

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL

Trabajo Experimental:

“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PCL (Policaprolactona) DOSIFICADO CON
LA LIGNINA EXTRAÍDA DE LA FIBRA DE BANANO”

AUTORA:

KARLA CRISTINA ORELLANA VÁZQUEZ

TUTOR:

Ing. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS

CUENCA

2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Karla Cristina Orellana Vázquez con C.I.: 0105673693, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy la autora del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PCL (Policaprolactona) DOSIFICADO CON LA LIGNINA EXTRAÍDA DE LA FIBRA DE BANANO”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de *Ingeniera Ambiental* en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Febrero del 2018



Karla Cristina Orellana Vázquez

C.I.: 0105673693

CERTIFICACIÓN

Yo, Jorge Braulio Amaya Pinos declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PCL (Policaprolactona) DOSIFICADO CON LA LIGNINA EXTRAÍDA DE LA FIBRA DE BANANO”**, realizado por Karla Cristina Orellana Vázquez, obteniendo el Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Febrero del 2018



Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos

C.I. 0103444923

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Karla Cristina Orellana Vázquez con C.I. 0105673693 autora del trabajo de titulación **“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PCL (Policaprolactona) DOSIFICADO CON LA LIGNINA EXTRAÍDA DE LA FIBRA DE BANANO”**, certifico que el total contenido del Trabajo Experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Febrero 2018.



Karla Cristina Orellana Vázquez

C.I. 0105673693

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis especialmente a mi madre que sin su apoyo, amor y paciencia no estaría en estos momentos culminando una etapa muy importante en mi vida, por ser ella el motivo fundamental para ser mejor cada día, gracias a su ejemplo por ser una madre extraordinaria, luchadora y muy fuerte ante todas las cosas.

También a mi hermano David que siempre ha estado ahí apoyándome, demostrándome su amor y admiración, gracias por siempre creer en mí, incluso cuando en muchas ocasiones ni yo lo hacía.

Y finalmente a toda mi familia y amigos que estuvieron pendientes de todo este proceso ayudándome de una manera u otra, cada uno son personas muy importantes en mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por darme sabiduría para seguir paso a paso todo este trayecto sin rendirme, porque él ha sido incondicional en mi vida. También quiero agradecer a mis padres y hermano por todo el apoyo y amor que siempre me han dado, a mi amigo, compañero de aula y ahora colega por su tiempo, paciencia y por siempre ser una excelente persona.

También quiero agradecer a mi tutor el Ing. Jorge Amaya por su paciencia, tiempo y predisposición para hacer que el objetivo de este trabajo fuera posible, por siempre estar al pendiente de las actividades a realizarse en este proyecto.

De igual manera a mi mejor amigo que pese a cualquier adversidad estuvo ahí alentándome para ser mejor cada día, gracias por sus palabras, por su envidiable paciencia, gracias por ser un apoyo en mi vida.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	15
3.1 GENERALIDADES.....	15
3.2 ¿QUÉ SON LOS PLÁSTICOS?.....	15
3.3 PRODUCCIÓN Y PROBLEMÁTICA DE LOS PLÁSTICOS	16
3.4 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES	17
3.5 FIBRAS NATURALES	18
3.6 FIBRA DE BANANO.....	19
3.7 LIGNINA Y SU ESTRUCTURA.....	21
3.8 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LA LIGNINA	23
3.9 PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES	24
3.10 POLICAPROLACTONA (PCL)	24
3.11 TIPOS DE DEGRADACIÓN EN POLÍMEROS	26
3.11.1 DEGRADACIÓN MEDIANTE OXIDACIÓN TÉRMICA	27
3.12 MÉTODO DE DEGRADACIÓN POR COMPOSTAJE	27
3.13 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE BANANO	28
3.14 ANÁLISIS PROXIMAL QUÍMICO.....	29
3.15 GRANULOMETRÍA DE LA FIBRA DE BANANO	29
3.16 ANÁLISIS INSTRUMENTAL.....	30
3.16.1 ESPECTROMETRÍA DE INFRARROJO (IR).....	30
3.16.2 ANÁLISIS DE CALORÍMETRO DE BARRIDO DIFERENCIAL (DSC)	31
3.17 DUREZA DE POLÍMEROS (SHORE).....	31
4. ESTADO DEL ARTE.....	32
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
5.1 PROCESAMIENTO DEL RAQUIS.....	33
5.2 HUMEDAD DE LA FIBRA SIN TRATAR.....	34
5.3 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL.....	34
5.3.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD	34
5.3.2 EXTRAÍBLES EN SOLVENTE ORGÁNICO.....	35
5.3.3 EXTRAÍBLES EN AGUA CALIENTE	35
5.3.4 CENIZAS TOTALES	36

5.3.5 MATERIA VOLÁTIL	36
5.4 GRANULOMETRÍA DE LA FIBRA DEL RAQUIS DEL BANANO	37
5.5 EXTRACCIÓN DE LA LIGNINA	37
5.5.1 HIDROLISIS BÁSICA	37
5.5.2 HIDROLISIS ACIDA.....	38
5.5.3 PORCENTAJE DE LA LIGNINA	39
5.6 ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA INFRARROJA	40
5.7 DEGRADACIÓN POR EXPOSICIÓN AL COMPOSTAJE	40
5.8 ANÁLISIS DE ALGUNOS NUTRIENTES DEL COMPOSTAJE.....	40
5.8.1 pH	40
5.8.2 CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA.....	40
5.8.3 HUMEDAD	41
5.8.4 ANÁLISIS DE LOS MICRO Y MACRONUTRIENTES DEL SUELO	41
5.9 ELABORACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS.....	41
5.10 DOSIFICACIÓN DEL PCL CON LIGNINA.....	43
5.11 ANÁLISIS DE DUREZA.....	44
5.12 ANÁLISIS DE DSC EN LOS BIOPOLÍMEROS Y CON EL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA.....	45
5.13 DEGRADACIÓN TÉRMICA DE LOS BIOPOLÍMEROS Y EL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA.....	45
5.14 ANÁLISIS DE PROPORCIONES	45
6. RESULTADOS.....	46
6.1 HUMEDAD INICIAL DE LA FIBRA	46
6.2 ANÁLISIS PROXIMAL	46
6.3 GRANULOMETRÍA'	48
6.4 PORCENTAJE DE LIGNINA	51
6.5 ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJO (IR) DE LA LIGNINA	52
6.6 DUREZA SHORE.....	53
6.7 ANÁLISIS DEL DSC DE LOS BIOPOLÍMEROS.....	54
6.8 ANÁLISIS DEL DSC DEL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA	56
6.9 DEGRADACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS Y PCL DOSIFICADO CON LIGNINA	58
6.10 ANÁLISIS DE PRUEBA DE PROPORCIONES DE DOS MUESTRAS CON LOS BIOPOLÍMEROS Y EL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA.....	60
6.11 ANÁLISIS DE ALGUNOS COMPONENTES DEL COMPOSTAJE	64
6.11.1 pH	64
6.11.2 MATERIA ORGÁNICA	64
6.11.3 HUMEDAD	65
6.11.4 MACRO Y MICRONUTRIENTES.....	65

6.12 PORCENTAJES FINALES DE LA DEGRADACIÓN DEL PCL EN ESTUFA Y COMPOSTAJE.	66
6.13 PORCENTAJES FINALES DE LA DEGRADACIÓN DEL PCL EN ESTUFA Y COMPOSTAJE.	67
6.14 COMPARACIÓN ENTRE EL BIOPOLÍMERO Y EL PCL MODIFICADO	68
7. CONCLUSIONES	70
8. DISCUSIÓN.....	71
9. RECOMENDACIONES	72
10. BIBLIOGRAFÍA	73
11. ANEXOS.....	78

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de componentes en la fibra de banano.	28
Tabla 2 Parámetros de la Hidrólisis Acida.....	37
Tabla 3 Parámetros utilizados en la Hidrólisis Acida	38
Tabla 4 Formulaciones para la elaboración de los biopolímeros	42
Tabla 5 Formulaciones para los biopolímeros sin lignina.....	43
Tabla 6 Dosificación del PCL con la Lignina	44
Tabla 7 Porcentaje de humedad de la fibra sin tratar	46
Tabla 8 Porcentaje de Humedad de la Fibra tratada.....	46
Tabla 9. Porcentajes en solvente orgánico, agua caliente y material volátil.....	47
Tabla 10 Porcentaje de ceniza en la fibra tratada.....	47
Tabla 11 Análisis Granulométrico	48
Tabla 12 Porcentaje de ceniza en la fibra tratada.....	51
Tabla 13 Resultados de dureza en los biopolímeros y en el PCL dosificado con Lignina	53
Tabla 14 Valores de degradación de biopolímeros en estufa.....	58
Tabla 15 Valores de degradación de biopolímeros en compostaje	59
Tabla 16 Valores de la degradación de PCL en la estufa.....	59
Tabla 17 Valores de la degradación de PCL en el compostaje	59
Tabla 18 Valores en proporción de los pesos de degradación de los Biopolímeros en estufa	60
Tabla 19.Comparación entre la formulación 1 y 6 de la estufa.....	60
Tabla 20. Comparación entre las formulaciones 2 y 4 de la estufa.....	61
Tabla 21 Valores en proporción de los pesos de degradación de los Biopolímeros en Compostaje.....	61
Tabla 22 Comparación entre las formulaciones 1 y 6 del compostaje.....	62
Tabla 23 Valores en proporción de los pesos de degradación del PCL en estufa.....	62
Tabla 24 Comparación entre PCL con lignina al 15% y 0% de la estufa.	62
Tabla 25 Comparación entre el PCL con lignina al 15% y 10% en la estufa	63
Tabla 26 Valores en proporción de los pesos de degradación del PCL en Compostaje	63
Tabla 27 Comparación entre el PCL con lignina al 15% y 0% en compostaje.....	64
Tabla 28 Resultado de pH.....	64
Tabla 29 Resultado de Materia Orgánica.....	64
Tabla 30 Resultado de la humedad del compostaje	65

Tabla 31 Resultados de los macro y micronutriente en el suelo	65
Tabla 32 Cantidad porcentual de degradación del PCL mediante dos métodos	66
Tabla 33 Cantidad porcentual de degradación de los biopolímeros mediante dos métodos....	67
Tabla 34 Porcentajes de degradación del PCL y el Biopolímero en estufa	68
Tabla 35 Porcentajes de degradación del PCL y el Biopolímero.....	69

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las fibras naturales vegetales Fuente Kabir, Wang, Aravinthan, Cardona, & Lau, 2011	19
Figura 2. Estructura de la Lignina Fuente: www.mariecuriesnews.wordpress.com	22
Figura 3. Métodos químicos y físico para la extracción de la lignina, Fuente: R. Torres et al., 2015.....	23
Figura 4 . Representación esquemática de los componentes químicos de las fibras Fuente Kabir et al., 2011	20
Figura 5 Partes de la planta de Banano. Fuente Dulanto 2014	21
Figura 6. Polimerización de la caprolactona a Policaprolactona Fuente Berserker79.....	25
Figura 7. Longitud de onda del Espectro Infrarrojo Fuente http://www.sinorg.uji.es	30
Figura 8. Termograma típico de un polímero semicristalino. Fuente Llorete Uceta & Horta Zubiaga, 1991	31
Figura 9 Parámetros del compostaje Fuente: Pantoja, 2013	28
Figura 10 Troceado de Raquis Fuente Martínez, 2017.	33
Figura 11. Obtención de la fibra con la ayuda de una licuadora industrial Fuente Martínez, 2017.....	34
Figura 12. Cocción de la fibra de banano colocada en un calentador magnético. Fuente: La Autora.....	38
Figura 13. Secado de la fibra en la estufa Fuente La Autora	39
Figura 14 Fotómetro 680 donde se determinó los macro y micronutrientes del suelo Fuente La Autora.....	41
Figura 15. Biopolímeros en sus moldes fuera de la estufa Fuente La Autora.	42
Figura 16. PCL dosificado con la Lignina. Fuente La Autora	44

LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Representación del contenido en los tamices de la prueba 1 Fuente La Autora	49
Gráfico 2 Representación del contenido en los tamices de la prueba 2 Fuente La Autora	49
Gráfico 3. Representación del contenido en los tamices de la prueba 3 Fuente La Autora. ...	50
Gráfico 4. Promedio de las tres pruebas Fuente: La Autora	51
Gráfico 5. Resultados del Espectro IR de la Lignina experimental. Fuente La Autora	52
Gráfico 6 . Espectro IR de la extracion de la Lignina utilizando NaOH. Fuente La Autora. .	52
Gráfico 7. DSC de la formulación 1 de los biopolímeros. Fuente La Autora.	54
Gráfico 8. DSC de la formulación 2 de los biopolímeros. Fuente La Autora.	55
Gráfico 9. DSC de la formulación 5 de los biopolímeros. Fuente La Autora.	55
Gráfico 10. DSC de PCL comercial	56
Gráfico 11. DSC de PCL dosificado al 5% con lignina. Fuente La Autora.	56
Gráfico 12. DSC de PCL dosificado al 10% con Lignina. Fuente La Autora.	57
Gráfico 13. DSC de PCL dosificado al 15% con Lignina Fuente La Autora.	58
Gráfico 14. Curva de degradación del PCL con y sin lignina mediante la estufa y el compostaje. Fuente La Autora	66
Gráfico 15. Curvas de degradación de los biopolímeros mediante la estufa y el compostaje. Fuente La Autora.	67
Gráfico 16. Curvas de degradación de los biopolímeros mediante la estufa del PCL y los biopolímeros. Fuente La Autora.	68
Gráfico 17. Curva de degradación del PCL con y sin lignina mediante la estufa y el compostaje. Fuente La Autora	69

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador se cultivan 140.000 Ha con banano, por lo que trabaja en la producción de este alimento (Rada, Ariza, Barrios, Tovar, & López, 2009) y lo comercializa cubriendo un 29% de la demanda (Guerrero, 2017). Esto hace que el banano sea uno de los alimentos más representativo después de otros productos como el maíz entre otros (Arias, Dankers, Liu, & Pilkauskas, 2004).

Esta producción genera gran cantidad de residuos provenientes de la cosecha del mismo ya sean plásticos o restos vegetales que provienen del raquis, hojas, pseudotallos, flor. En nuestro país se dice que se producen 351.031t (toneladas) de residuos lignocelulósicos cada año las cuales vienen de las plantaciones de banano (Maurat Carchi, 2014).

El raquis puede llegar a causar contaminación debido a que produce proliferación de roedores, moscas, insectos y otros vectores. Este crecimiento puede causar daños a cultivos aledaños, formas hongos, almacenar agua (Mejía, 2012). Este tipo de residuos puede causar contaminación debido a la carga orgánica que posee, lo que afectara a las especies de peces que se encuentren en los ríos. También afecta al aire ya que produce gas metano y sulfato de hidrogeno (Rada et al., 2009).

En los tiempos actuales hay un continuo incremento en la elaboración de productos a base de plásticos, se dice que la producción ha crecido en un 4% para 2015 es decir paso de 311 millones en 2014 a 322 millones de Tn (toneladas) para 2015 y para 2020 podría sobrepasar los 500 millones de Tn (toneladas) (Greenpeace, 2017).

Es este incremento lo que hace que se lleve a la búsqueda y el desarrollo de nuevos materiales como son los biopolímeros para el consumo de la población reduciendo así el

impacto de los plásticos elaborados con materiales derivados del petróleo. Es necesario desarrollar un plástico igual de resistente pero menos contaminante.

En años recientes la importancia del empleo de fibras naturales ha crecido supliendo a los plásticos ya conocidos. Se entiende por fibras vegetales básicamente a los elementos fibrosos que están en la pared de la célula y están constituidos por la celulosa, hemicelulosa y la lignina (Maurat Carchi, 2014), estas fibras pueden ser de origen vegetal, animal o mineral.

Entre estos componentes la celulosa se caracteriza por ser uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza, siguiéndole así la lignina por ello se han desarrollado usos alternativos para aprovechar este subproducto (Castillo et al., 2012).

A la lignina se la reconoce debido a que posee en su composición con una red polimérica en tres dimensiones formada por cadenas de propilbenceno, además cuenta con varios enlaces C-C y C-O. Debido a su estructura posee una degradación menor que la celulosa (A. Álvarez Castillo et al., 2012). Además agrupa a la fibras debido que está presente también en los átomos que une a la lignina y los carbohidratos, también actúa de defensor contra los agentes presentes en la atmosfera (Mejía, 2012)

En la elaboración de envases hay ciertos polímeros con los que son más conveniente de trabajar debido a que su tiempo de degradación es menor en comparación a otros , ayudando así al medio ambiente entre estos polímeros se encuentran el propileno, polietileno y poliestireno. En la actualidad se han realizado indagaciones que llevan a utilizar polímeros biodegradables como fuente para la creación de envases (Torres, Grattz, Salcedo, & Hurtado, 2016).

Una gran alternativa se encuentra en la policaprolactona (PCL) ya que es biodegradable es un poliéster alifático (INTI, 2011) el tiempo en el que ese material se descompone es de

aproximadamente de 2 a 3 años su origen fósil es lo que lo hace dañino para el medio ambiente.

