluso realizar buenas impresiones, en este aspecto obtener hojas a partir de tallos de rosa es viable (no desde la perspectiva económica, ya que este estudio no se enfoca en este punto) y una gran ayuda, esto porque se utilizan residuos que al final terminarían contaminando el medio; su elaboración es sencilla aunque se tendría que mejorar el aspecto del secado y del prensado, para obtener hojas sin arrugas/ondulaciones que nos provoquen complicaciones al momento de querer usarlas, de acuerdo a la literatura se puede decir que estas hojas son de buena calidad.

Algo interesante es que al obtener la lignina se utiliza un medio ácido (H_2SO_4), por lo cual al momento de disolver el bio-plástico en agua (del cual la lignina es un componente) se pensaría que se obtendría una mezcla con un pH ácido, pero realmente esto no sucede, ya que el pH es neutro (figura 41), esto es realmente favorable, porque si este bio-plástico se disuelve en el mar u océanos no va a causar ningún problema de acidificación, el cual es uno de los daños medioambientales más graves del planeta.

Son muchas las aplicaciones que los bio-plásticos tienen en distintas industrias como la automotriz, alimenticia, sector médico, etcétera; siendo la última mencionada en la que se considera de mayor importancia, ya que este material es utilizado para implantes o prótesis (de rodillas, caderas, entre otros) por su biocompatibilidad con el cuerpo humano. También son usados para la elaboración de hilos de sutura, válvulas cardíacas, material quirúrgico, jeringas, bolsas de sangre y muchos más, precisamente por su capacidad de degradarse en periodos cortos de tiempo y las propiedades microbianas que posee, siendo un buen sustituto de los plásticos derivados del petróleo. Destacando con esto que los bio-plásticos también son de gran ayuda para la vida y la calidad humana.

Al conocer que los tallos de rosa si funcionan como materia prima en la obtención de hojas de papel el uso de maderas ya no es esencial, ya que esta es una alternativa para reducir el impacto ambiental que genera la demanda de estas, preservando así la fauna y la flora que se destruye para poder obtener la madera, al utilizar un residuo como materia prima no se genera ningún cambio en el medio ambiente, al contrario es favorable tanto para el ser humano como para la naturaleza, esto mismo sucede al elaborar un bio-plástico, ya que un residuo de la industria papelera (lignina) se usa como uno de sus principales componentes y se demuestra que este bio-plástico es completamente amigable con el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alfonso, F. (2016). **Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel.** Bogotá, Colombia. *Biblioteca un minuto*. Recuperado de <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/download/1444/1379>
2. Arce, F. (2018). **Elaboración de bio_plásticos y papel a partir de hojas de elote.** Recuperado de <https://es.scribd.com/document/376621890/Muc-Imex>
3. Azorín. **Nivel de pH de un papel.** Recuperado de <http://blog.graficasazorin.es/nivel-de-ph-de-un-papel/>
4. Beltrán, A; Félix, M. (2018). **IV Jornada de investigación y postgrado.** Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L. Sevilla, España. Página: 112.
5. Benjumea, P; Agudelo, J; Ríos, L. (2009). **Biodiésel: Producción, calidad y caracterización.** Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. Página: 4.
6. Beyer, H; Walter, W. (1987). **Manual de química orgánica.** Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. Página: 488.
7. **Boletín informativo para la industria de las Artes Gráficas.** Grupo Pochteca. México. Recuperado de https://www.pochteca.com.mx/wp-content/uploads/2015/01/Boletin_QueNo8_Historico_Informativo.pdf
8. Bolívar, O. **Floricultura Colombiana: Experiencia exitosa en el manejo de residuos vegetales.** Recuperado de https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/encuentro2010/administracion-concursos/archivos_conf_2011/335_32908_205con.pdf
9. Castillo, F. (2005). **Biotecnología Ambiental.** Editorial Tébar. S.L. Madrid. Página: 407.
10. Chariguamán, J. (2015). **Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con**

- albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.).** Zamorano, Honduras. *Escuela Agrícola Panamericana*. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>
11. Charro, M. (2015). **Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata.** Ecuador. *Universidad central del Ecuador*. Recuperado de <file:///D:/Tesis%7D/T-UCE-0017-97.pdf>
 12. Cruz, R. (2010). **Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol.** México, D.F. *UNAM*. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/267945/355543>
 13. Desconocido. (2013). **Instrucciones de uso Guía acerca del papel.** Recuperado de http://support.ricoh.com/bb_v1oi/pub_e/oi/0001051/0001051806/V D13879XXA_03/D1387944_es.pdf
 14. Desconocido. **El encolado.** *Galeón*. Recuperado de : <http://industriadelpapel.galeon.com/productos1557554.html>
 15. Donaldson LI. (2013). **Softwood and hardwood lignin fluorescence spectra of wood cell walls in different mounting media.** Rotorua, New Zealand. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237081411_Softwood_and_Hardwood_Lignin_Fluorescence_Spectra_of_Wood_Cell_Walls_in_Different_Mounting_Media
 16. Ege, S. (2000). **Química orgánica.** Editorial Reverté, S.A. España. Página: 1178-1179.
 17. Epson. **Papel, especificaciones del papel.** Recuperado de http://support.epson-europe.com/onlineguides/es/sprx420/ref_g/spec_4.htm
 18. Flores México. (2014). **Tipos de rosa.** México, D.F. Recuperado de <http://flores-mexico.blogspot.com/2014/07/tipos-de-rosa.html>
 19. Flowers, H. **Rosas.** Recuperado de <https://hanaflores.com.pe/flores/rosas>
 20. González, H. **Espesor, densidad y bulk del papel.** Argentina. *Investigación y Desarrollo para la Industria Gráfica*. Recuperado

de: <http://investigaciongrafica.blogspot.com/2008/05/espesor-densidad-y-bulk-del-papel.html>

21. González, K. (2015). **Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración del papel**. Universidad de Caldas. *Scielo*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n43/n43a21.pdf>
22. Hernández, H. (2013). **Utilización de lignina de olote de maíz como componente en películas base almidón**. México, D.F. *Universidad Iberoamericana*. Recuperado de <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015718/015718.pdf>
23. Hernández, M. (2008). **Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña *Ananas comosus* (L.) Merr**. Texcoco, México. *Universidad Autónoma Chapingo*. Recuperado de https://www.academia.edu/11313070/ELABORACION_Y_CARACTERIZACION_DEL_PAPEL_ARTESANAL_DE_LA_CORONA_DEL_FRUTO_DE_DOS_VARIETADES_DE_PIA_Ananas_comosus_L._Merr_TESIS_PROFESIONAL
24. Iguardia, C. (2013). **Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish)**. Guatemala. *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Recuperado de <file:///D:/Tesis%7D/Tesis%20bioplastico.pdf>
25. InfoAgro. **El cultivo de la rosa**. Recuperado de http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_rosa.asp
26. Kalpakjian, S; Schmid, S. (2002). **Manufactura, ingeniería y tecnología**. Editorial Pearson Educación. México. Página: 195-196.
27. Macaed. (2007). **Celulosa & papel**. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://celulosapapel.blogspot.com/2007/10/licor-negro.html>
28. Núñez, A. (2014). **Obtención de una película de bioplástico a partir del colágeno de las patas de pollo**. Ecuador. *Universidad central del Ecuador*. Recuperado de <file:///D:/Tesis%7D/T-UCE-0017-90.pdf>

