



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**EVALUACIÓN DE LA POLIMERIZACIÓN DEL ÁCIDO LÁCTICO
EN ÁCIDO POLILÁCTICO, MEDIANTE EL MÉTODO APERTURA
DE ANILLO (ROP) PARA ESTABLECER SU COMPORTAMIENTO
COMO UN BIOPOLÍMERO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

AUTOR:

Rojas Imbago Mishell Alexandra

DIRECTOR:

Ing. Jimmy Núñez Pérez, MSc

Ibarra – Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de educación superior, hago la entrega del presente documento a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003985460		
APELLIDOS Y NOMBRES:	ROJAS IMBAGO MISHELL ALEXANDRA		
DIRECCIÓN:	Av. González Suárez y Juan de Velasco		
EMAIL:	mishell.alexa012@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0998877549

DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	Evaluación de la polimerización del ácido láctico en ácido poliláctico, mediante el método apertura de anillo (ROP) para establecer su comportamiento como un biopolímero		
AUTOR:	Mishell Alexandra Rojas Imbago		
FECHA:	15 de julio del 2022		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial		
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Jimmy Núñez Pérez, MSc		

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los quince días del mes de julio del 2022

EL AUTOR:

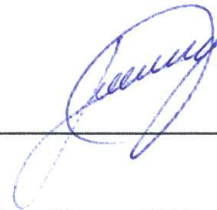


ROJAS IMBAGO MISHHELL ALEXANDRA

C.I.: 100398546-0

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Mishell Alexandra Rojas
Imbago, bajo mi supervisión.



Ing. Jimmy Núñez, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida.

Agradezco de manera infinita a mi madre Marlene quien con su esfuerzo y dedicación me ayudo a culminar esta etapa universitaria, a mi familia por creer en mí y estar presentes en cada momento.

A mi director el Ing. Jimmy Núñez, MSc., por su tiempo y ser un guía para la finalización de mi trabajo de titulación, de igual manera al Ing. Jimmy Cuarán, Mg.I y Ing. José Chanfrau, Ph.D de la carrera de Ingeniería Agroindustrial por impartir todos y cada uno de sus conocimientos que me han permitido crecer profesionalmente.

A mis amigos, en especial a Jimena, por su gran amistad y apoyo a lo largo de la carrera, también a Payto, Esteffy, Fer y Jeffry, gracias por su amistad, conocimientos, pláticas y locuras que día a día han contribuido en esta etapa de mi vida.

A Marco por su amor y paciencia.

Hoy se cumple un sueño con el que seguiré forjando mi camino ninja.

Gracias por todo UTN.

Mishell Rojas.

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a Dios,

Por darme salud, y personas que han marcado mi vida de forma significativa.

A mi madre, hermano, cuñada, pequeño Maykel, abuelitos, tíos, tías, y primos, quienes me alentaron a seguir adelante a pesar de las dificultades de todo corazón gracias infinitas.

Mishell Rojas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE ANEXOS	iii
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
1 Capítulo I INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Problema	6
1.2 Justificación	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Hipótesis de trabajo.....	8
1.4.1 Hipótesis nula	8
1.4.2 Hipótesis alternativa	8
2 Capítulo II MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 El ácido láctico.....	9
2.1.1 Estructura.....	9
2.2 Proceso de obtención de Ácido láctico	10
2.2.1 Procesos Industriales	10
2.2.1.1 Síntesis Química.....	10
2.2.1.2 Producción Biotecnológica	11
2.2.1.2.1 Suero de leche.....	11
2.2.2 Aplicaciones del suero de leche en la industria alimentaria.....	12
2.3 Aplicaciones del ácido láctico.	12