Es así que en el presente trabajo se busca exponer la importancia, propiedades, procedimientos de extracción, maneras de aprovechar los residuos vegetales de las plantaciones de banano enfocándonos en el raquis de la planta por lo cual se elaborara biopolímeros para estudiar su degradabilidad, lo mismo se va a realizar con el PCL dosificado con la lignina en diferente porcentajes mediante un método térmico y por compostaje este último solo se hará para realizar una comparación en relación a los pesos finales.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Analizar la degradabilidad de PCL (Policaprolactona) dosificado con la Lignina mediante métodos químicos.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un Biopolímero a partir de la extracción de la Lignina, mediante hidrolisis.
- Realizar una Dosificación de PCL con Lignina y comparar sus resultados con Polímero Termoplástico original.
- Realizar la Biodegradación del Biopolímero mediante procesos térmicos.
- Establecer una comparación entre el biopolímero y el polímero modificado.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 GENERALIDADES

Los problemas de contaminación debido a la utilización de plásticos se verían reducidos con la fabricación de plásticos biodegradables, ya que los plásticos de origen fósil se acumulan a una velocidad de 25 millones de Tn (toneladas) por año en el medio ambiente. Mientras que los plásticos biodegradables reducirían dicha contaminación en un 20%. Los plásticos biodegradables se desarrollaron con la introducción de biopolímeros en las matrices poliméricas sintéticas, dando así como resultado un plástico (Arévalo Niño, 2009).

Se entiende por biopolímeros a todos los polímeros producidos por la naturaleza como es el caso de la celulosa, almidón, lignina. No son tóxicos y son asimilados con facilidad por varias especies de estos se derivan los bioplásticos (Pacheco, Flores, & Rodríguez-Sanoja, 2014). Se considera que en la elaboración de bioplásticos las emisiones de CO₂ serán reducidas entre 0.8 y 3.2 Tn (Castillo et al., 2015).

3.2 ¿QUÉ SON LOS PLÁSTICOS?

Se consideran plásticos a los materiales que están constituidos por polímeros, poseen en su estructura básicamente carbono así como de hidrogeno, oxigeno, azufre y nitrógeno. La mayoría de plásticos son materiales sintéticos y se consiguen mediante materias primas como el petróleo, gas natural y carbón, sin embargo la mayoría de estos plásticos se obtienen del petróleo (Medina, 2005), mediante polimerización o multiplicación artificial y también se pueden generar de sustancias naturales (Segura, Noguez, & Espín, 2007).

3.2.1 Propiedades de los plásticos

- Conductividad eléctrica nula: los plásticos poseen una mala conductividad de electricidad por lo que se los utiliza como aislante eléctricos.

- Conductividad térmica baja: ya que transmiten el calor de una manera lenta.
- Resistencia Mecánica.
- Combustibilidad: debido a que arden con facilidad debido a que estas compuestos de carbono e hidrogeno, cada plástico al arder tiene un color característico.

3.2.2 Clasificación de los plásticos

1) Por su Naturaleza

- Naturales: Estos son obtenidos de materias primas como es la celulosa, látex entre otros.
- Sintéticos: Estos son elaborados con compuestos derivados del petróleo.

2) Por su estructura Interna

- Termoplásticos: Son aquellos que su forma cambia rápidamente con el calor, pero se reconstruye al enfriarse.
- Termoestables: debido a que se le aplica presión y calor, es un plástico más resistente y rígido a las temperaturas.
- Elastómeros: este tipo de plásticos son muy elásticos, no son resistentes al calor y se degradan a temperaturas medias.

3.3 PRODUCCIÓN Y PROBLEMÁTICA DE LOS PLÁSTICOS

Los países con mayor producción de plásticos son en primer lugar China seguido de Europa, América del Norte y Asia. En el mercado existen varias clases de plásticos aunque las más importantes son polietileno, polyester, polipropileno y cloruro de polivinilo. Los plásticos en su gran mayoría se fabrican para envases lo que los hacen ser productos de un solo uso (Greenpeace, 2016).

Al momento de desechar un plástico se puede encontrar en distintos lugares ya sea en un basurero, puede ser quemado o aprovecharse para su reciclaje. Pero al botarlos sin tener en cuenta a donde irán a parar lo más probable es que lleguen a vías fluviales y océanos por lo que el 80% de los residuos marinos vienen de tierra (Villena, 2015) .

Los plásticos que no quedan enterrados emergen en los océanos ayudando así al proceso de degradación aunque esta se rompe en fragmentos formándose así micros plásticos, estos materiales pueden incorporar químicos y liberarlos quedando en el cuerpo de las especies marinas, perjudicando así a la población que consume ciertas especies(Amaia Bilbao Villena, 2015).

3.4 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

Debido al abuso que la población ha tenido con los empaques sintéticos, han ocasionado grandes y preocupantes problemas ecológicos ayudando así a la contaminación ambiental, inducida por cantidad de desechos sólidos de poca permeabilidad y totalmente no biodegradables (Villada, Acosta, & Velasco, 2007).

En los últimos años han cambiado varias ideas sobre la preservación del medio ambiente, creciendo así la conciencia ambiental buscando procesos que sean biodegradables y, por lo tanto, compatibles con el medio ambiente (Bastioli, 2001). Estableciendo así a los plásticos biodegradables como materiales provenientes de fuentes naturales o también mediante un cultivo de bacterias (Castellón, 2010). Tienen mayor facilidad de degradarse mediante una descomposición anaeróbica o aeróbica.

Por lo tanto, el concepto de biodegradabilidad posee atributos fáciles de usar y ecológicos, y las materias primas que se utilizan se derivan esencialmente de residuos agropecuarios o desechos de la industria de alimentos marinos, y por lo tanto induce a la conservación de recursos naturales con un respaldo en el medio ambiente y ambiente seguro (Tharanathan, 2003).

Es esta la razón por la que se ha promovido las investigaciones sobre biopolímeros naturales, los mismos que tiene cuatro grandes grupos de origen: animal, microbiano, vegetal y agrícola (Villada et al., 2007).

El PCL es usado continuamente como agregado de resinas para optimizar sus cualidades, entre ellas están su fortaleza al impacto. Debido a que posee gran compatibilidad con varios materiales admite emplearlo en composiciones con almidón para aminorar costos además que esto hará que la biodegradación sea mejor. También se lo puede mezclar con el PVC.

3.5 FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales se encuentran en gran cantidad en los países en desarrollo representando así una fuente renovable latente (Juárez Alvarado, Rodríguez López, Rivera Villarreal, & Rechy de Von Roth, 2003), son biodegradables y no presentan efectos abrasivos como las fibras de vidrio.

Las fibras vegetales provienen de diferentes formas como son del tallo como son en el Lino, Kenaf, yute entre otros, en frutos como el Coco, semillas como algodón y ceiba y raíces. (Torres, 2013) y están constituidas por una compleja asociación de sustancias poliméricas a saber: hemicelulosa, celulosa y lignina (Córdoba, Mera, Martínez, & Rodríguez, 2010).

La cantidad de estas sustancias poliméricas varía de acuerdo a los tipos de planta e influencia las condiciones del entorno. Es por eso que propiedades y características físicas no son iguales.

Existe gran petición de fibras naturales en países desarrollados, debido a que las fibras sintéticas tienen un impacto negativo sobre el planeta debido a que su tiempo de degradación es de alrededor de 500 años. En el Ecuador existen aproximadamente 25000 especies de

plantas superiores convirtiéndose así en el país con el mayor número de unidades vegetales por unidad de área en Latinoamérica.

En la actualidad se ocupan con mayor demanda 25 especies de fibras extraídas de plantas por indígenas y campesinos en actividades artesanales principalmente. Dichas fibras son la cabuya, totora, abacá, ceibo, palmas, paja toquilla, algodón, pitigua, balsa, matapalo, caucho, rampita, anona, batea, achiote, majagua, higuerón, ortiga, mimbre, bejuco real, auro (Torres, 2013)

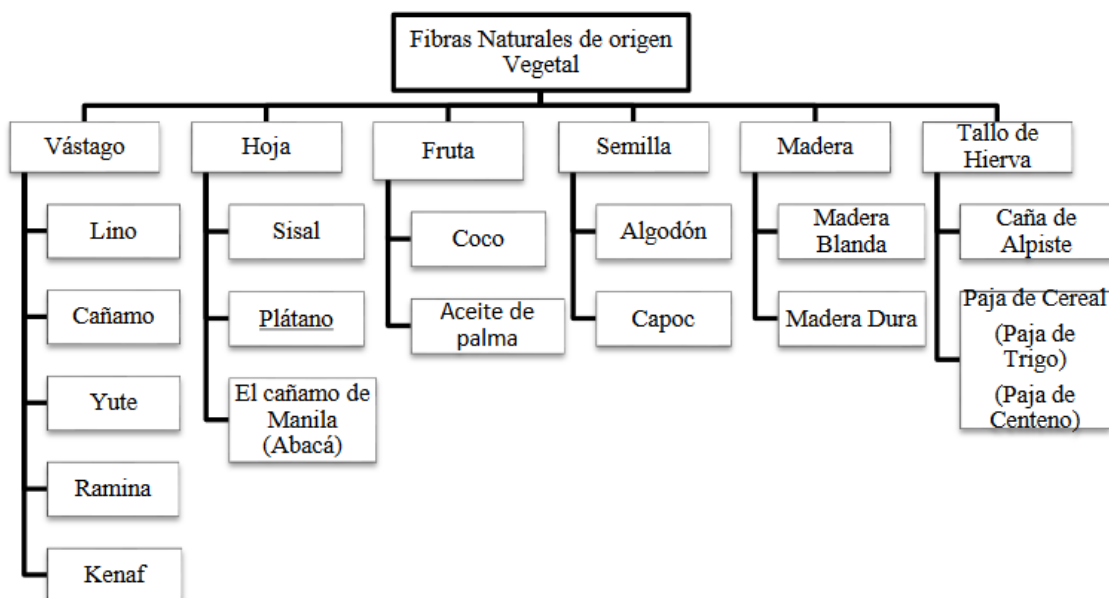


Figura 1. Clasificación de las fibras naturales vegetales Fuente Kabir, Wang, Aravinthan, Cardona, & Lau, 2011. Mússig, Mussig, & Stevens, 2010.

3.6 FIBRA DE BANANO

Se considera como un tipo reciente de fibra, su aspecto es parecido a la fibra de ramio o a la de bambú, se caracteriza por su delicadeza siendo mejor que cualquier otra fibra; teniendo una longitud de 60mm aproximadamente (Canché, De los Santos, Andrade, & Gómez-Cruz, 2005).

Su estructura está compuesta químicamente de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectinas (Rodríguez Sepúlveda, 2014) como se puede observar en la figura 2 y compuestos inorgánicos como cenizas, las cuales son posibles extraer. Tiene varias características como peso ligero, alta resistencia, gran permeabilidad (González, 2013).

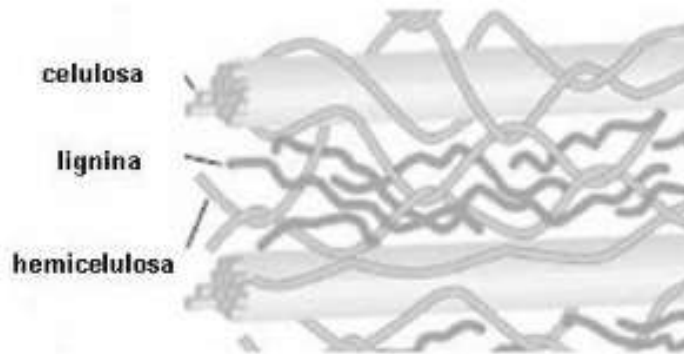


Figura 2 . Representación esquemática de los componentes químicos de las fibras Fuente Kabir et al., 2011

De la industria productora de banano se obtiene residuos vegetales en gran cantidad, ya que de dicha planta se aprovecha solo el fruto. En el Ecuador por año se produce aproximadamente 351031 Tn de residuos vegetales que viene de la producción de banano (Barriga et al., 2013).

Pero también se puede obtener beneficios de esta planta para la extracción de fibras naturales ya sea del raquis el cual posee un porcentaje de fibra del 8% (Méndez Rodríguez, 2012), de las hojas y del pseudotallo las mismas que se observa en la Figura 3 (Cordeiro, Belgacem, Torres, & Moura, 2004).

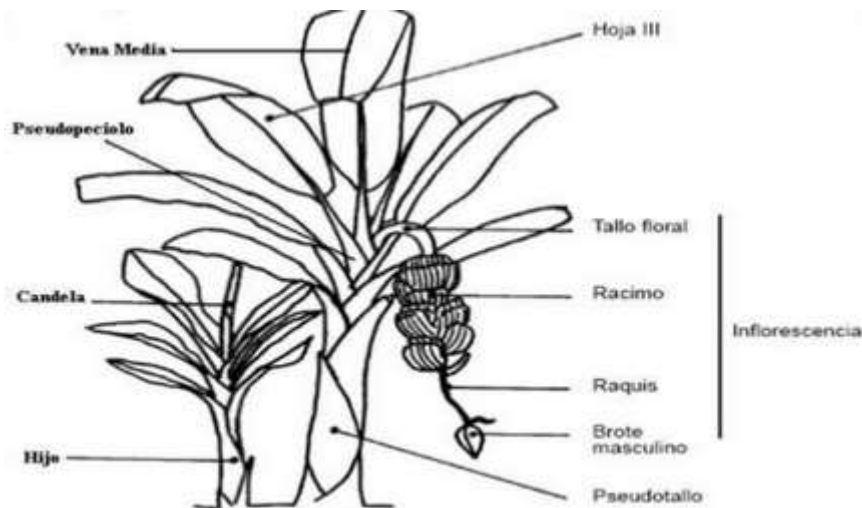


Figura 3. Partes de la planta de Banano. Fuente Dulanto 2014

3.7 LIGNINA Y SU ESTRUCTURA

A la lignina se la reconoce por estar formado por una red polimérica tridimensional y entre si están unidas por unidades de fenilpropano en diferentes posiciones. Existe diversidad de enlaces C-O y C-C en este compuesto, y esto caracteriza las propiedades físicas, químicas y biológicas y sus interacciones con otros componentes celulares.

Su inestabilidad en cuanto a su estructura hace que su velocidad de degradación sea más lenta que la de la celulosa (A. Álvarez Castillo et al., 2012), debido a que se forman tejidos compactos en las cuales las proteínas degradantes de polisacáridos expulsadas por los microorganismos no pueden atravesar la pared celular (Maurat Carchi, 2014).

La lignina se crea por fotosíntesis, se encuentra en gran cantidad en las plantas y también en otros componentes de la biomasa después de la celulosa y hemicelulosa. (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

Su función es asegurar la protección contras los agentes atmosféricos, también portarse como aglomerante de las fibras, ya que además de estar sobre las fibras celulósicas también se

encuentra en los enlaces covalentes entre lignina y carbohidratos, como sucede con la galactosa o la arabinosa (Mejía, 2012).

Su posibilidad de que se aproveche va a depender de su capacidad química para ejercer funciones como aglomerante, dispersante, emulsionante y estabilizador de emulsiones. Se utilizan como copolímero de resinas fenólicas debido a su estructura similar a la de las resinas fenol – formaldehído, así como por su abundancia y bajo costo. (Reale, Di Tullio, Spreti, & De Angelis, 2004).

La lignina está calificada como un recurso renovable accesible y permitido para uso industrial, su producción anual se ha evaluado en el intervalo de $5\text{-}36 \times 10^8$ toneladas. Por ende al ser la lignina un componente natural extraído de las fibras naturales se puede utilizar para elaborar plástico (Gellerstedt & Henriksson, 2008).

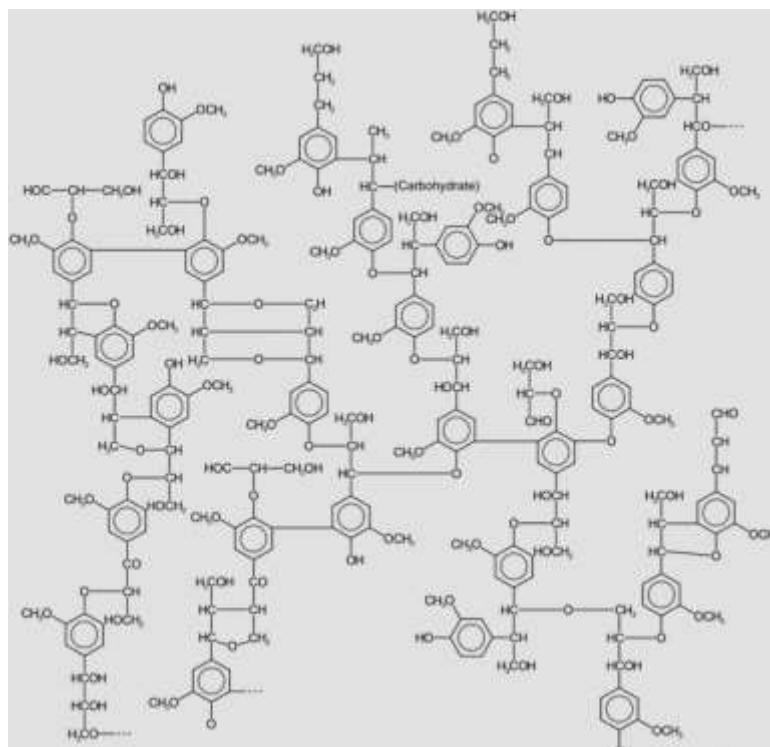


Figura 4. Estructura de la Lignina Fuente: www.mariecuriesnews.wordpress.com

3.8 MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LA LIGNINA

Para el aislamiento o extracción de la lignina en materia vegetal se han identificado varios procesos ya sean químicos o mecánicos. Estas técnicas se los puede dividir en dos grupos: El primer grupo están todos los métodos en los cuales se libera hemicelulosa y celulosa por solubilización, quedando la lignina como un residuo insoluble. El segundo grupo sucede lo contrario consta de métodos que deja como residuos a la hemicelulosa y celulosa, provocando así la recuperación de la lignina durante la fase líquida. En la figura 5 se presentan varios métodos para la extracción de la lignina (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

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

Figura 5. Métodos químicos y físico para la extracción de la lignina, Fuente: R. Torres et al., 2015

3.9 PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES

Las fibras para reforzar materiales de construcción ya se han usado antiguamente, es en los últimos años que ya se las ha estudiado más a fondo para determinar su función como reforzantes de materiales, antes su uso se limitaba a la confección de ropa, colchones entre otros (Juárez Alvarado et al., 2003).