29. Odriozola, V. (1997). **Impactos de la producción de papel.** Argentina. *Greenpeace*. Recuperado de <http://www.administracion.usmp.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/2013/08/Impactos-de-la-producci%C3%B3n-de-Papel-GREENPEACE.pdf>
30. Ortiz, A. (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).** Pereira. *Universidad tecnológica de Pereira*. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1462/6765077.pdf?sequence=1>
31. Prelo Papelería Lugo. (2017). **Tipos de papel, grosores y gramajes.** Recuperado de <https://www.prelo.es/ampliar/202/Tipos-de-papel.html>
32. Ríos, A. (2017). **Producción de papel artesanal a partir de residuos de cascaras de naranja de las jugueterías del Mercado Tahuantinsuyo- Independencia, 2017.** Lima, Perú. *Universidad César Vallejo*. Recuperado de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/12609/Rios_PAD.pdf?sequence=1
33. Secretaria de economía. **Normas mexicanas.** México. Recuperado de <http://www.economia-nmx.gob.mx>
34. Taiz, L.; Zeiger, E. (2006). **Fisiología vegetal.** Editorial *Universitat Jaume*. España. Página: 549.
35. Teschke, K. (1995). **Industria del papel y de la pasta de papel.** *Sectores basados en recursos biológicos.* Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf>
36. Yang, H.; Yan, R.; Chen, H.; Lee, D.; Zheng, C. (2007). **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis.** *Fuel*, Volume 86, Issues 12-13. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Characteristics-of-hemicellulose%2C-cellulose-and-Yang-Yan/053cc9ebe991d1d802930063496b8e5ad0764259>

37. Ysambertt, F.; González, T.; Delgado, N.; Bravo, B.; Chávez, G.; Cáceres, A.; Márquez, N.; Bullón, J. (2009). **Propiedades tensoactivas de la lignina extraída del “licor negro” modificada por reacciones asistidas por microondas.** Revista cubana de química. Santiago de Cuba, Cuba. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543718008>

ANEXO 1

Normatividad

NMX-N-009-SCFI-2010 Industrias de celulosa y papel-espesor y peso específico de papeles y cartoncillos-método de prueba.

En la presente norma se utilizan calibradores de espesores ya sean manuales o de lectura analógica.

Como espécimen de prueba deben de usarse por lo menos 10 hojas, y con unas medidas mínimo de 40 mm x 120 mm (1.57 in x 4.75 in), estas muestras serán representativas y no tener dobleces o pliegues.

Los resultados se reportan en fracciones de mm (micrómetros) y con esto las lecturas máxima y mínima, el número y tamaño de las hojas de prueba.

NMX-N-001-SCFI-2011 Industrias de celulosa y papel-determinación del gramaje o peso base del papel, cartoncillo y cartón (peso por unidad de área)-método de prueba.

La balanza para pesar debe de ser legible y con una sensibilidad del 0.25 % de la carga aplicada. Esta debe de estar aislada de vibraciones y no deben de existir corrientes de aire, existen balanzas usadas específicamente para determinar el gramaje (dependiendo del tipo de papel), se especifica el área del papel a pesar, obteniendo directamente el peso en gramos y en g/cm^2 (aunque en estas balanzas el área debe de ser mayor a 500 cm^2). Si se tienen muestras más pequeñas se utilizan balanzas analíticas con sensibilidad de 0.1 mg.

Se miden las dimensiones de cada hoja con una regla (con graduaciones de 0.5 mm), si se utiliza una balanza específica para el peso base, debe de asegurarse que las dimensiones de las hojas tengan una exactitud de 0.2 %.

Con el peso obtenido y el área de la muestra se realiza el cálculo correspondiente (ecuación mostrada a continuación).

$$Pb = \frac{P}{A}$$

Donde:

Pb= Peso base o gramaje de la muestra de papel [g/cm²]

P= Peso de la hoja de papel [g]

A= área de la hoja de papel [cm²]

Ya que el peso base debe de ser expresado en g/m² se agrega el factor de conversión de cm² a m² (10000 cm²=1 m²) a la ecuación anterior, obteniendo:

$$Pb = \frac{P \cdot 10000}{A}$$

Donde:

Pb= Peso base o gramaje de la muestra de papel [g/m²]

P= Peso de la hoja de papel [g]

A= área de la hoja de papel [cm²]

NMX-N-016-SCFI-2010 Industrias de celulosa y papel-determinación de humedad de los papeles y cartones por secado en estufa-método de prueba.

La temperatura de la estufa debe de ser de 105 ± 2 °C, mientras que el tiempo de secado varia de especímenes grandes (50 g) y especímenes pequeños (2 g), siendo:

- Especímenes grandes (50 g): Para muestras de papel con gramaje inferior a los 224 g/m² el tiempo de secado en la estufa debe ser de 1 hora; para gramajes superiores, secar 2 horas.

- Especímenes pequeños (2 g): Para muestras de papel con gramaje inferior a los 224 g/m² el tiempo de secado en la estufa debe ser de 30 minutos; para gramajes superiores, secar 1 hora.

Secar y pesar la muestra hasta que el peso (Gs) sea constante, se considera un peso constante cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas no es mayor de 0.1 % respecto a la penúltima.

La humedad se reporta en % con una aproximación de 0.05 %.

Para calcular la humedad se utiliza la siguiente ecuación.

$$H = \frac{G - G_s}{G} \cdot 100$$

Donde:

H= Humedad referida al peso inicial del papel [%]

G= Peso inicial de la muestra [g]

G_s= Peso final de la muestra [g]

NMX-N-005-SCFI-2017 Celulosa y papel-determinación del encolado del papel por su resistencia a la tinta (método tipo hércules)-método de prueba.

El encolado es la resistencia que el papel opone a la penetración de líquidos acuosos, no hace al papel totalmente impermeable, sino que retarda la penetración de los líquidos al interior y a través de la hoja. Se logra mediante la aplicación durante el proceso de fabricación de aditivos específicos que pueden ser aplicados internamente o sobre la superficie del papel.

La resistencia a la tinta por el método de Hércules se clasifica como una prueba de medición derecha del grado de no penetración, este método es apropiado para usar como prueba de control del encolado en las plantas para detectar los cambios en el grado de encolado del papel.

Para este método se utiliza un fotómetro de un solo propósito, que ilumine la superficie inferior del espécimen de papel a 45° por medio de dos lámparas incandescentes de halógeno alimentadas por una fuente de voltaje constante, equidistantes y separadas 180° con respecto al centro del espécimen, un cronómetro integrado con arranque manual al principio de la prueba y paro automático en el punto final, un dosificador adecuado para la tinta (colorante verde de naftol B), capaz de proporcionar 10 mL de tinta rápidamente y en ocasiones continuas sobre el espécimen al principio de la prueba.

NMX-N-011-1965 Método de prueba para la determinación del pH en papel

La presente norma establece el método oficial de prueba para determinar el pH en el extracto acuoso, no filtrado, del papel; esto gracias a que las sustancias que imparten acidez o basicidad al papel son solubles en agua.

Se establecen dos procesos para determinar el pH, la extracción en frío y la extracción en caliente.

Para la extracción en frío solo es necesario agua destilada, ya que el valor de pH obtenido es solo por el papel.

Mientras que en la extracción en caliente los valores obtenidos están influenciados por la hidrólisis del sulfato de aluminio a mayor temperatura.