Con la aparición de los polímeros las aplicaciones y su facilidad para modificarlos son cada vez más amplias, y los han hecho cada vez más aptos para que se los utilice en industrias en las cuales solo se utilizaban madera, cerámicos o metales (Bledzki & E. Sperber, 2007) como es en el sector doméstico, automotriz y aeronáutico (Majewski & Bledzki, 2011). También en campos como la ingeniería debido a sus propiedades mecánicas más altas (Chegdani, Mezghani, El Mansori, & Mkaddem, 2015), además tienen un bajo coste y una baja densidad.

El uso de fibras naturales como refuerzo plástico ha despertado el interés de la academia y la industria desde un punto de vista económico y ecológico. Además del bajo costo de producción, el uso de fibras naturales se justifica por la valorización de los recursos locales y la mejora de materiales y tecnologías teniendo en cuenta los impactos ambientales y el desarrollo sostenible (Chegdani et al., 2015).

Las fibras que están siendo utilizadas como refuerzos de los plásticos son el yute, cáñamo, sisal, plátano, algodón, abacá, coco, bambú (Amigó, Salvador, Sahuquillo, Llorens, & Martí, 2009), lechuguilla, curaua y madera (Bledzki & E. Sperber, 2007)

3.10 POLICAPROLACTONA (PCL)

En los años de 1930 uno de los primeros polímeros en ser sintetizados fue la Policaprolactona (PCL) (Van Natta, Hill, & Carothers, 1934), esta salió al mercado debido a que se identificó que podría ser un polímero artificial que se degradaría por la acción de

microorganismos (Mark, Bikales, Overberger, Menges, & Kroshwitz, 1985). PCL puede prepararse mediante la polimerización por apertura de anillo de la ϵ -caprolactona (Figura 6).

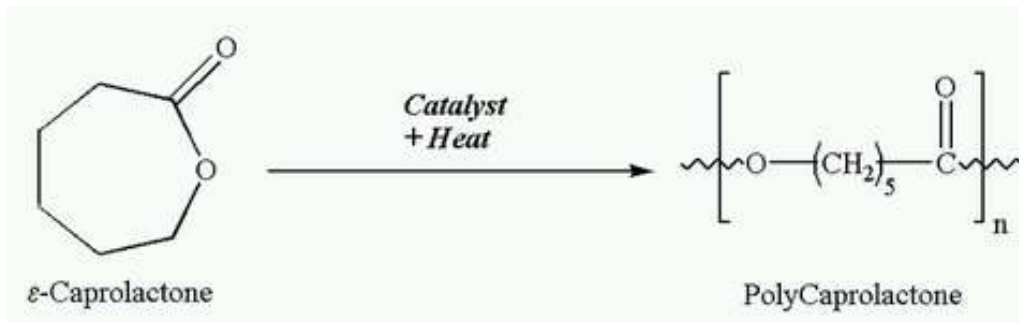


Figura 6. Polimerización de la caprolactona a Policaprolactona Fuente Berserker79.

El PCL posee propiedades mecánicas semejantes a la del polietileno de menor densidad, también posee una gran permeabilidad al CO₂, agua y oxígeno. Se dice que puede ser un material que sirve de refuerzo en las propiedades mecánicas de otros polímeros. Entre sus aplicaciones primordiales están adhesivos, suturas, revestimientos superficiales entre otros (Aradilla, Oliver, & Estrany, 2012).

PCL puede ser biodegradado por organismos vivos al aire libre (bacterias y hongos) pero no son biodegradables en animales y cuerpos humanos debido a la falta de enzimas adecuadas (Vert, 2009). Eso no quiere decir que no sean biorreabsorbibles, sino que el proceso lleva mucho más tiempo, propagándose en primer lugar a través de la degradación hidrolítica.

Está ampliamente aceptado que la degradación hidrolítica de los poli (α -hidroxi) ésteres puede proceder a través de vías de degradación a granel o en superficie. Lo que determina los medios por los cuales esta vía procede, es el fenómeno de difusión-reacción (M. Ginde & Gupta, 1987).

3.11 TIPOS DE DEGRADACIÓN EN POLÍMEROS

Los residuos proveniente de los plásticos que la población en general produce, tardan hasta 500 años en degradarse, el 50 % de sus residuos son de sectores de envases y embalajes (Villa-Carvajal, Rivera, Capilla, & Gardé, 2008).

Cuando se trata de la degradación de los polímeros hablamos de una modificación en sus propiedades físicas, las cuales son causadas por ciertas reacciones que activan sus enlaces como por ejemplo temperaturas mayores a 200 °C. Dependiendo del modo en que se inicia la degradación puede ser química, térmica, fotoquímica, mecánica, química radiante y biológica, Sin embargo los polímeros a base de silicio posees más desventajas aún (Woodruff & Hutmacher, 2010).

Varios agentes pueden causar degradación en los polímeros como por ejemplo la luz, el calor y aquellos que tienen efectos químicos como son la hidrólisis , la oxidación, el ozono, la radiación y la humedad (Posada, 2012).

- Degradación térmica esta ocurre cuando el polímero experimenta cambios químicos sin necesariamente la intervención de sustancias químicas.
- Degradación por radiaciones estas alteran las sustancias químicas orgánicas en los polímeros.
- Degradación mecánica tiende a la fisura y deformación de los polímeros causado por el influjo de fuerzas, así como también cambios químicos por esfuerzos mecánicos.
- Degradación química por oxidación ataca a todos los compuestos orgánicos, la temperatura influye de gran medida ya que esta acelera el proceso de la degradación causando una disminución de las propiedades físicas pues se observa pérdida de peso y cambio de color en los biopolímeros.

- Degradación por biodegradación mediante el uso de microorganismos (hongos, bacterias y actinomicetos) que atacan los polímeros de manera química o física.

3.11.1 DEGRADACIÓN MEDIANTE OXIDACIÓN TÉRMICA

Las macromoléculas son estables mientras se encuentren por debajo de temperaturas como 100 y 200 °C y cuando el polímero se encuentra a temperaturas elevadas empieza a experimentar cambios químicos como es el caso de las moléculas que se descomponen en fragmentos pequeños como puede ser iones y radicales libres así como monóxido de carbono e hidrogeno molecular esto sucede gracias a sus uniones covalentes y su resistencia que es limitada y reprimida por el calor (Posada, 2012).

En el caso de la Policaprolactona posee un T_m (punto bajo de fusión) que va entre 57 °C - 60 °C y una baja temperatura T_g (transición vítrea) de -60 °C. Este polímero es estable con temperatura, en su proceso de degradación influenciará la formas, compuestos con que se lo mezcle y de su tamaño (Otero, 2011). En el caso de que un polímero se mezcle con alguna fibra natural puede causar gases y carbón, se dice que la lignina empieza a degradarse a los 280°C (Betancourt, Gañán, Jiménez, & Cruz, 2009).

3.12 MÉTODO DE DEGRADACIÓN POR COMPOSTAJE

Se considera al compostaje como una alternativa biológica para degradar polímeros. Se tomarán muestras de los polímeros, los cuales se colocaran en el compostaje de materia organiza conocida y se dejara en el compostaje por un tiempo de máximo 2 meses (Plastivida, 2015).

En el compostaje se debe tener en cuenta los parámetros que afectan al crecimiento de los microorganismos necesarios para este proceso. Posee factores importantes que se deben tomar en cuenta como en la humedad, pH, oxígeno, relación C: N, aparte también va a influir de las

condiciones ambientales, materias y método utilizado. En la figura 7 se indican algunos parámetros y sus rangos óptimos (Romá, Martínez, & Pantoja, 2013).

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1-35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50%-50%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	Menor 25cm	~15 cm	<1,6 cm
Ph	6.5-8	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45-60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica	50-70%	>20%	>20%
Nitrógeno total	2.5-3%	1-2%	1%

Figura 7. Parámetros del compostaje Fuente: Pantoja, 2013

3.13 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE BANANO

Los componentes de la fibra del raquis del banano serán analizados para observar la cantidad de lignina que puede ser obtenida de dicha fibra y así hacer una relación con los componentes de la fibra del banano, de esta manera se podrá conocer morfológicamente a la estructura de dicha fibra. Los valores que se muestran a continuación en la tabla 1 se tomarán de referencia para dicho trabajo.

Tabla 1 Porcentaje de componentes en la fibra de banano.

Fibra	Celulosa	Lignina	Hemicelulosa	Pectinas	Cenizas	Humedad
Banano	60-65%	5-19%	6-19%	5%	0.78%	11.91%

Fuente: Idicula, Malhotra, Joseph, & Thomas, 2005; Jawaid & Abdul Khalil, 2011. Giraldo, Cuarán, García, & Pardo, 2014. Mejía, 2012

3.14 ANÁLISIS PROXIMAL QUÍMICO

Este análisis nos ayuda a determinar la calidad de algún alimento en este caso será el banano, para lo cual si se quiere tener buenos resultados se deberá tener una buena preparación de la muestra (Ramírez, 2008). Los componentes que tienen mayor importancia en estos análisis son la humedad, cenizas, pH entre otros dichos componentes se analizan con el siguiente objetivo:

Humedad: Se analiza para conocer la cantidad de materia seca de un alimento, también sirve para conocer el valor nutritivo de dicho alimento.

Cenizas: Nos permite conocer la cantidad de residuo inorgánico de la muestra incinerada.

pH: Es una medida de alcalinidad o acidez de una disolución la cual indica la concentración de iones de hidrogeno.

En el presente trabajo se determinará el pH, cenizas, la humedad, extraíbles en solvente orgánico, extraíble en agua caliente, y porcentaje de la lignina en la fibra de banano.

3.15 GRANULOMETRÍA DE LA FIBRA DE BANANO

Se conoce como granulometría a la medición y puesta en orden descendente del tamaño de las partículas de cualquier agregado para así analizar su origen, propiedades mecánicas y el peso retenido en cada tamiz (Bravo, García, Morales, & Ramírez, 2012).

En este trabajo se utilizará la granulometría por tamizado el cual es un proceso mecánico en el cual se procede a separar las partículas constitutivas del agregado en este caso de la fibra de banano en diferentes tamaños, mediante tamices en orden decreciente y así se determinará el peso máximo de agregado en cada uno de los tamices

3.16 ANÁLISIS INSTRUMENTAL

3.16.1 ESPECTROMETRÍA DE INFRARROJO (IR)

La espectrofotometría infrarroja es una técnica de análisis para medir los procesos de absorción y emisión de la radiación dentro de un rango de longitudes de onda que se producen en los enlaces de una sustancia correspondiente a materia orgánica. Posee una longitud de onda (λ) comprendida entre los 800 y los 400000 nanómetros. También se la puede describir en términos de número de onda y expresada en cm^{-1} (Vélez, 2015). Los rangos de longitud de onda para determinar el grupo funcional se describen en la Figura 8 siendo el más utilizado el infrarrojo medio.


Grupo funcional	Banda (cm^{-1})	intensidad
C-H	2960-2850	Media
C=C-H	3100-3020	Media
C=C	1680-1620	Media
C \equiv C-H	3350-3300	Fuerte
R-C \equiv C-R'	2260-2100	Media
Ar-H	3030-3000	Media
	1600, 1500	Fuerte
OR-H	3650-3400	Fuerte, ancha
-C-O-	1150-1050	Fuerte
C=O	1780-1640	Fuerte
R ₂ N-H	3500-3300	Media, ancha
-C-N-	1230-1030	Media
-C \equiv N	2260-2210	Media
RNO ₂	1540	Fuerte

Figura 8. Longitud de onda del Espectro Infrarrojo Fuente <http://www.sinorg.uji.es>

3.16.2 ANÁLISIS DE CALORÍMETRO DE BARRIDO DIFERENCIAL (DSC)

El calorímetro de barrido diferencial (DSC) es una herramienta fundamental en el análisis térmico. Se puede usar en polímeros hasta nano materiales y productos alimenticios. La información que generan estos instrumentos se utiliza para comprender el comportamiento amorfo y cristalino, las transiciones polimorfas y eutécticas, el curado y el grado de curado, mediante la medición de la variación de calor vinculado con la desnaturalización térmica de la molécula cuando se calienta a un ritmo constante (Malvern, 2016).

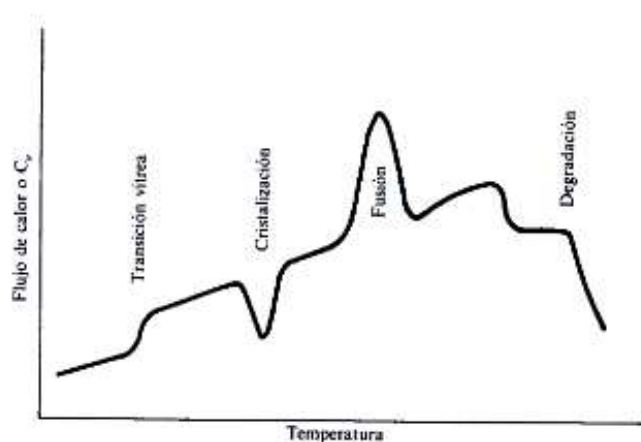


Figura 9. Termograma típico de un polímero semicristalino. Fuente Llorete Uceta & Horta Zubiaga, 1991

La figura 9 describe el comportamiento general de un polímero típico sometido a una prueba de DSC el cual ha sido enfriado de manera instantánea hasta tener una temperatura menor a la de su transición vítrea.

3.17 DUREZA DE POLÍMEROS (SHORE)

Se entiende por dureza de un elemento a soportar la deformación plástica que este posea. Las técnicas para cuantificar la dureza producen una deformación local en el elemento, la dureza se calcula con el durómetro a partir de la energía de rechazo del penetrador después de chocar con la muestra. Se puede establecer la dureza siempre y cuando haya una correlación entre la dureza y una característica propia del elemento o material con que se va a trabajar

como pueden ser la resistencia al desgaste, y a la tracción, entre otros (Arboleda Ortiz & Mora Nieto, 2017).

4. ESTADO DEL ARTE

El uso de las fibras naturales, en sustitución de las fibras adulteradas que se conoce tradicionalmente, presenta interesantes alternativas de producción a bajo costo, ventajas ecológicas y ambientales. Con estas fibras naturales se han elaborado un gran número de productos que son eficiente para las grandes industrias.

Las fibras naturales están siendo usadas como plásticos reforzados en varios campos como son en la industria aeronáutica emplean polímeros de baja densidad siendo esta una propiedad importante para construir una nave, también se trabaja con plásticos reforzados con fibras naturales en la industria automotriz ya que suplen algunos de sus elementos como son los refuerzos de las puertas, partes internas de los autos y en los parachoques (Mora, Esquivel, Durán, & Zamora, 2015).

Otra alternativa en donde se usan fibras naturales ya sea de los hojillas de flores, tallo del banano y cogollos de girasol es en la elaboración de papel artesanal ofreciendo así una opción al papel tradicional obtenido de la celulosa de la corteza de los árboles, debido a la gran cantidad de restos vegetales que normalmente se generan y no son aprovechados (Moreno, Robayo, Ferrucho, & Vargas, 2016).

Con la fibras naturales también se puede hacer empaques secundarios ya sea utilizando la pulpa del Coco, pseudotallo del plátano y arroz se consideran elementos adecuados debido a la cantidad de residuos que se originan de los procesos agroindustriales en el Ecuador, y también a las características que cada uno de estos elementos posee (Gutierrez, Miranda, & Quelal, 2017).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 PROCESAMIENTO DEL RAQUIS

Para este proyecto se trabajara con el raquis del banano que se obtuvo de la bananera Nueva Esperanza ubicada en la provincia de El Oro, vía la Iberia - Machala con la finalidad de extraer la lignina que se encuentra en dicho elemento. Para empezar con la obtención de la lignina se procedió a cortar los raquis con ayuda de un cuchillo, estos fueron cortados con un ancho de aproximadamente 1cm como se observa en la figura 10, para facilitar el procedimiento en el que se los pone a secar en la estufa.



Figura 10 Troceado de Raquis Fuente Martínez, 2017.

Los pedazos de raquis que se trocearon con anterioridad fueron colocados en una estufa marca Memmert a 37°C durante tres días para que se seque. Luego de esto para obtener la fibra se procedió a triturar los raquis ya secos con una licuadora industrial como se observa en la figura 11.



Figura 11. Obtención de la fibra con la ayuda de una licuadora industrial Fuente Martínez, 2017

5.2 HUMEDAD DE LA FIBRA SIN TRATAR

Se procedió a colocar 1.84gr de muestra de la fibra de banano sin trata en un analizador de humedad marca Mettler Toledo hb43-5, se escogió el método de hierbas secas y se obtuvo una humedad de 7.76% MC (% de contenido de humedad).

5.3 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

5.3.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD

Para saber el porcentaje de humedad se pesó un gramo de la fibra del raquis de banano, el cual se colocó en una luna de peso conocido y seco. La luna con la muestra se llevaron a la estufa por un periodo de 8h a 105°C. El porcentaje de humedad se determinó con la pérdida del peso de la muestra como indica el Método según *“Instituto Nacional de Normalización de Chile, NCh 1515 Of. 79”*.

$$W = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} * 100$$

Donde:

Mh = Peso recipiente más la muestra de suelo húmedo (grs.)

Ms = Peso recipiente más la muestra de suelo seca (grs.)

Mr = peso recipiente (grs.)

W= cantidad de humedad

5.3.2 EXTRAÍBLES EN SOLVENTE ORGÁNICO

En un dedal se depositó 5 gramos de fibra, este dedal se lo introdujo en un equipo Soxhlet con 200 ml de Acetato de Butilo por un periodo de 8 horas. Luego de este tiempo el dedal se lo puso en una estufa aproximadamente a 105°C para que se seque durante 4 horas hasta tener peso constante. Los extraíbles en solvente orgánico se determinan de acuerdo con el peso que pierde la muestra durante todo el proceso según la norma “*Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI T264*”.

(2)

$$\% = \left(\frac{A - B}{A} \right) * 100$$

Donde:

A=Peso inicial de la muestra.

B= Peso final de muestra.

5.3.3 EXTRAÍBLES EN AGUA CALIENTE

En 4 gramos de fibra extraída en solvente orgánico se agregó acetato de butilo, con 200 ml de agua destilada caliente en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Dicho matraz se lo conecto a un condensador de reflujo, el cual se lo coloco en un recipiente con agua hirviendo por 3 horas. Después se filtró al vacío con un embudo Buchner y papel filtro. Posterior a esto se lavó la muestra con 200 ml de agua caliente y se la seco a 105°C durante 4 horas hasta obtener

peso constante. La cantidad de material extraíble en agua caliente se determinó mediante la metodología establecida en la norma “*Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI207*”.

5.3.4 CENIZAS TOTALES

Se tomó 3gr de muestra, y se la colocó en un crisol de peso conocido, el cual previamente se calentó en una estufa hasta peso constante, luego de esto se lo introdujo en la mufla esta se precalentó 10 minutos transcurrido este tiempo se subió la temperatura de la mufla a 500 °C y se dejó ahí al crisol con la muestra durante 35-40 minutos y se calculó el porcentaje de cenizas según los métodos “*Oficial Methods of Análisis AOAC 15 th Edition, 1990 e Instituto Nacional de Normalización Chileno, NCh 1245*”.

(3)

$$\% \text{ Cenizas totales} = \left(\frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \right) * 100$$

Donde:

m_2 : Masa en gramos de la cápsula con las cenizas.

m_1 : Masa en gramos de la cápsula con la muestra.

m_0 : Masa en gramos de la cápsula vacía.

5.3.5 MATERIA VOLÁTIL

Se tomó 1gr de muestra, y se la colocó en un crisol de peso conocido, el cual previamente se calentó en una estufa hasta peso constante, luego de esto se lo introdujo en la mufla esta se precalentó 10 minutos transcurrido este tiempo se subió la temperatura a 900 °C y se dejó ahí al crisol con la muestra durante 35-40 minutos y se calculó el porcentaje de materia volátil según la norma española “*Materiales inorgánicos de filtración y soporte utilizados en el tratamiento del agua destinada al consumo humano UNE 12901*”.

5.4 GRANULOMETRÍA DE LA FIBRA DEL RAQUIS DEL BANANO

Para este paso se tamizó la fibra del raquis obtenida con anterioridad para determinar el tamaño que predomina en toda la muestra que se obtuvo al triturar los raquis, mediante la tamizadora marca Advantache Duratape. El cual consta de 23 tipos de tamices con diferente abertura. Este equipo permite colocar 7 tipos de tamices los cuales fueron colocados en orden ascendente y aparte el plato donde se obtendrán las partículas más pequeñas de las muestras, Se hicieron tres pruebas con la fibra de 100 gr cada una y se procedió a pesar la cantidad retenida en cada tamiz siguiendo el método de la norma “D –1921 –01 *Standard Test Methods for Particle Size (Sieve Analysis) of Plastic Materials*”.

5.5 EXTRACCIÓN DE LA LIGNINA

Para este paso se realizó la extracción de la lignina mediante el método del licor negro, el mismo que se basa en una hidrólisis básica y una acida que se explicaran a continuación.

5.5.1 HIDRÓLISIS BÁSICA

En la hidrólisis básica se propuso trabajar con el siguiente método el cual consiste en hacer reaccionar hidróxido de sodio al 20% P/P en una cantidad en referencia a la suma de las cantidades recogidas en los tamices en el procedimiento de la granulometría que fue desde el tamiz 20 al 100 (ver tabla 11). En la Tabla 2 se puede observar los parámetros físicos y químicos para realizar dicha hidrólisis.

Tabla 2 Parámetros de la Hidrólisis Acida

Variables	Cantidad	Unidades
Fibra	62	G
Hidróxido de Sodio	200	G
Agua destilada	1000	MI
Temperatura	100	°C
Tiempo	240	Min

Fuente: La Autora

En la tabla 2 se muestran todas las variables y sus cantidades que se utilizaron para la hidrólisis Ácida, se utilizó Min como minutos.

En el proceso de la hidrólisis básica se utilizó el método de licor negro, con la ayuda de un vaso de precipitación de 1000ml se colocó la fibra y el hidróxido de sodio (NaOH) al 20% en agua destilada, se puso toda la mezcla en un calentador magnético como se observa en la figura 12 para que la celulosa vaya separándose con el paso del tiempo establecido, teniendo esta mezcla un pH alcalino de 14.8.



Figura 12. Cocción de la fibra de banano colocada en un calentador magnético. Fuente: La Autora

5.5.2 HIDRÓLISIS ÁCIDA

Se colocó ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 5% V/V en la mezcla de hidróxido de sodio con la fibra acumulada en el proceso de granulometría, este procedimiento se hizo con el fin de bajar el pH a 5-6 y luego de esto se procedió a dejar decantar la fibra por 48 horas con las cantidades de los elementos utilizados que se observan en la tabla 3.

Tabla 3 Parámetros utilizados en la Hidrólisis Ácida

Variable	Cantidad	Unidad
Ácido sulfúrico	50	ml
Agua destilada	1000	ml
Tiempo	48	horas

Fuente: La Autora.

En la tabla 3 se encuentran especificados los valores de las variables físicas establecidas en la hidrolisis ácida.

Después de las 48 horas para la decantación se procedió a centrifugar el licor negro en el equipo marca Hermel Z400 a 5000 revoluciones por 30 minutos, cuando toda la muestra se centrifugó se puso en una estufa marca Mermmet a 80°C como se observa en la figura 13 hasta peso constante.



Figura 13. Secado de la fibra en la estufa Fuente La Autora

5.5.3 PORCENTAJE DE LA LIGNINA

Con los procedimientos que se hicieron antes con la hidrolisis básica y acida se procedió a tomar 1 gr de la muestra y secar a peso constante sobre un papel filtro, se midió el porcentaje de lignina mediante la norma “*American Standard and Testing Methods, ASTM D1106*” en donde se establece la siguiente fórmula: (3)

$$\% \text{ Lignina} = \frac{A - B}{C} * 100$$

Donde:

A = Peso del residuo secado al horno y el papel filtro (g).

B = Peso del papel filtro secado al horno (g).

C = Peso de la muestra libre de extractos secada al horno (g).

5.6 ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA INFRARROJA

Los espectros IR se realizaron en un rango de longitud desde 4400 hasta 515cm⁻¹, y en unidades de absorbancia de un espectro M-80 de Carl de la universidad salesiana sede Quito.

5.7 DEGRADACIÓN POR EXPOSICIÓN AL COMPOSTAJE

Los polímeros se colocaron en el compostaje elaborado con materia orgánica, podas, hojas secas, tierra etc. A los biopolímeros se los dejos igual tiempo que en la estufa de 1 mes a 1 mes y medios midiendo en cada semana su peso. Siguiendo la metodología de la Norma “D6003-96, de la American Standard and Testing Methods (ASTM): Standard Test Method for Determining Weight Loss from Plastic Materials Exposed to Simulated Municipal Solid-Waste.

5.8 ANÁLISIS DE ALGUNOS NUTRIENTES DEL COMPOSTAJE

5.8.1 pH

Se pesaron 10 gramos de suelo previamente tamizado en una malla de 2mm, se colocan en un vaso de precipitación con 25ml de agua destilada todo esto se mezcla y se deja en reposo durante una hora y se repite este proceso y finalmente después de transcurrir este tiempo con el peachímetro se hace la medición según la norma técnica de suelos.

5.8.2 CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA

Se pesó una muestra de 6 gramos de suelo seco al ambiente, y tamizado a 2mm se coloca en un crisol de peso conocido. En primer lugar se los coloca dentro de una estufa hasta peso constante de 24 a 48 horas, luego de enfriar se lo pone en la mufla a 650°C durante 3 horas, se deja enfriar nuevamente y se procede a calcular el porcentaje de cantidad de materia orgánica en nuestro compostaje mediante la norma “American Standard and Testing Methods ASTM 2000”.

5.8.3 HUMEDAD

Se pesó 5 gramos de la muestra de suelo, se colocó en un crisol de peso conocido y se ubicó en una estufa a una temperatura de 105°C hasta peso constante aproximadamente 24 horas se determinó la cantidad de humedad mediante el método según la norma “*Instituto Nacional de Normalización Chileno NCh 1515 Of. 79*”.

5.8.4 ANÁLISIS DE LOS MICRO Y MACRONUTRIENTES DEL SUELO

Para este procedimiento se utilizó el fotómetro 680 marca Robert Riele K.G y se determinó: Nitrógeno, Fosforo, Calcio, Hierro, Manganeso y Cloro, cada uno de estos cuenta con sus propios métodos e instrucciones ya que cuenta con una cajita con las indicaciones de la cantidad de muestra a poner en los tubos con sus diferentes reactivos como se indica en la figura 14. Cada elemento químico analizado se colocó en el fotómetro dando este una lectura en ppm de la cantidad que se encontraba en nuestro suelo.



Figura 14 Fotómetro 680 donde se determinó los macro y micronutrientes del suelo Fuente La Autora

5.9 ELABORACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS

Los Biopolímeros fueron elaborados según las formulaciones presentadas en la Tabla 4. Las cuales fueron seis formulaciones, en las cuales todas contaban con cantidades de lignina, luego de mezclar todos los elementos de las formulaciones se colocaron en moldes de 10cm

de largo por 3 cm de ancho, se colocó en la estufa a 100°C hasta que se polimericen aproximadamente 24 horas una vez transcurrido este tiempo como se observa en la figura 15.



Figura 15. Biopolímeros en sus moldes fuera de la estufa Fuente La Autora.

Tabla 4 Formulaciones para la elaboración de los biopolímeros

Compuestos	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Lignina	4 gr	5gr	5gr	7gr	5gr	10gr
Glicerina	7ml	8ml	15ml	10ml	10ml	10ml
Alcohol polivinílico	4gr	4gr	8gr	5gr	7gr	5gr
Ácido Acético	9ml	3ml		2ml	5ml	10ml
Bórax			4gr	5gr	5gr	10gr
Agua destilada	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml

Fuente: la Autora.

Se detalla las cantidades y compuestos que fueron usados para la elaboración de los biopolímeros. Con sus respectivas unidades gr (gramos) y ml (mililitros), se utilizó F seguido del número para especificar el número de formulación de los biopolímeros.

Los compuestos descritos en la tabla 4 se utilizaron debido a que, en el caso del alcohol polivinílico es biodegradable y forma una película plástica al igual que la glicerina esta también ayuda a la flexibilidad y humectación (Castillo et al., 2015) en la elaboración de los polímeros esta última característica también les brinda el agua (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007). A su vez que el ácido acético le da resistencia y ayuda en la preservación del

plástico evitando que hongos se adhieran. El bórax es un mineral natural que ayuda a la transparencia y en la resistencia al calor, tiene propiedades antisépticas y emulsionantes (Sanchez, 2015).

También se elaboraron biopolímeros, pero su composición no tenía lignina como se observa en el Anexo 1, estos se hicieron con el fin de ver el nivel de polimerización entre biopolímeros con y sin lignina utilizando los compuestos de la tabla 5.

Tabla 5 Formulaciones para los biopolímeros sin Lignina

Compuestos	F1	F2	F3	F4	F5	F6
GLICERINA	7 ml	8ml	15ml	10ml	10ml	10ml
ALC POLIVINILICO	4gr	4gr	8gr	5gr	7gr	5gr
ACIDO ACETICO	9ml	3ml		2ml	5ml	10gr
BORAX			4gr	5gr	5gr	10gr
AGUA	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml

Fuente: La Autora

5.10 DOSIFICACIÓN DEL PCL CON LIGNINA

Para este proceso se tomaron aproximadamente 17 gramos de Policaprolactona (PCL), aparte en un vaso de precipitación con agua destilada se los colocó en un calentador magnético hasta que el agua tenga una temperatura de 70 °C, luego se procede a colocar los 23 gramos de PCL en el vaso de precipitación con agua destilada, como la dosificación con la lignina se hizo al 5, 10 y 15 % como se indica en la tabla 6 se pesó esta cantidad en gramos y se mezcló con el PCL que se empezó a disolver con el agua caliente quedando las muestras como indica la figura 16 siendo la primera muestra de color blanco PCL sin lignina seguida de PCL con el 5% de lignina, luego con el 10% y finalmente con el 15%.

Tabla 6 Dosificación del PCL con la Lignina

Cantidad de PCL	Cantidad de lignina	Peso total	Temperatura del Agua
17.22 gr	0%		70°C
17.22 gr	5%	0.96gr	70°C
17.22 gr	10%	2.21gr	70°C
17.22 gr	15%	4.28gr	70°C

En la tabla 6 se describen las cantidades que se ocuparon para la dosificación del PCL tanto en gramos (gr) como en porcentajes (%), así como la temperatura que se utilizó para dicho procedimiento.



Figura 16. PCL dosificado con la Lignina. Fuente La Autora

5.11 ANÁLISIS DE DUREZA

El ensayo se ha realizado bajo la norma “*American Society for Testing and Materials, ASTM - D2240*” para todas las muestras, a una temperatura de 25 °C. Utilizando el durómetro para el ensayo es de marca PCE-DX-AS modelo TH210, válido para mediciones de dureza tipo Shore A para polímeros. El medidor de dureza está compuesto de una sola pieza con un cabezal de medición y un reloj antideslumbrante de 360°. Para una mejor capacidad de lectura del valor pico, el medidor dispone adicionalmente de una aguja de arrastre, que permanece inmóvil en el punto de medición máximo. Después de su lectura se puede poner a cero.

El equipo tiene las siguientes características:

- Rango de medición: 0- 100
- División de la escala: 1
- Precisión: ± 2 Grado de dureza

Las muestras no superan los 5 mm de espesor. Para la medición de la dureza se estableció en tiempos corresponden a 1 y 15 segundos después de aplicado el Durómetro.

5.12 ANÁLISIS DE DSC EN LOS BIOPOLÍMEROS Y CON EL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA.

El análisis se hizo mediante tres isotermas, con un flujo de 50 ml/min y con calentamiento isotérmico y el peso de la muestra fue 8 a 10 mg:

- 1ª calentamiento de -50 a 220 °C con una rampa de 10 °C/min
- Enfriamiento de 220 °C a - 50°C con una rampa de 10 °C/min
- 2º recalentamiento de -50 a 220°C con una rampa de 10 °C/min

5.13 DEGRADACIÓN TÉRMICA DE LOS BIOPOLÍMEROS Y EL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA.

Los polímeros que se obtuvieron tanto con el PCL como con las formulaciones de la tabla 4 se degradaron por oxidación térmica, estos polímeros se los colocó en una estufa a una temperatura aproximada de 100°C. Las cuales se procedieron a pesar cada semana para determinar la pérdida de peso durante un mes y un mes y medio. Este método se realizó mediante las normas ASTM D4102 y D4871 las cuales evalúan la degradación térmica cuyos valores se representan en las siguientes tablas 7 y 8.