ANEXO 2

Diagramas de la lignina en la literatura

Espectro UV-VIS

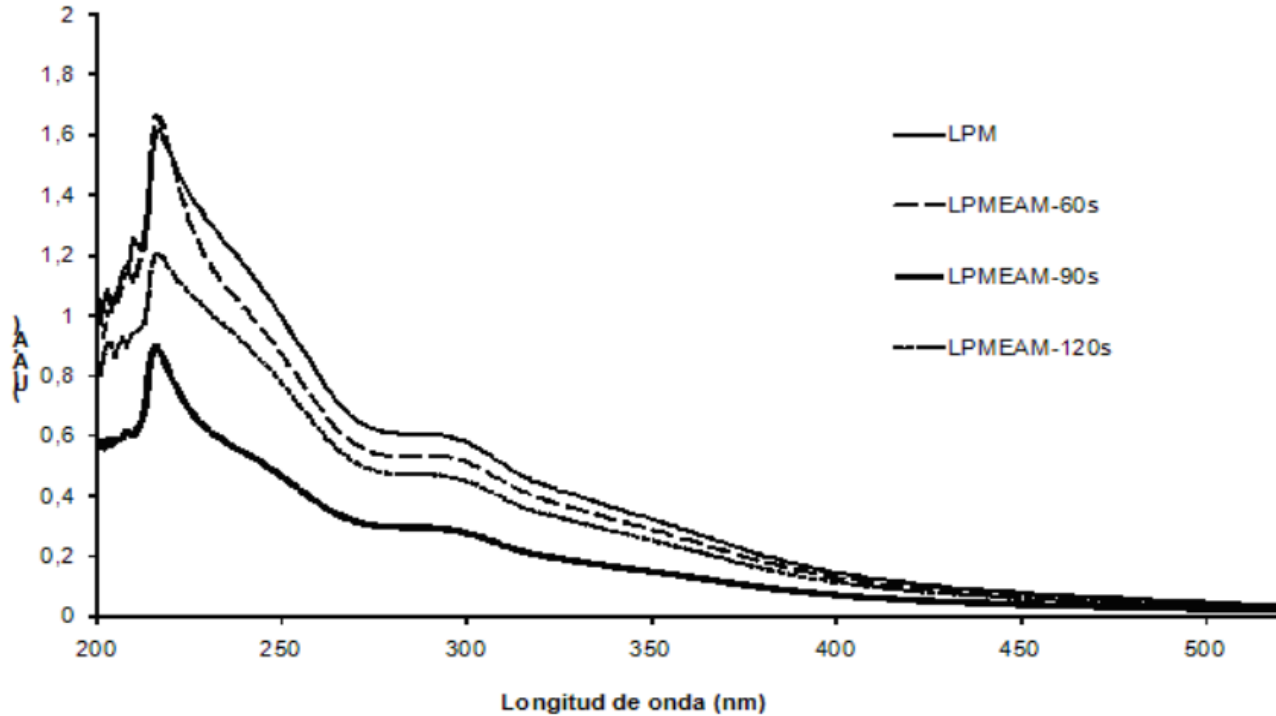


Figura 1. Espectros UV/Vis de la lignina pino mocarpel (LPM) y de los productos de esterificación a 60 s (LPMEAM-60 s), 90 s (LPMEAM-90 s) Y 120 s (LPMEAM-120 s).³⁶