5.14 ANÁLISIS DE PROPORCIONES

Para una mejor interpretación de resultados de degradación en estufa y compostaje se realizó una prueba de proporciones utilizando los valores de las tablas 17 y 18 utilizando las siguientes formulas:

(4)

$$z = \frac{P1 - P2}{\sqrt{\frac{Pc(1 - Pc)}{n1} + \frac{Pc(1 - Pc)}{n2}}}$$

n1=Es el número de observaciones en la primera muestra.

n2=Es el número de observaciones en la segunda muestra.

P1=Es la proporción en la primera muestra que posee la característica.

P2=Es la proporción en la segunda muestra que posee la característica.

Pc=Es la proporción conjunta que posee la característica en las muestras combinadas.

(5)

$$Pc = \frac{x1 + x2}{n1 + n2}$$

x1: Es el número que posee la característica en la primera muestra.

x2: Es el número que posee la característica en la segunda muestra.

6. RESULTADOS

6.1 HUMEDAD INICIAL DE LA FIBRA

Tabla 7 Porcentaje de humedad de la fibra sin tratar

Cantidad	Porcentaje
1.84 gr	7.76%

Fuente: La Autora

En el porcentaje de la humedad se obtuvo un resultado del 7.76% de la fibra del banano antes de tratar a la fibra.

6.2 ANÁLISIS PROXIMAL

6.2.1 HUMEDAD

Tabla 8 Porcentaje de Humedad de la Fibra tratada.

Peso del recipiente	Peso de la muestra	Peso de la muestra seca	%Humedad
29.92	1gr	0.91gr	9.89%

Fuente: La Autora

El porcentaje de humedad es 9.89%, mientras que se empezó con una humedad de 7% de la fibra sin tratar esta se midió con un analizador de humedad

6.2.2 EXTRAÍBLE EN SOLVENTE ORGÁNICO, AGUA CALIENTE Y MATERIA VOLÁTIL.

Tabla 9. Porcentajes en solvente orgánico, agua caliente y material volátil.

Peso inicial	Peso final	métodos	Porcentajes
5gr	4.71gr	SOLVENTE ORGÁNICO	5.8
4gr	3.75gr	AGUA CALIENTE	6.25
48.02gr	48.59gr	MATERIA VOLÁTIL	1.18

Fuente: La Autora

De acuerdo a la prueba realizada se determinó que el porcentaje de extraíbles en solvente orgánico es de 5.8%, también la misma fibra tratada posee un porcentaje de 6.25% de solventes en agua caliente y un porcentaje de materia volátil de 1.18%.

6.2.3 CENIZAS

Tabla 10 Porcentaje de ceniza en la fibra tratada

Peso con la muestra	Peso crisol	Peso cenizas	Porcentaje
70.01gr	67.01gr	67.63gr	30

Fuente: La Autora

Mediante este procedimiento se obtuvo un porcentaje de cenizas en la fibra del banano tratada del 30%, mientras que en la fibra sin tratar tiene un porcentaje de 24.7% (Martínez, 2017).

6.3 GRANULOMETRÍA

Tabla 11 Análisis Granulométrico

Tamices	Número de tamiz	Abertura	Prueba1_g r	Prueba2_g r	Prueba3_g r	Promedio
1	8	2.6 mm	3.22	1.92	2.64	2.6
2	10	2mm	1.61	2.56	3.38	2.51
3	14	1.4mm	2.35	3.76	2.84	2.98
4	16	1.18mm	0.73	3.34	0.84	1.64
5	18	1mm	2.42	3.17	1.02	2.2
6	20	850µm	5.47	10.3	7.7	7.82
7	25	710µm	4.94	4.6	8.66	6.07
8	30	600µm	2.69	11.83	3.68	6.07
9	35	500µm	8.47	6.3	4.75	6.51
10	40	425µm	10.74	5.08	5.58	7.13
11	45	355µm	2.76	8.53	4.77	5.35
12	50	300µm	1.69	7.03	13.2	7.31
13	60	250µm	3.72	4.41	4.02	4.05
14	70	212µm	10.97	4	2	5.66
15	100	150µm	16.87	8.83	10.08	11.93
16	120	125µm	5.12	1.36	1.89	2.79
17	140	106µm	3.28	3.53	8.51	5.11
18	170	90µm	0.68	5.25	5.45	3.79
19	200	75µm	6.07	0.92	2.34	3.11
20	230	63µm	1.72	1.82	3	2.18
21	270	53µm	0.06	0.51	1.45	0.67
22	325	45µm	2.3	0.31	1.25	1.29
23	400	38µm	0.54	0.09	0.19	0.27

Fuente: La Autora

Se observa con detalle los pesos que las mallas retuvieron en las tres pruebas que se realizó con todos los tamices.

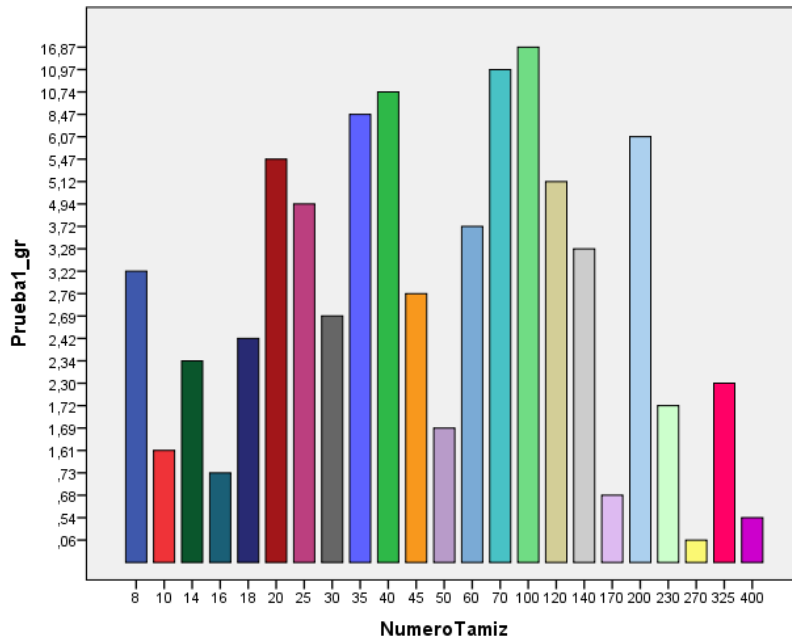


Gráfico 1. Representación del contenido en los tamices de la prueba 1 Fuente La Autora

Se observa en la primera prueba realizada que los tamices que retienen mayor cantidad de muestra son los tamices número 70 y 100 con 10.97 y 16.87 gramos respectivamente, por el contrario, el tamiz que menos cantidad de muestra contiene es el tamiz 270 con 0.06 gramos.

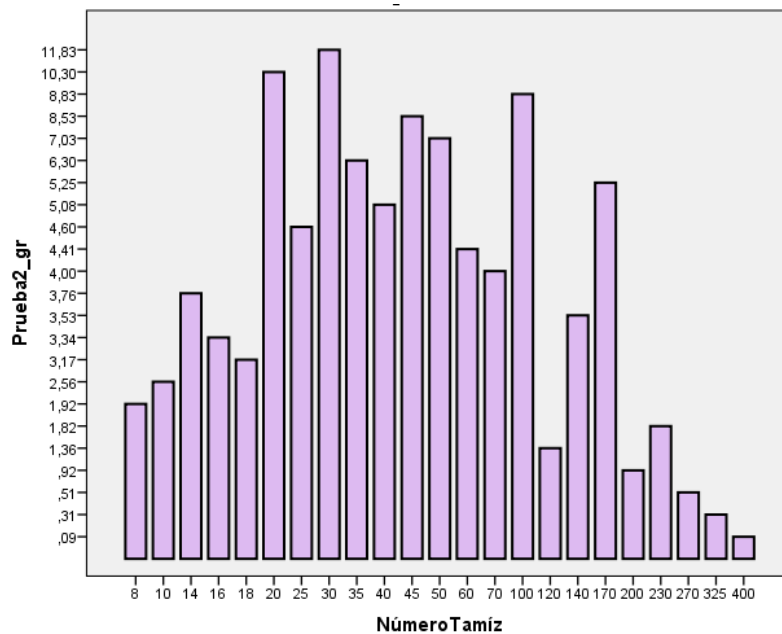


Gráfico 2 Representación del contenido en los tamices de la prueba 2 Fuente La Autora

En la segunda prueba realizada se observa que los tamices que retienen mayor cantidad de muestra son el número 20 y 30 con 10.30 y 11.83 gramos cada uno, por el contrario el tamiz que menos cantidad de muestra contiene es el tamiz 400 con 0.09 gramos.

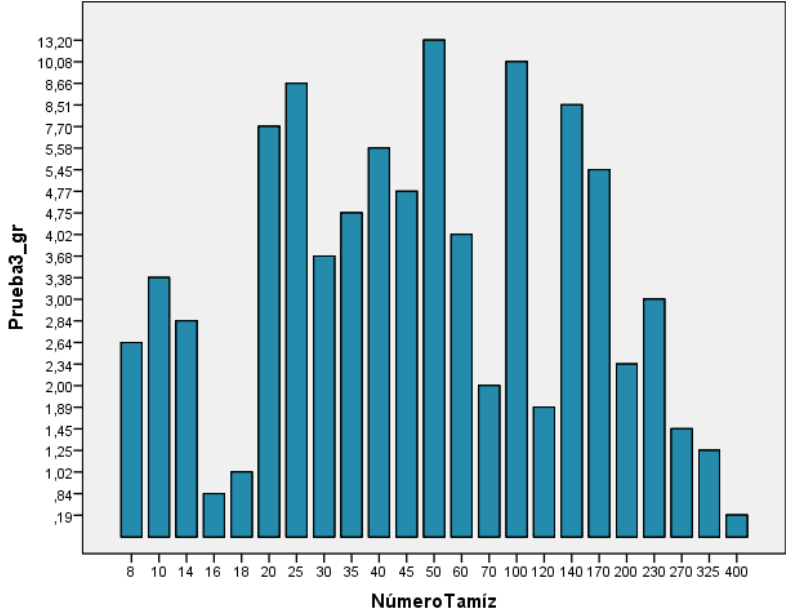


Gráfico 3. Representacion del contenido en los tamices de la prueba 3 Fuente La Autora.

En la última prueba realizada los tamices que retuvieron mayor cantidad de muestra son los tamices número 50 con 13.20 gramos y 100 con 10.08 gramos, por el contrario el tamiz que menos cantidad de muestra contiene es el tamiz número 270 con 0.19 gramos.

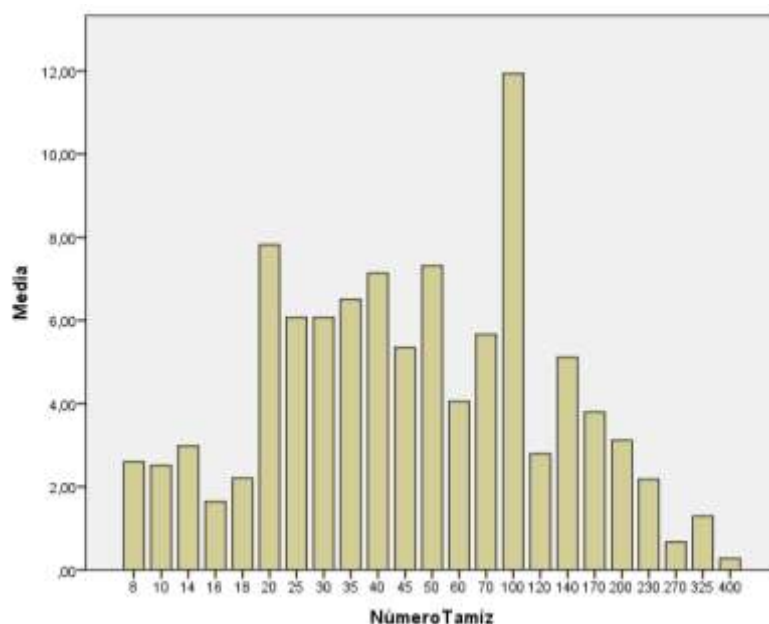


Gráfico 4. Promedio de las tres pruebas Fuente: La Autora

Con las tres pruebas realizadas se observa que el que el tamiz que retuvo mayor cantidad de muestras son el número 100 con 11.93 gramos y el número 20 con 7.82 gramos, y por el contrario los tamices con menor cantidad de muestra fueron el número 400 con 0.27 gramos y 270 con 0.67gramos.

6.4 PORCENTAJE DE LIGNINA

Tabla 12 Porcentaje de ceniza en la fibra tratada

Peso de la muestra y papel filtro	Peso papel filtro	Peso fibra	Porcentaje
0.63 gr	0.50 gr	1 gr	13

Fuente: La Autora

Mediante este procedimiento se obtuvo un porcentaje 13 % de lignina encontrándose dentro de los rangos de cantidad de lignina en la fibra de banano.

6.5 ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJO (IR) DE LA LIGNINA

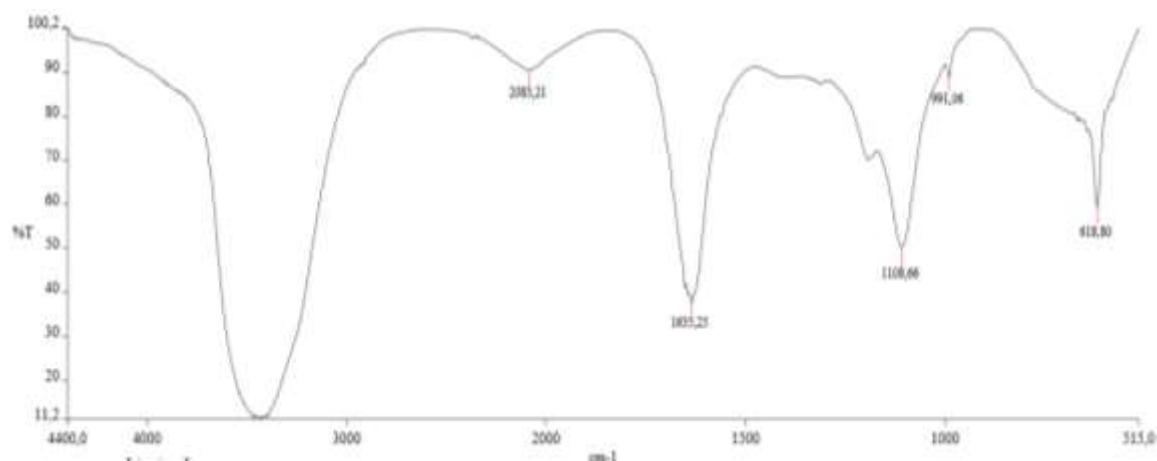


Gráfico 5. Resultados del Espectro IR de la Lignina experimental. Fuente La Autora

Una de las bandas más características de este espectro es la banda que hay a los 3400 la cual tiene una alta intensidad y se le atribuye a los grupos OH de la lignina; A 2083,21 se encuentra la banda de $C \equiv C$ que en su mayoría pertenecen Al grupo de los Alquinos. La banda que aparece a 1635,25 se trata de una estructura fenólica dominante en las fracciones monoméricas de la lignina. Las bandas ubicadas en la región entre los 1000 y 1200 cm^{-1} corresponden a los enlaces C–O de los alcoholes y de C–O–H de los éteres.

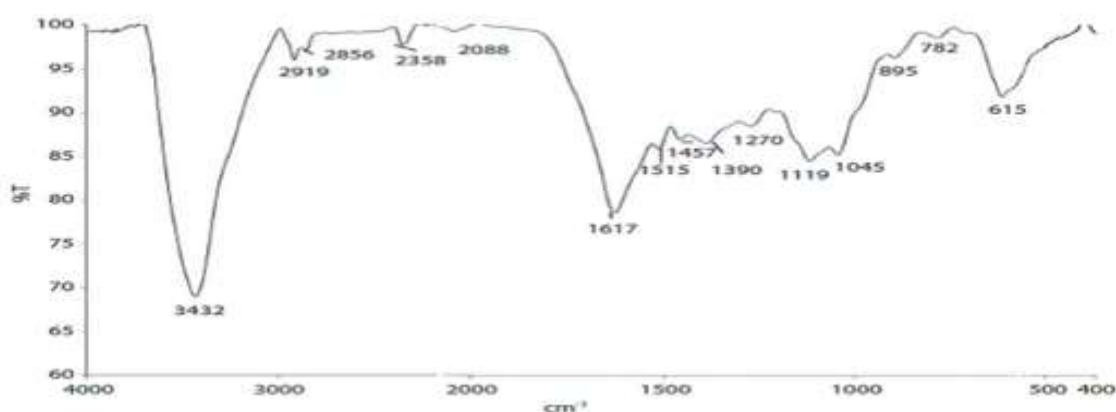


Gráfico 6 . Espectro IR de la extracción de la Lignina utilizando NaOH. Fuente La Autora.

Como se puede observar tanto en el gráfico 5 como en el gráfico 6 las curvas son parecidas, además de que los valores de longitud de onda del gráfico 5 se asemejan al gráfico 6 aquí el pico más representativo está a los 3432 representa a las tensiones O-H perteneciente a los alcoholes, siguiéndole el pico 1617 se encuentra la banda de grupos carbonilos, y el último pico más importante es 1119 el cual pertenece al grupo de haluros de alquilo y aminas. Constatando así que si se tiene la estructura de la lignina en la fibra del banano que se trató con anterioridad.

6.6 DUREZA SHORE

Tabla 13 Resultados de dureza en los biopolímeros y en el PCL dosificado con Lignina

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	Media	Desv Estándar
F1	53	50	51	52	51	51	1,14
F2	25	27	27	21	20	24	3,32
F5	69	68,5	66	68	67	68	1,20
0%	52	54	55	52	54	53	1,34
5%	51	50	53	51	49	51	1,48
10%	48	49,5	50	47	49	49	1,20
15%	49	48	50	51	50	50	1,14

Como se puede observar en los resultados realizados a las dosificaciones de PCL con lignina existe una pequeña variación en la dureza considerando la dureza del PCL al 0 % de lignina se observa una dureza de 53 D y conforme se le adiciona la lignina la dureza también disminuye hasta un 50 D de dureza. En cuanto a los biopolímeros observamos la dureza máxima en el F5 donde la adición de la lignina influye notoriamente.

6.7 ANÁLISIS DEL DSC DE LOS BIOPOLÍMEROS

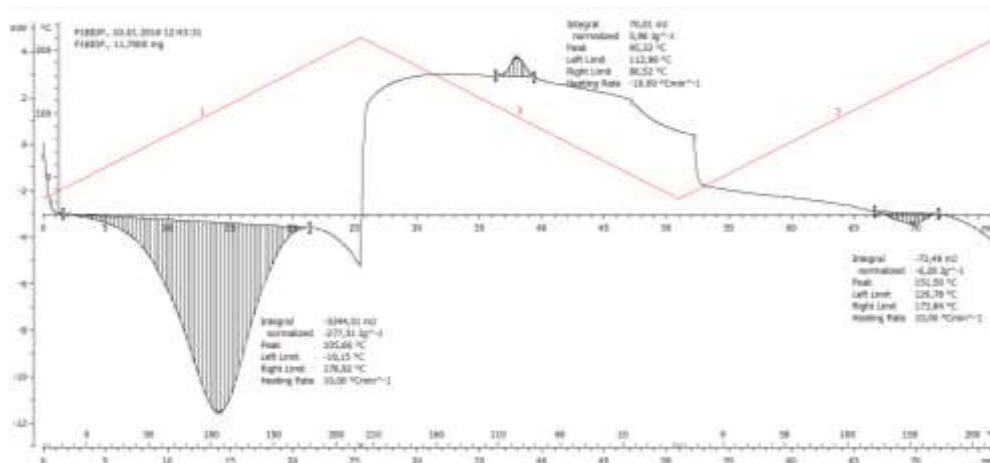


Gráfico 7. DSC de la formulación 1 de los biopolímeros. Fuente La Autora.

En el gráfico 7 se puede observar que tenemos dos reacciones exotérmicas y una reacción endotérmica. El biopolímero utilizado para este análisis estaba en estado blando por lo que para cambiar su estado puede llegar a una temperatura máxima de 105.66 para que no se degraden sus enlaces aquí se produce un proceso de cristalización a los -19.15°C y termina este proceso a los 178.92°C, se degradara el material si la temperatura sobrepasa estos límites. Para el segundo pico hay un proceso de degradación y una reacción endotérmica la cual tendrá una temperatura máxima de 95.32°C y finalmente para el pico tres se produce una transición vítrea para volver al estado gomoso o blando con una temperatura máximo de 151.50°C.

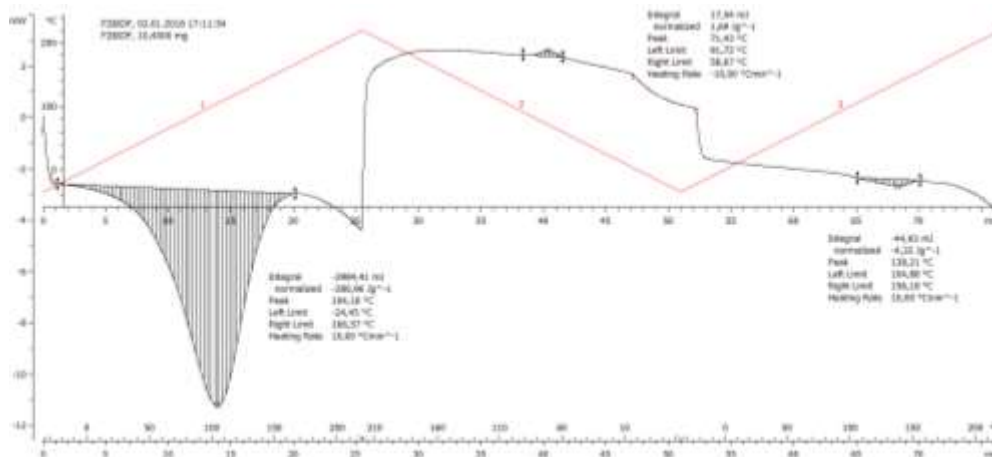


Gráfico 8. DSC de la formulación 2 de los biopolímeros. Fuente La Autora.

En el gráfico 8 se puede observar que tenemos dos reacciones exotérmicas y una reacción endotérmica. El biopolímero utilizado para este análisis estaba en estado blando por lo que para cambiar su estado puede llegar a una temperatura máxima de 105.66 para que no se degraden sus enlaces aquí se produce un proceso de cristalización a los -24.45°C y termina este proceso a los 166.57°C, se degradara el material si la temperatura sobrepasa estos límites. Para el segundo pico hay un proceso de fusión y una reacción endotérmica la cual tendrá una temperatura máxima de 71.43°C y para el pico tres se produce una transición vítrea para volver al estado gomoso o blando con una temperatura máximo de 156.18°C.

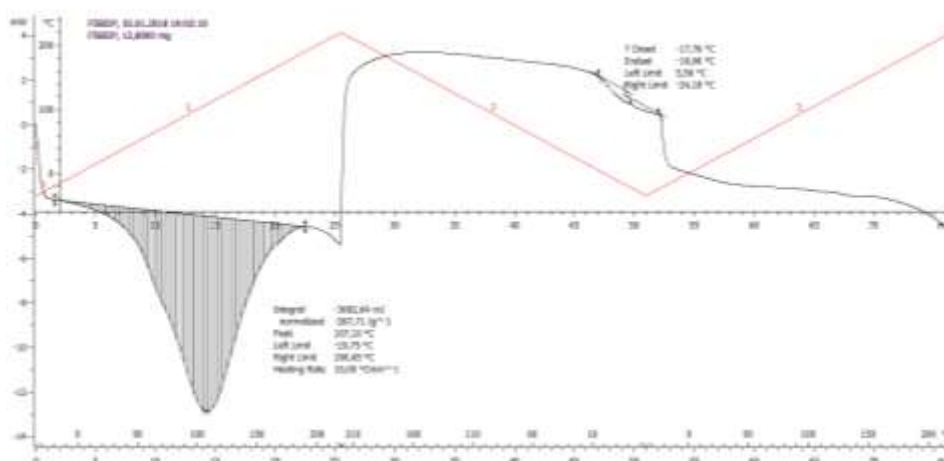


Gráfico 9. DSC de la formulación 5 de los biopolímeros. Fuente La Autora.

En el grafico 9 observamos que tenemos una reacción exotérmica por un proceso de cristalización que empieza a los -19.75°C y termina a los 190.65°C. Y un proceso de

degradación es decir ya no volvió a su estado inicial debido a que la reacción exotérmica fue fuerte.

6.8 ANÁLISIS DEL DSC DEL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA

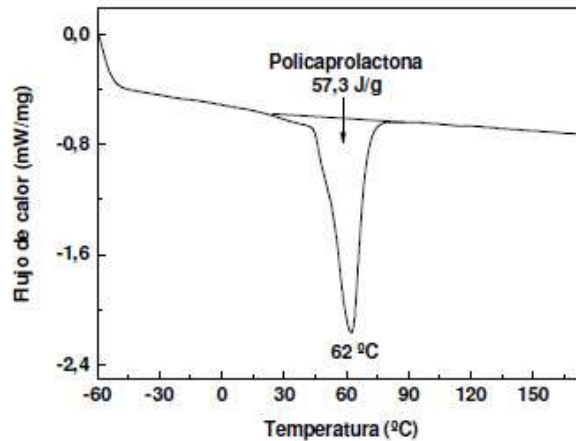


Gráfico 10. DSC de PCL comercial

En el gráfico 10 únicamente se observa un pico endotérmico cuyo punto de cristalización que está en los 62°C. Según con los datos del PCL con el 5% de lignina se puede decir que no soporta temperaturas mayores al PCL sin lignina.

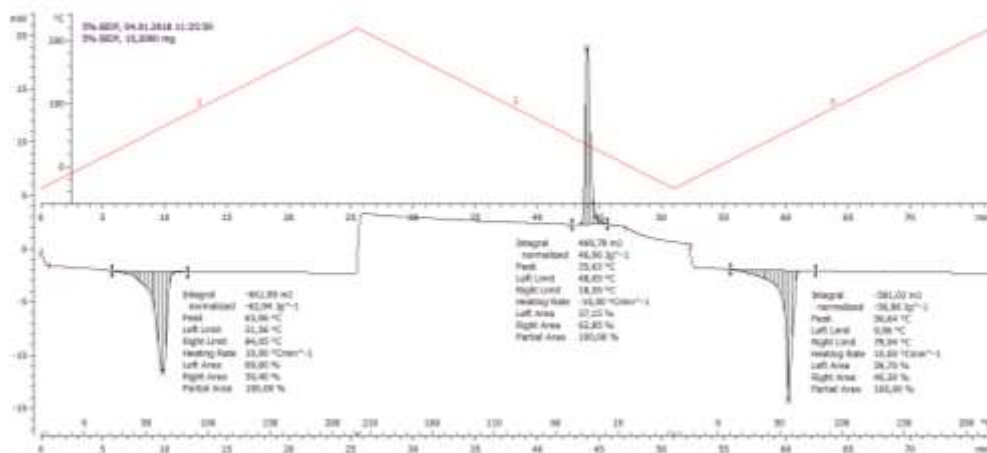


Gráfico 11. DSC de PCL dosificado al 5% con lignina. Fuente La Autora.

En el siguiente gráfico 11 tenemos dos reacciones exotérmicas y una reacción endotérmica, en el primer pico perteneciente a la reacción exotérmica y a un proceso de

cristalización que empieza 21.56°C y termina a los 84.05°C, Luego se presenta un proceso de fusión y un proceso de transición vítrea para cambiar el estado de gomoso ha solido empieza desde los 48.05°C hasta los 18.55°C. La capacidad calorífica y la dificultad para degradarse va a determinarse con el tamaño de los picos, en este caso en segundo pico es el más largo por lo que resiste para cambiar de estado sólido ha estado gomoso, para el tercer pico se produce una transición vítrea y una reacción exotérmica la cual empieza en 9.96°C y termina en 79.54°C.

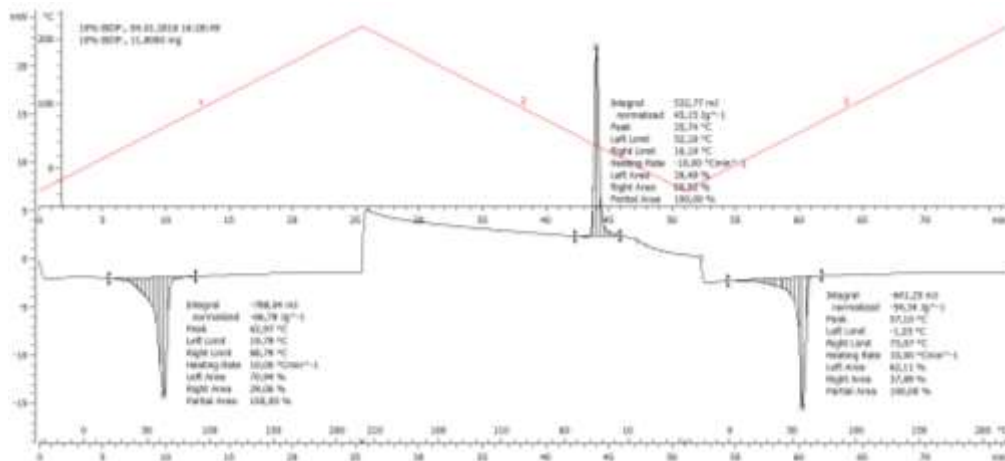


Gráfico 12. DSC de PCL dosificado al 10% con Lignina. Fuente La Autora

En el PCL dosificado con 10% de lignina se observa una reacción exotérmica que empieza en 19.79°C y termina en 88.79%, se produce un proceso de transición vítrea para cambiar el estado de solido a gomoso que se da entre 52.18°C y 16.19°C, Se produce un pico exotérmico empezando -1.25°C hasta 71.07°C lo que indica que entre el pico 2 y 3 no se necesita gran cantidad de temperatura para cambiar su estado.

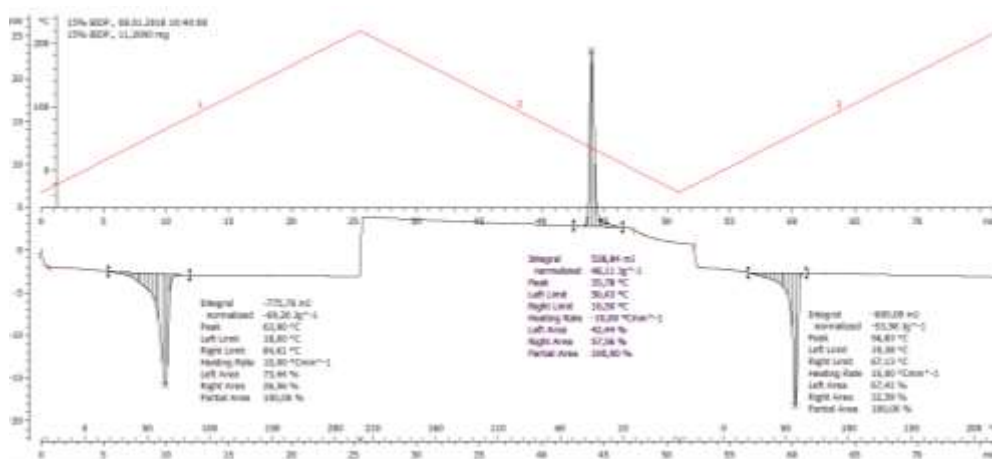


Gráfico 13. DSC de PCL dosificado al 15% con Lignina Fuente La Autora.

En el PCL dosificado con 15% de lignina se observa una reacción exotérmica que empieza en 18°C y termina en 84.61%, se produce un proceso de transición vítrea y una reacción endotérmica con un punto de fusión de 35.78°C. Se produce un pico exotérmico empezando 19.38°C hasta 67.13 °C lo que indica que entre el pico 2 y 3 no se necesita gran cantidad de temperatura para cambiar su estado.

6.9 DEGRADACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS Y PCL DOSIFICADO CON LIGNINA

Tabla 14 Valores de degradación de biopolímeros en estufa.

	Peso inicial	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana
F 1	21.97gr	8.78gr	7.43gr	6.81gr	6.67gr
F 2	17.53gr	12.39gr	10.4gr	8.59gr	6.86gr
F 3	24.1gr	18.95gr	17.63gr	15.74gr	15.31gr
F 4	21.88gr	20.48gr	19.33gr	17.88gr	16.39gr
F 5	15.47gr	14.78gr	13.82gr	13.34gr	11.78gr
F 6	18.55gr	19.87gr	19.37gr	18.91gr	17.97gr

Fuente: La Autora

Valores de la degradación que hubo en cada muestra durante el tiempo transcurrido de cuatro semanas. Las unidades están en gramos representados por gr. F es la formulación acompañada de su respectivo.

Tabla 15 Valores de degradación de biopolímeros en compostaje

	Peso inicial	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana
F 1	26.76gr	18.77gr	6.58gr	10.04gr	8.44gr
F 2	17.07gr	13.97gr	9.62gr	13.78gr	12.52gr
F 3	25.77gr	14.6gr	6.62gr	8.91gr	9.2gr
F4	27.85gr	12.51gr	5.31gr	2.51gr	1.3gr
F5	15.99gr	18.34gr	8.55gr	6.9gr	1.54gr
F 6	18.55gr	15.88gr	13.18gr	12.18gr	9.8gr

Fuente: La Autora

Se observa los pesos finales de los biopolímeros en el compostaje en gramos durante un periodo de cuatro semanas.

Tabla 16 Valores de la degradación de PCL en la estufa

	Peso inicial	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana	
PCL SIN LIGNINA	17.22 gr	13.54gr	13.54gr	12.54gr	12.35gr	
PCL CON LIGNINA	5%	18.18gr	15.45gr	15.45gr	15gr	12.3gr
	10%	19.43gr	18.3gr	18.3gr	17.04gr	15.87gr
	15%	21.5gr	17.48gr	17.48gr	17.24gr	18.14gr

Fuente: La Autora

Valores de la degradación que hubo en cada muestra durante el tiempo transcurrido de cuatro semanas. Las unidades están en gramos representados por gr. F es la formulación acompañada de su respectivo número.