DSC

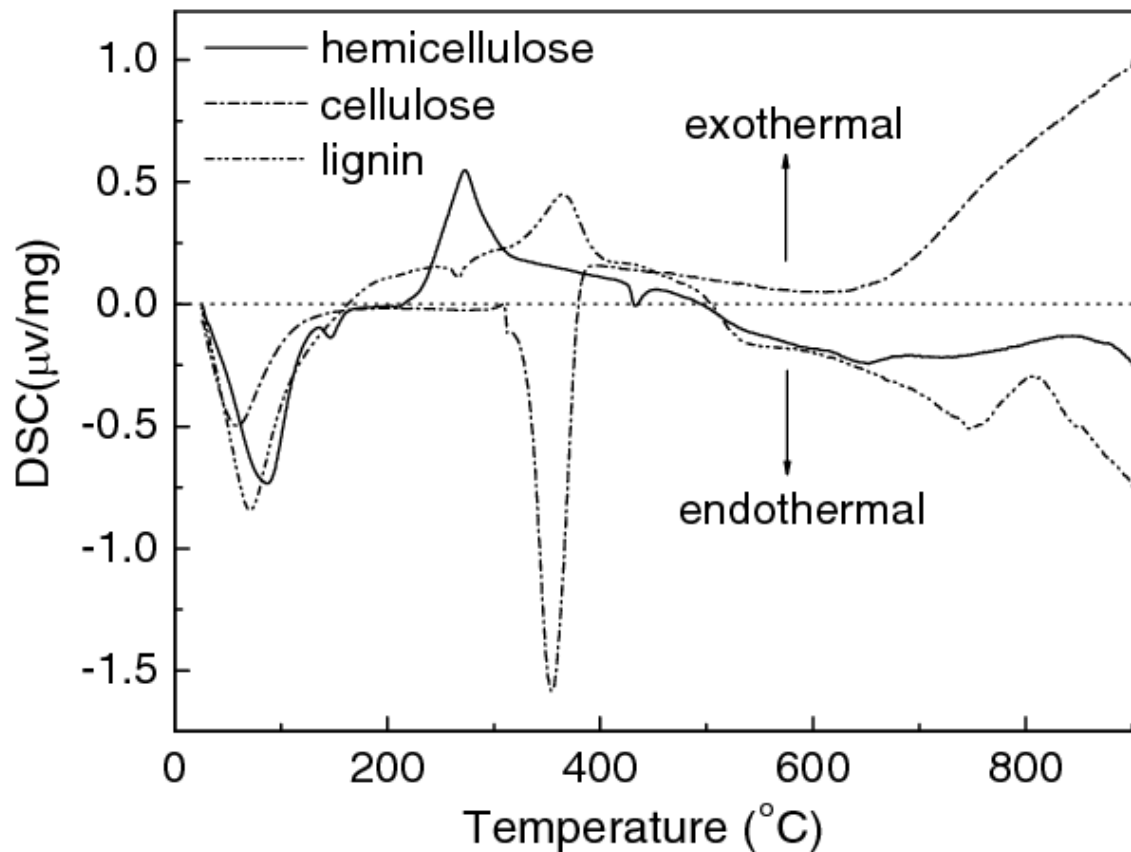


Figura 2. Curvas DSC de pirólisis de hemicelulosa, celulosa y lignina.³⁵

TGA

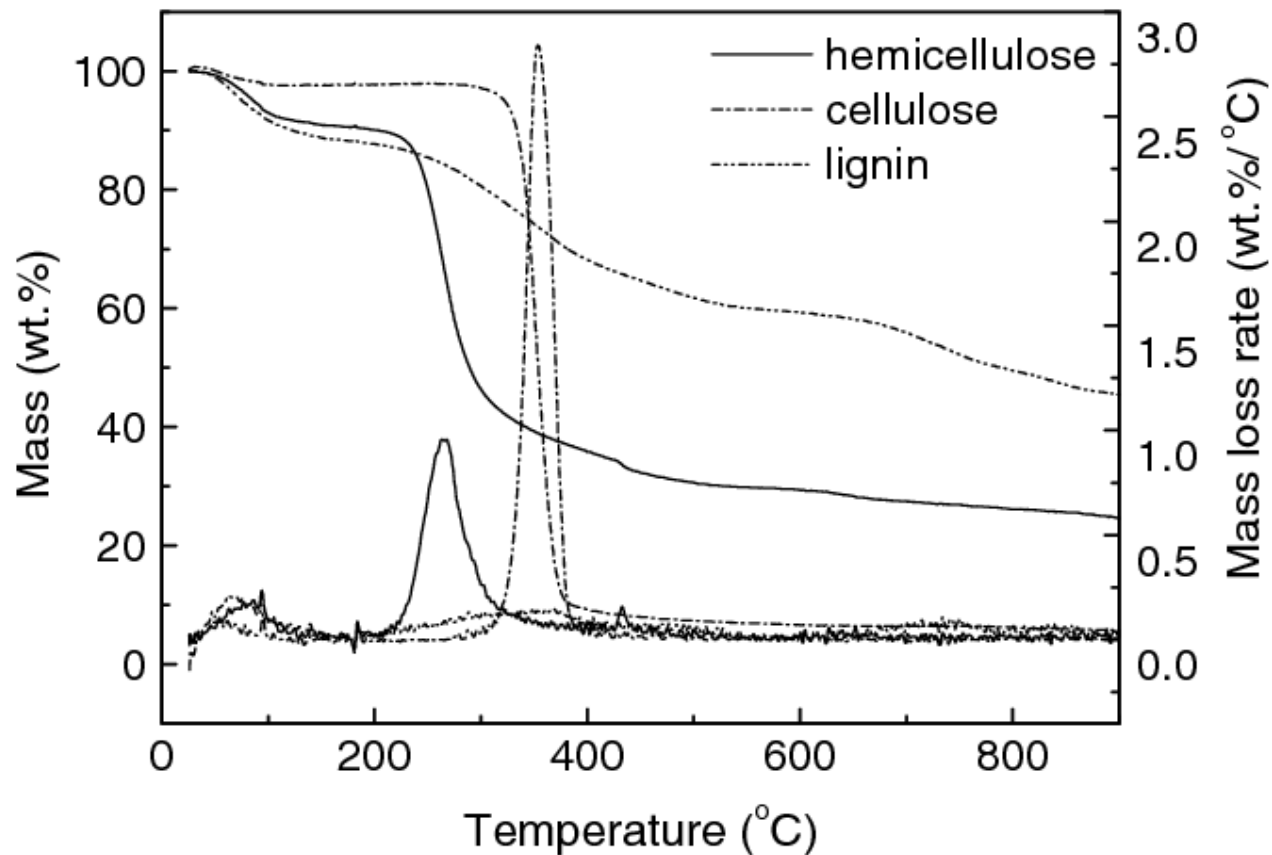


Figura 3. Curvas de pirólisis de hemicelulosa, celulosa y lignina en TGA.³⁵

ANEXO 3

Cálculos experimentales

Hojas de papel

Digestión

Es necesaria una disolución de NaOH al 7.69 % masa en 6 L de agua por lo que se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ masa} = \frac{\text{masa del soluto (g)}}{\text{masa de solución (g)}} \cdot 100 \quad [1]$$

La masa de solución es la suma de la masa del soluto y la masa del disolvente, obteniendo:

$$\% \text{ masa} = \frac{\text{masa del soluto(g)}}{\text{masa de soluto(g)} + \text{masa del disolvente(g)}} \cdot 100$$

Sustituyendo (tomando en cuenta para el agua que 6 L= 6000 mL= 6000 g):

$$7.69 \% \text{ masa} = \frac{\text{masa del soluto}}{\text{masa de soluto} + 6000 \text{ g}} \cdot 100$$

Resolviendo la ecuación con SOLVE en la calculadora obtenemos:

$$\text{Masa de soluto} = 500 \text{ g de NaOH}$$

Peso base

$$Pb = \frac{P \cdot 10000}{A} \quad [2]$$

Donde:

Pb= Peso base o gramaje de la muestra de papel [g/m²]

P= Peso de la hoja de papel [g]

A= Área de la hoja de papel [cm²]

Realizando el cálculo para la hoja 1

$$Pb = \frac{5.4 \text{ g} \cdot (10000)}{335.62 \text{ cm}^2} = 160.8963 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$$