Tabla 17 Valores de la degradación de PCL en el compostaje

	Peso inicial	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana	
PCL SIN LIGNINA	17.22gr	17.14gr	17.14gr	17.09gr	17.06gr	
PCL CON LIGNINA	5%	18.18gr	18.17gr	18.17gr	18.15gr	18.13gr
	10%	19.43gr	19.42gr	19.42gr	19.41gr	19.4gr
	15%	21.5gr	21.45gr	21.45gr	21.43gr	21.4gr

Fuente: La Autora

En las tablas 16 y 17 se observa que en la cuarta semana de degradación en la estufa y compostaje respectivamente las muestras con mayor pérdida de peso en gramos fueron en estufa PCL con 5% de lignina siguiéndole PCL al 0%, mientras que en el compostaje la muestra que más se degradó fue la del PCL al 0% de lignina.

6.10 ANÁLISIS DE PRUEBA DE PROPORCIONES DE DOS MUESTRAS CON LOS BIOPOLÍMEROS Y EL PCL DOSIFICADO CON LIGNINA

Tabla 18 Valores en proporción de los pesos de degradación de los Biopolímeros en estufa

	Peso inicial	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana
Formulación 1	21.97	0.60	0.66	0.69	0.70
Formulación 2	17.53	0.29	0.41	0.51	0.61
Formulación 3	24.1	0.21	0.27	0.35	0.36
Formulación 4	21.88	0.06	0.12	0.18	0.25
Formulación 5	15.47	0.04	0.11	0.14	0.24
Formulación 6	18.55	0.00	0.01	0.04	0.06

Fuente: La Autora

En la tabla 18 se observan los valores que se utilizaron para hacer la prueba de proporciones de dos muestras.

Tabla 19. Comparación entre la formulación 1 y 6 de la estufa

Variables	RESULTADOS
Ho	D1=D2
Hi	D1≠ D2
Pc	0.9892917
N	1
Z	1.16
Hi	Aceptada

Fuente: La Autora

Ho influye menos cantidad lignina, mientras la Hi no influye la cantidad de la lignina esta hipótesis se hizo tanto en el PCL como en los Biopolímeros.

De acuerdo a este resultado por la cantidad de lignina el biopolímero no se degrado más rápido. Se tomaron estas formulaciones debido a que la F1 tuvo un mayor porcentaje de degradación caso contrario a F6.

Tabla 20. Comparación entre las formulaciones 2 y 4 de la estufa

Variables	Resultados
Ho	D1=D2
Hi	D1≠ D2
Pc	0.95494848
N	1
Z	1.09288791
Ho	Aceptada

Fuente: La Autora

De acuerdo a este resultado se dice que debido a la cantidad de lignina el biopolímero numero 4 no obtuvo un porcentaje de degradación mayor. Se tomaron estas formulaciones debido a que la F2 tuvo un mayor porcentaje de degradación caso contrario a F4.

Tabla 21 Valores en proporción de los pesos de degradación de los Biopolímeros en Compostaje.

	Peso inicial	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana
Formulación 1	26.76	0.2986	0.7541	0.6248	0.6846
Formulación 2	17.07	0.1816	0.4364	0.1927	0.2665
Formulación 3	25.77	0.4334	0.7431	0.6542	0.6430
Formulación 4	27.85	0.5508	0.8093	0.9099	0.9533
Formulación 5	15.99	0.0888	0.4653	0.5685	0.9037
Formulación 6	18.55	0.1439	0.2895	0.3434	0.4717

Fuente: La Autora

En la tabla 21 se muestran los valores que se utilizaron para hacer la prueba de proporción de dos muestras.

Tabla 22 Comparación entre las formulaciones 1 y 6 del compostaje

VARIABLES	Resultados
Ho	D1=D2
Hi	D1≠ D2
Pc	0.68981039
n	1
z	0.41137149
Ho	Aceptada

Fuente: La Autora

De acuerdo a este resultado la cantidad de lignina si influencio en el biopolímero numero 6 ya que no obtuvo un porcentaje de degradación mayor. Se tomaron estas formulaciones debido a que la F1 tuvo un mayor porcentaje de degradación caso contrario a F6.

Tabla 23 Valores en proporción de los pesos de degradación del PCL en estufa.

	Peso inicial gr	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana
PCL SIN LIGNINA	17.22	0.21	0.21	0.27	0.28
PCL CON LIGNINA 5%	18.18	0.15	0.15	0.17	0.32
10%	19.43	0.06	0.06	0.12	0.18
15%	21.5	0.19	0.19	0.20	0.16

Fuente: La Autora

En la tabla 23 se observan los valores que se utilizaron para hacer la prueba de proporciones de dos muestras.

Tabla 24 Comparación entre PCL con lignina al 15% y 0% de la estufa.

VARIABLES	Resultados
Ho	D1=D2
Hi	D1≠ D2
Pc	0.22
N	1
Z	0.20
Ho	Aceptada

Fuente: La Autora

En los resultados de degradación mediante la estufa se hicieron pruebas de proporciones en el PCL y PCL 15% con lignina debido a que son los que tienen mayor y menor porcentaje de degradación constatando que la cantidad de lignina si influye en la degradación.

Tabla 25 Comparación entre el PCL con lignina al 15% y 10% en la estufa

Variables	Resultado
Ho	D1=D2
Hi	D1≠ D2
Pc	0.12
N	1
Z	0.03
Ho	Aceptada

Fuente: La Autora

En esta prueba de proporciones para dos muestras escogimos al PCL con 10 y 15 % de lignina debido a que se quiere corroborar que el peso de la lignina influencia en el tiempo de la degradación por lo que se acepta el Ho (hipótesis nula).

Tabla 26 Valores en proporción de los pesos de degradación del PCL en Compostaje

		Peso inicial gr	Primera Semana	Segunda Semana	Tercera Semana	Cuarta Semana
PCL SIN		17.22				
LIGNINA			0.0046	0.0046	0.0075	0.0092
PCL CON	5%	18.18				
LIGNINA			0.0005	0.0005	0.0016	0.0027
	10%	19.43	0.0005	0.0005	0.0010	0.0015
	15%	21.5	0.0023	0.0023	0.0032	0.0046

Fuente: La Autora

En la tabla 26 se observan los valores que se utilizaron para hacer la prueba de proporciones de dos muestras

Como se puede observar en la tabla 18 los pesos de degradación en la cuarta semana no son significativos por lo que la degradación fue prácticamente nula. Se realizará una prueba como se observa en la tabla 26 para verificar que la hipótesis que va a salir en los resultados es la alternativa diciendo así que la cantidad lignina si interviene en el proceso de degradación en el compostaje debido a que los pesos de esta son similares

Tabla 27 Comparación entre el PCL con lignina al 15% y 0% en compostaje

Variables	Resultados
Ho	D1=D2
Hi	D1≠ D2
Pc	0.065
N	1
Z	0.045
Hi	Aceptada

Fuente: La Autora

En este caso se acepta la hipótesis alternativa debido a que los porcentajes de degradación son bajos, sin importar de manera significativa el contenido de lignina en cada muestra con PCL teniendo el compostaje como medio de degradación.

6.11 ANÁLISIS DE ALGUNOS COMPONENTES DEL COMPOSTAJE

6.11.1 pH

Tabla 28 Resultado de pH

Cantidad de muestra	Resultado
10gr	8.27

Fuente: La Autora

El compostaje utilizado en este trabajo tiene un potencial de hidrogeno de 8.27 que está dentro de los rangos permitidos.

6.11.2 MATERIA ORGÁNICA

Tabla 29 Resultado de Materia Orgánica

PESO CRISOL	PESO SUELO ANTES CALCINACIÓN	PESO DEL SUELO DESPUÉS CALCINACIÓN	RESULTADO
66.62gr	71.38gr	70.02gr	40%

Fuente: La Autora

La capacidad orgánica que se obtuvo de nuestro compostaje fue de un 40%.

6.11.3 HUMEDAD

Tabla 30 Resultado de la humedad del compostaje

PESO INICAL	PESO FINAL	RESULTADO
1 gr	0.75gr	25%

Fuente: La Autora

En el resultado de la humedad la teoría me dice que no debe ser menor a 30% pero en el caso de nuestro compostaje tiene un 25% de humedad.

6.11.4 MACRO Y MICRONUTRIENTES

Tabla 31 Resultados de los macro y micronutriente en el suelo

MACRONUTRIENTES	RESULTADOS EN PPM
Nitrógeno	11
Fosforo	3.14
Calcio	2.3
MICRONUTRIENTE	
Hierro	1.23
Manganeso	1.3
Cloro	0.96

Fuente: La Autora

Los valores que se obtuvieron en este análisis son muy bajos para los rangos ideales que presenta la teoría antes revisada, esto puede causar que los microorganismos necesarios para el compostaje no se desarrollen de manera adecuada, provocando que el proceso de compost no se realice adecuadamente.

6.12 PORCENTAJES FINALES DE LA DEGRADACIÓN DEL PCL EN ESTUFA Y COMPOSTAJE.

Tabla 32 Cantidad porcentual de degradación del PCL mediante dos métodos

Dosificación	PCL dosificado con lignina		TIEMPO
	Estufa	compostaje	Cuatro semanas
0%	28%	1%	
5%	32%	-	
10%	18%	-	
15%	16%	0%	

Fuente: La Autora.

La tabla 32 presenta los porcentajes finales de degradación del PCL en un tiempo de 4 semanas.

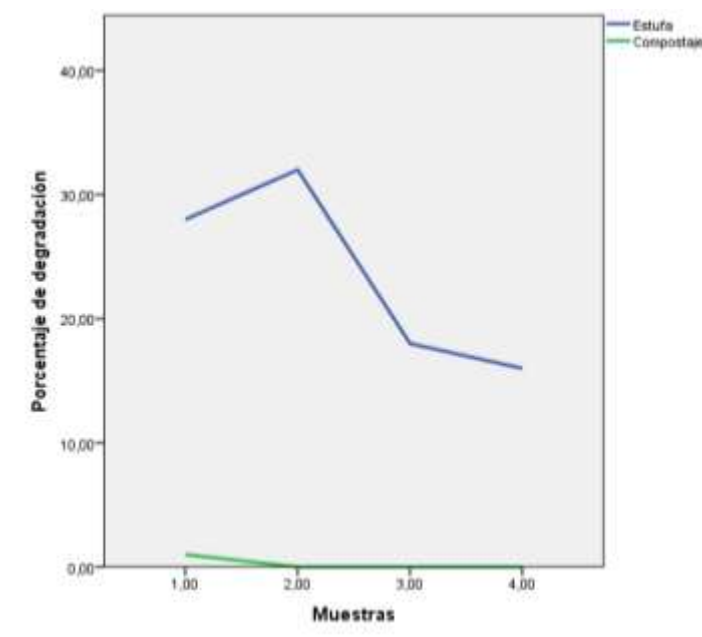


Gráfico 14. Curva de degradación del PCL con y sin lignina mediante la estufa y el compostaje. Fuente La Autora

Este gráfico simplemente nos demuestra que el proceso en la estufa el PCL se degradó más con relación al compostaje que sus valores son casi imperceptibles.

6.13 PORCENTAJES FINALES DE LA DEGRADACIÓN DEL PCL EN ESTUFA Y COMPOSTAJE.

Tabla 33 Cantidad porcentual de degradación de los biopolímeros mediante dos métodos

Formulaciones	BIOPOLÍMEROS		TIEMPO
	Estufa	compostaje	30 DIAS
F1	70%	68%	
F2	61%	27%	
F3	36%	64%	
F4	25%	95%	
F5	24%	90%	
F6	6%	47%	

Fuente: La Autora

En la tabla 33 se observan los porcentajes de los pesos finales de los biopolímeros tanto en estufa como en el compostaje en un tiempo de 30 días.

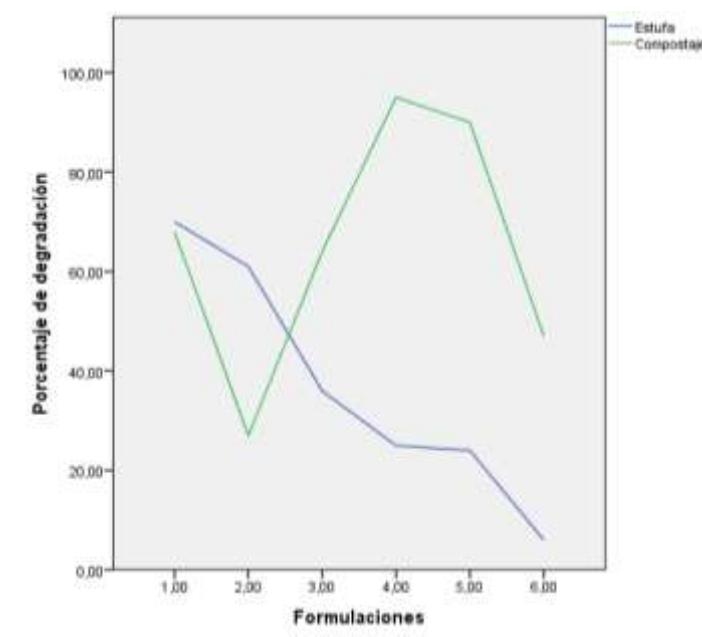


Gráfico 15. Curvas de degradación de los biopolímeros mediante la estufa y el compostaje. Fuente La Autora

Este gráfico simplemente nos demuestra que en ambos métodos de degradación los biopolímeros respondieron bien a dichas condiciones ya que en su mayoría los biopolímeros se degradaron, aunque los porcentajes más altos están en el método por compostaje.

6.14 COMPARACIÓN ENTRE EL BIOPOLÍMERO Y EL PCL MODIFICADO

Tabla 34 Porcentajes de degradación del PCL y el Biopolímero en estufa

PCL Y BIOPOLÍMEROS			
Dosificación	estufa	Formulaciones	estufa
0%	28%	F1	70%
5%	32%	F2	61%
10%	18%	F3	36%
15%	16%	F4	25%
		F5	24%
		F6	6%

Fuente: La Autora

Se presentan los porcentajes de los pesos finales del PCL y el biopolímero en la estufa.

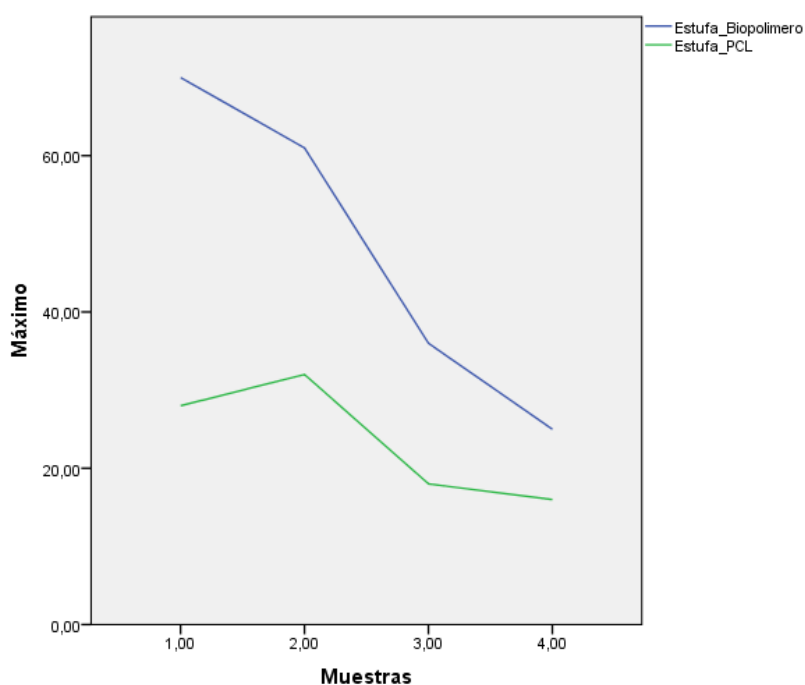


Gráfico 16. Curvas de degradación de los biopolímeros mediante la estufa del PCL y los biopolímeros. Fuente La Autora

Este gráfico muestra que entre el PCL y el Biopolímero el que más se degradó fue el biopolímero alcanzando porcentajes de 70% de degradación, mientras que el PCL solo se degradó en un 30% aproximadamente.

Tabla 35 Porcentajes de degradación del PCL y el Biopolímero

PCL Y BIOPOLÍMEROS			
Dosificación	compostaje	Formulaciones	compostaje
0%	1%	F1	68%
5%	0%	F2	27%
10%	0%	F3	64%
15%	0%	F4	95%
		F5	90%
		F6	47%

Fuente: La Autora

Se presentan los porcentajes de los pesos finales del PCL y el biopolímero en el método de compostaje.

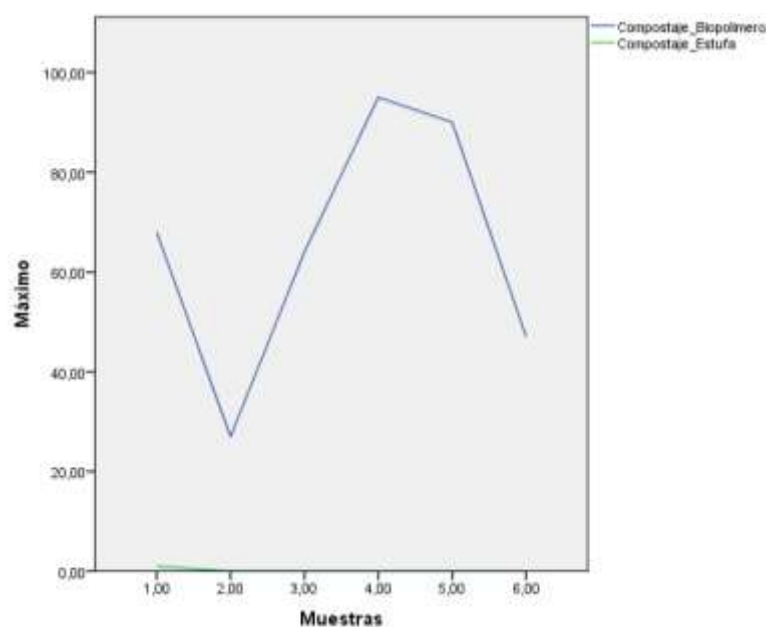


Gráfico 17. Curva de degradación del PCL con y sin lignina mediante la estufa y el compostaje. Fuente La Autora

Como era de esperarse en este gráfico se constata que la degradación de PCL en el compostaje fue nulo ya que los valores de degradación son menores al 1%, mientras que los biopolímeros en el compostaje alcanzaron porcentajes de degradación de aproximadamente 95%.

7. CONCLUSIONES

En el análisis proximal se obtuvieron resultados favorables tanto en humedad como es el 9.39%, el porcentaje de lignina en un 13%, total de cenizas del 30%.

El análisis granulométrico sirvió para el tamaño predominante de la muestra, dicho tamaño de la fibra facilitó el proceso de trituración para que se adhiriera la lignina mejor a los biopolímeros y PCL. Es importante conocer el tipo de granulometría ya que se ha evidenciado que la misma influye en el proceso de extracción de los componentes de la fibra y además en las reticulación con la matriz polimérica.

El análisis de IR de la lignina constató que había dicha estructura, comprobando que el método propuesto para la extracción fue eficaz, y además se dio paso a la realización de todas las pruebas mecánicas y químicas.

Se realizaron 6 formulaciones diferentes para los biopolímeros, de los cuales solo 3 se polimerizaron de manera correcta estos fueron la formulación 1, 2 y 5, debido a que tenían poca cantidad en comparación a las otras formulaciones de lignina. Los biopolímeros se pueden observar en el ANEXO 2.

La biodegradación de los biopolímeros se realizó en un tiempo de 4 semanas tanto en estufa y compostaje, la mejor degradación se dio en el compostaje siendo el que más se ha degradado el biopolímero de la formulación 1 y el que menos se degradó el biopolímero de la formulación 2 aunque los pesos de biopolímeros tratados en la estufa variaron en gran cantidad con su peso inicial como es el caso del biopolímero de la formulación 1 y 2. Las formulaciones se pueden observar en la tabla 4.

Para la degradación del PCL dosificado con lignina se realizaron 3 muestras al 5,10 y 15 %, como muestra la tabla 6, de las tres la que obtuvo una mayor degradabilidad es la de 5 %

de lignina, el PCL de por sí ya es un material rígido, pero con la adición de la lignina se volvió más resistente ya sea al calor o al compostaje ya que en este método los pesos no variaron significativamente.

El PCL dosificado con la lignina será útil dependiendo del uso que se le quiera dar debido a que si se quiere hacer fundas o cualquier producto de este tiempo no será conveniente debido que su degradabilidad es alta. Por lo que para usar este material se necesitara algún producto que no se necesite degradar en menor tiempo, si no que su vida útil sea larga ya que la lignina da buena resistencia al material.

8. DISCUSIÓN

Rodríguez Sepúlveda (2009) manifestó que el porcentaje de lignina encontrada en la fibra de banano era de 5- 19%, en nuestra investigación se obtuvo un porcentaje del 13% constatando dicho argumento.

Betancourt, Gañán, Jiménez, & Cruz, (2009) decían que la lignina es resistente a la degradación empezando a degradarse a los 280°C, lo que se pudo constatar al momento de la degradación de la lignina dosificado con PCL y también con las pruebas DSC realizadas a la lignina analizadas en el apartado 6.8.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2009) presentaron las condiciones óptimas para el compostaje como se puede ver en la figura 7 en el análisis de los componentes de nuestra investigación se demostró mediante los resultados obtenido en las tablas 28, 29, 30 y 31 que no hubieron las condiciones necesarias para que las bacterias proliferen, y se dé un adecuado proceso para el compostaje influenciando así el porcentaje de humedad, los macro y micronutrientes, aunque con los biopolímeros actuó de

mejor manera no así el caso del el PCL ya que este es un material mucho más rígido y los biopolímeros que son blandos.

En los resultados de la tabla 15 se puede ver que los pesos de degradación en la segunda semana tienen un incremento considerable a comparación de la primera semana esto se puede deber a que el compostaje estuvo expuesto a lluvia lo que esta cantidad de agua influyó en el peso de los biopolímeros además de la tierra que se adhirió a los mismos modificando así su peso.

Los compuestos que se utilizaron en la formulación de los biopolímeros ayudaron a la polimerización de los mismos de mejor manera en las formulaciones 1, 2 y 5 en el caso de los biopolímeros sin lignina, mientras que en los biopolímeros con lignina fueron 1, 2, 3 y 5 como se puede ver en el Anexo 2 y 3.

Castillo et al., (2015) dice que la glicerina ayuda en a su flexibilidad, el alcohol polivinílico en la formación de la película. Mientras que Sánchez (2015) dijo que el ácido acético ayudara a preservar a los polímeros evitando que se adhieran hongos y bacterias y finalmente el bórax sirve para dar rigidez y transparencia al polímero.

9. RECOMENDACIONES

Una vez obtenida la lignina mediante la metodología propuesta se recomienda realizar un análisis espectro infrarrojo (IR) el mismo que ayudara a constatar si la estructura de la lignina está presente en la muestra analizada.

Hacer un análisis termogravimétrico para saber así la temperatura exacta de degradación de biopolímeros y PCL.

Al momento de realizar los biopolímeros reducir el alcohol polivinílico, bórax y lignina.

Trabajar con temperaturas mayores a 100°C con el PCL y reducir la cantidad de lignina empleada en cada uno.

Entre el biopolímero y el PCL con lignina se recomienda usar el biopolímero debido a que su estructura es más fácil de degradar ya sea por el método térmico o por compostaje en ambos casos se degradan favorablemente como se indica en el Anexo 3 y 4 en comparación con el PCL

Para futuros trabajos se recomienda trabajar con el biopolímero de la formulación 1.

10. BIBLIOGRAFÍA

- A. Álvarez Castillo, E. Garcia Hernandez, J.M GRANADOS BAEZA, A. Aguirre Cruz, A.M Mendoza Martínez, & P. J Herrera Franco. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polimeros*, 13(4), 11.
- Amaia Bilbao Villena. (2015). Desengancharse del plástico. Confederacion de Ecologistas en Accion.
- Amigó, V., Salvador, M. D., Sahuquillo, O., Llorens, R., & Martí, F. (2009). Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos. *Instituto de Tecnología de Materiales Universidad Politécnica de Valencia, España*.
- Ana Belén Guerrero, E. (2017). Los residuos del cultivo de plátano en Ecuador podrían cubrir el 10% de su demanda de bioetanol - Actualidad RETEMA. Recuperado 13 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.retema.es/noticia/los-residuos-del-cultivo-de-platano-en-ecuador-podrian-cubrir-el-10-de-su-demanda-de--qAduw>
- Aradilla, D., Oliver, R., & Estrany. (2012). Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente. Recuperado 3 de enero de 2018, a partir de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-3871-polimeros-biodegradables--alternativa-futuro-sostenibilidad-medio-ambiente.aspx>
- Arboleda Ortiz, L. D., & Mora Nieto, Á. A. (2017). Rediseño mediante ingeniería inversa al componente "DRIVER ARM" aplicable sistema compuerta del tren de nariz aeronave C-130.
- Arévalo Niño, K. (2009). *Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradación a nivel de laboratorio y campo*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (2004). *La economía mundial del banano: 1985-2002*. Food & Agriculture Org.

- Barriga, E. J. C., Guamán-Burneo, C., Barahona, P. P., Salas, E., Tufiño, C., & Bastidas, B. (2013). Second Generation Ethanol from Residual Biomass: Research and Perspectives in Ecuador. <https://doi.org/10.5772/51951>
- BARRIOS, I. T. B., TOVAR, C. E. N., & LÓPEZ, I. E. R. (2009). Aprovechamiento del raquis del banano y otros residuos biodegradables como fertilizantes orgánicos en el cultivo de esta fruta.
- Bastioli, C. (2001). Global Status of the Production of Biobased Packaging Materials (Vol. 53, pp. 351-355). Presentado en Food Biopack Conference, Italy.
- Betancourt, S., Gañán, P., Jiménez, A., & Cruz, L. J. (2009). Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano (estudio cinético). *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 1(S1), 215–219.
- Bledzki, A., & E. Sperber, V. (2007). *Comportamientos Recientes y Aplicaciones de Polímeros Rellenos de Fibra Natural*.
- Bravo, R., García, N., Morales, V., & Ramírez, A. (2012). División de Ciencias Básicas.
- Canché, G., De los Santos, J. M., Andrade, S., & Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. *Información tecnológica*, 16(1), 83-88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
- Castellón, H. (2010). Plásticos oxo-biodegradables vs. Plásticos biodegradables: ¿cuál es el camino? *Servicios Técnicos Corporación Americana de Resinas, CORAMER, CA*.
- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplásticos a base de la cáscara del plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 1(1), 34-37.
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 4(4).
- Chegdani, F., Mezghani, S., El Mansori, M., & Mkaddem, A. (2015). Fiber type effect on tribological behavior when cutting natural fiber reinforced plastics. *Wear*, 332-333, 772-779. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2014.12.039>
- Cordeiro, N., Belgacem, M. N., Torres, I. C., & Moura, J. V. V. . (2004). Chemical composition and pulping of banana pseudo-stem. *Industrial Crops and Products*, 19, 147-154.
- Córdoba, C., Mera, J., Martínez, D., & Rodríguez, J. (2010). Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclados, reforzados con fibra vegetal, Tetera (Stromanthe Stromathoides). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11(7), 417–427.
- Gellerstedt, G., & Henriksson, G. (2008). Chapter 9 - Lignins: Major Sources, Structure and Properties. En M. N. Belgacem & A. Gandini (Eds.), *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources* (pp. 201-224). Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00009-0>

- González, A. M. (2013). 12.4. Uso de las Fibras. Recuperado 6 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema12/12-5uso.htm>
- Greenpeace. (2016). Plásticos en los Océanos.
- Greenpeace. (2017). Datos sobre la producción de plásticos. Recuperado 26 de enero de 2018, a partir de <http://www.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Parar-la-contaminacion/Plasticos/Datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Gutierrez, E., Miranda, O., & Quelal, E. (2017). Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en la elaboración de empaques secundarios ecológicos, 37-42.
- INTI. (2011). *Degradacion de los materiales Plasticos* (No. 21). Argentina.
- Juárez Alvarado, C. A., Rodríguez López, P., Rivera Villarreal, R., & Rechy de Von Roth, M. de los Á. (2003). Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. *Ciencia UANL*, 6(4).
- M. Ginde, R., & Gupta, R. (1987). In vitro chemical degradation of poly(glycolic acid) pellets and fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 33, 2411-2429. <https://doi.org/10.1002/app.1987.070330712>
- Majewski, T., & B\lędzki, A. (2011). Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz.
- Malvern. (2016). Calorimetría de barrido diferencial (DSC) para el estudio de la estabilidad de proteínas. Recuperado 12 de enero de 2018, a partir de <https://www.malvern.com/es/products/technology/differential-scanning-calorimetry>
- Mark, F., Bikales, N., Overberger, C., Menges, G., & Kroshwitz, J. (1985). *Biodegradable Polymers*. Encuclopedia of Polymer Science and Engineering.
- Martínez, V. (2017). *Estudio de la degradabilidad del pet (polietileno tereftalato) dosificado con un biopolímero de la fibra de banano*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Maurat Carchi, D. (2014). *Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa*. Estatal de Cuenca, Cuenca.
- Medina, R. (2005). Plásticos biodegradables.
- Mejía, E. (2012). *Elaboración de tableros aglomerados auto-adheridos a partir de fibra de raquis de palma africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Escuela Politécnica Nacional, QUITO.
- Méndez Rodríguez, C. A. (2012). Modelo de transformación 1 Papel Reciclado y desechos orgánicos.
- Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA*, (8), 57-67.
- Mora, J. C., Esquivel, M., Durán, M., & Zamora, R. (2015). Obtención y evaluación de mezclas de polipropileno con fibras de raquis de banano (Musa AAA). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 16, 2.

- Moreno, A., Robayo, M., Ferrucho, L., & Vargas, M. (2016). Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel, *Nº20*, 71-82.
- Otero, S. (2011). *Preparación y caracterización físico-química y térmica de mezclas binarias de policaprolactona (pcl) y resina de mopa-mopa(elaegia pastoensis mora)*. Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Pacheco, G., Flores, N. C., & Rodríguez-Sanoja, R. (2014). Departamento de Biología Molecular y Biotecnología. Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, DF 04510, México. e-mail: romina@biomedicas.unam.mx.
- Plastivida. (2015). *Degradacion de los materiales plasticos*. Argentina.
- Posada, B. (2012). La degradacion de los plásticos, *94*, 86.
- Ramírez, G. (2008). Expresión analítica de los componentes de los alimentos.
- Reale, S., Di Tullio, A., Spreti, N., & De Angelis, F. (2004). Mass spectrometry in the biosynthetic and structural investigation of lignins. *Mass Spectrometry Reviews*, *23*(2), 87-126. <https://doi.org/10.1002/mas.10072>
- Rodríguez Sepúlveda, L. J. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano* (PhD Thesis). Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- Romá, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Sanchez, S. (2015, agosto 30). Prácticas de Química: PRÁCTICA 13: LA PELOTA SALTARINA. Recuperado 29 de enero de 2018, a partir de <http://3enemamontess19.blogspot.com/2015/08/practica-13-la-pelota-saltarina.html>
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología VI4 CS3. indd*, 361–372.
- Tharanathan, R. . (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, *14*(3), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Torres, P. (2013). *Experimentación tecnológica de la fibra de banano aplicada en el diseño de objetos*. Universidad del Azuay, Cuenca.
- Torres, J. F., Grattz, I., Salcedo, F., & Hurtado, J. (2016). Síntesis de policaprolactona con potencial aplicación en la producción de empaques biodegradables. *Agronomía Colombiana*, *34*(1Supl), S185–S188.
- Van Natta, F., Hill, J., & Carothers, W. (1934). Studies of Polymerization and Ring Formation. XXIII.1 ϵ -Caprolactone and its Polymers, 455-457.
- Vélez, A. (2015). Determinación de grupos funcionales mediante la Espectroscopía Infrarroja. Recuperado a partir de http://www.academia.edu/14541717/Determinaci%C3%B3n_de_grupos_funcionales_mediante_la_Espectroscop%C3%ADa_Infrarroja

- Vert, M. (2009). Degradable and bioresorbable polymers in surgery and in pharmacology: beliefs and facts. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*, 20(2), 437-446. <https://doi.org/10.1007/s10856-008-3581-4>
- Villa-Carvajal, M., Rivera, J. D., Capilla, V., & Gardé, J. A. (2008). Degradación biológica de polímeros mediante la selección y producción de potenciales cultivos iniciadores. En *II Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria* (pp. 1–6).
- Villada, H. S., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas agrarios*, 12(2).
- Woodruff, M. A., & Hutmacher, D. (2010). The return of a forgotten polymer – Polycaprolactone in the 21st century.

11. ANEXOS

ANEXO 1. BIOPOLÍMEROS SIN LIGNINA QUE POLIMERIZARON ADECUADAMENTE

FORMULACIÓN 1 SIN LIGNINA	
FORMULACIÓN 2 SIN LIGNINA	
FORMULACIÓN 3 SIN LIGNINA	



FORMULACIÓN 5 SIN LIGNINA



ANEXO 2. BIOPOLÍMEROS CON LIGNINA

<p>FORMULACIÓN 1 CON LIGNINA</p>	
<p>FORMULACIÓN 2 CON LIGNINA</p>	
<p>FORMULACIÓN 5 CON LIGNINA</p>	

ANEXO 3. DEGRADACIÓN POR MÉTODO QUÍMICO DEL PCL Y BIOPOLÍMEROS

BIOPOLÍMEROS	
PCL	

ANEXO 4 DEGRADACIÓN POR COMPOSTAJE DE BIOPOLÍMEROS Y PCL

<p>BIOPOLÍMEROS</p>	
<p>PCL</p>	