Densidad aparente

$$\rho_A = \frac{Pb}{Espesor} = \frac{1}{Bk} \quad [3]$$

Donde:

ρ_A = Densidad aparente [g/cm³]

Pb= Peso base o gramaje de la muestra de papel [g/m²]

Espesor= Espesor promedio de la hoja de papel [μm]

Bk= Bulk [cm³/g]

Realizando el cálculo para la hoja 1

$$\rho_A = \frac{160.8963}{5300} = 3.0358 \times 10^{-2} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Bulk

$$Bk = \frac{Espesor}{Pb} = \frac{1}{\rho_A} \quad [4]$$

Donde:

Bk= Bulk [cm³/g]

Pb= Peso base o gramaje de la muestra de papel [g/m²]

Espesor= Espesor promedio de la hoja de papel [μm]

ρ_A = Densidad aparente [g/cm³]

Realizando el cálculo para la hoja 1

$$Bk = \frac{1}{3.0358 \times 10^{-2} \frac{g}{cm^3}} = 32.9402 \frac{cm^3}{g}$$

Contenido de humedad

$$H = \frac{G - G_S}{G} \cdot 100 \quad [5]$$

Donde:

H= Humedad referida al peso inicial del papel [%]

G= Peso inicial de la muestra [g]

G_S= Peso final de la muestra [g]

Realizando el cálculo para la hoja 1

$$H = \frac{0.52g - 0.492g}{0.52g} \cdot 100 = 5.38\%$$

Bio-plástico

Preparación del H₂SO₄ al 2 N.

Se requiere preparar 200 mL, así que se tiene:

$$2 \frac{eq}{L} H_2SO_4 \left(\frac{1 mol}{2 eq} \right) \left(\frac{98.07 g}{1 mol} \right) \left(\frac{1 mL}{1.84 g} \right) \left(\frac{100 g}{97.2 g} \right) (0.2 L) = 10.9 mL$$

Preparación de H₂SO₄ al 0.1 N.

Se requiere preparar 10 mL y ya que se tiene una disolución al 2 N, solo se va a realizar una dilución:

$$2 N \left(\frac{x}{10 mL} \right) = 0.1 N$$

Siendo x los mL a utilizar para la disolución, obteniendo:

$$x = \frac{0.1 N}{2 N} (10 mL) = 0.5 mL$$

Adición de matriz polimérica, plastificante y disolvente

La mezcla es requerida al 6 % en peso de todos los componentes, en proporciones de lignina 20 %, almidón 60 % y glicerol 20 %.

Ya que se conoce la cantidad total de lignina se realiza una regla de 3 y se tiene:

Lignina (20 %)	Glicerol (20 %)	Almidón (60 %)
0.85 g	0.85 g = 0.67 mL	2.55 g

Nota: El glicerol es un líquido, así que la masa se divide por la densidad= 1.26 g/mL.

Al tener las masas de los componentes se puede obtener la cantidad de agua a utilizar para obtener una mezcla al 6 % en peso.

$$\% \text{ masa} = \frac{\text{masa del soluto}(g)}{\text{masa de soluto}(g) + \text{masa del disolvente}(g)} \cdot 100$$

$$6 \% = \frac{[0.85 + 0.85 + 2.55] g}{[0.85 + 0.85 + 2.55] g + \text{masa del disolvente}(g)} \cdot 100$$

Resolviendo la ecuación con SOLVE en la calculadora obtenemos:

$$\therefore \text{Masa del disolvente} = 66.6 g = 66.6 mL$$

Permeabilidad al vapor de agua

Primero debemos de obtener el flujo de permeabilidad al vapor de agua, con la ecuación 6:

$$Fva = \frac{g}{t \cdot A} \quad [6]$$

Donde:

Fva= Flujo al vapor de agua [g/ h m²]

g= Pérdida de peso [g]

t= Tiempo total que se tuvo la muestra en el desecador [horas]

A= Área de permeabilidad (área de la muestra) [m²]

Y para obtener la permeabilidad al vapor de agua se utiliza la ecuación 7:

$$Pva = (Fva) \cdot \left(\frac{X}{\Delta P} \right) \quad [7]$$

Donde:

Pva= Permeabilidad al vapor de agua [g / h m²]

X= Espesor del bio-plástico [mm]

ΔP= Diferencia de presión de vapor del medioambiente que contiene el desecador (0 kPa, 25 °C) y el agua pura (3.1697 kPa a 25 °C).

Fva= Flujo al vapor de agua [g mm/ h m² kPa]

Para la muestra 1

Obteniendo la pérdida de peso:

$$\text{Pérdida de peso} = 97.1 \text{ g} - 87.1 \text{ g} = 10 \text{ g}$$

Obteniendo el tiempo en horas, sabiendo que la muestra duro 4 días en el desecador:

$$4 \text{ días} \left(\frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \right) = 96 \text{ horas}$$

Sustituyendo la ecuación 6:

$$Fva = \frac{10 \text{ g}}{(96 \text{ h}) \left(1.38 \text{ cm}^2 \left(\frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2} \right) \right)} = 754.83 \frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$$

Con los datos obtenidos se sustituye la ecuación 7:

$$Pva = \left(754.83 \frac{g}{h \cdot m^2}\right) \cdot \left(\frac{0.66 \text{ mm}}{3.1697 \text{ kPa}}\right) = 157.17 \frac{g \cdot \text{mm}}{h \cdot m^2 \cdot \text{kPa}}$$

Solubilidad en agua

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(1 - \left(\frac{PI - PF}{PI}\right)\right) \cdot 100 \quad [8]$$

Donde:

% Solubilidad= Porcentaje de disolución del bio-plástico en agua [%]

PI= Peso inicial del bio-plástico [g]

PF= Peso final del material seco que no se solubilizo [g]

Sustituyendo la ecuación 8:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(1 - \left(\frac{0.0774 \text{ g} - 0.0664 \text{ g}}{0.0774 \text{ g}}\right)\right) \cdot 100 = 85.79 \%$$