2.4	Biopolímeros.....	14
2.4.1	Tipos de Biopolímeros	15
2.4.1.1	Por sus unidades poliméricas pueden ser:	16
2.4.1.2	Por su tamaño pueden ser:.....	16
2.4.1.3	Por su posición espacial:	16
2.4.1.4	Por sus propiedades físico-químicas	16
2.4.1.5	Por su ubicación celular,	16
2.4.1.6	Por su origen pueden ser:	16
2.5	Ácido Poliláctico.....	17
2.5.1	Métodos de obtención de Ácido Poliláctico	19
2.5.1.1	Por Policondensación directa.	19
2.5.1.1.1	Método por Apertura de anillo.	20
2.5.1.2	Lactida.....	20
2.5.2	Aplicaciones del Ácido poliláctico.....	22
2.5.3	Métodos para determinación de Ácido Poliláctico.....	23
2.5.3.1	Espectroscopia Infrarroja	23
2.5.3.2	Análisis Termogravimétrico (GTA).....	24
2.5.3.3	Punto de Fusión.....	24
2.5.4	Degradación.....	25
2.6	Análisis en el mercado	25
3	Capítulo III MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1	Caracterización del área de estudio.....	27
3.2	Materiales y Equipos	27
3.3	METODOLOGÍA	28
3.3.1	Polimerización del Ácido láctico a Acido Poli láctico	28
3.3.1.1	Variables de investigación	28

3.3.2	Determinar la capacidad del Ácido Poliláctico como un biopolímero	29
3.4	Manejo Especifico del Experimento	29
3.4.1	DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DEL PROCESO	30
4	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1	Polimerización del Ácido Láctico a Ácido Poliláctico	34
4.1.1	Resultados del Experimento previo a la obtención de Lactida.....	36
4.2	Determinar la capacidad del Ácido Poliláctico como un biopolímero	40
4.2.1	Punto de Fusión	40
4.2.2	Espectroscopía Infrarroja.....	40
5	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1	Conclusiones	43
5.2	Recomendaciones	43
6	Bibliografía.....	44
	ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Isómeros del ácido láctico.....	9
Figura 2 Aplicaciones del suero de leche	12
Figura 3 Aplicaciones del ácido láctico en la industria.....	13
Figura 4 Conversión del ácido láctico	14
Figura 5 Fuentes de producción de biopolímeros	15
Figura 6 Polimerización del ácido láctico	19
Figura 7 Polimerización de los isómeros de ácido láctico en la producción de PLA	21
Figura 8 Proceso de degradación del PLA	25
Figura 9 Diagrama de proceso.....	30
Figura 10 Pesaje ácido láctico y ácido sulfúrico	31
Figura 11 Pesaje de lactida.....	31
Figura 12 Evaporación y secado del ácido poliláctico	32
Figura 13 Medición del punto de fusión.....	33
Figura 14 a) Formación de lactida y,b) obtención de PLA	35
Figura 15 Lactida.....	35
Figura 16 Ácido Poliláctico.....	36
Figura 17 Masa PLA vs Tiempo	37
Figura 18 a) Masa PLA 60% y, b) Masa PLA 30%	39
Figura 19 Gráfico de Transmitancia vs Número de onda.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas del ácido láctico.....	10
Tabla 2 Propiedades físicas del ácido poliláctico	18
Tabla 3 Características de los tipos de lactida	21
Tabla 4 Aplicaciones en la industria del ácido poliláctico	22
Tabla 5 Bandas presentes en los espectros FTIR en el PLA	23
Tabla 6 Localización del experimento.....	27
Tabla 7 Materiales y equipos.....	28
Tabla 8 Variables dependientes	28
Tabla 9 Variables independientes	28
Tabla 10 Métodos de análisis	29
Tabla 11 Análisis de varianza de masa de PLA	37
Tabla 12 Número de onda de PLA con catalizador	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Informe resultados del Ácido Poliláctico	51
---	----

RESUMEN

El manejo incorrecto del residual plástico genera varias problemáticas, afectando así al ambiente, salud y economía, en el año 2018 se genera 360 millones de toneladas métricas de plástico en todo el planeta del cual un cierto porcentaje de este es reciclado. El objetivo del presente estudio fue evaluar la polimerización del ácido láctico en ácido poliláctico, mediante el método apertura de anillo (ROP) para establecer su comportamiento como un biopolímero.

El ácido láctico comercial al 88% somete a una esterificación a partir de una reacción con ácido sulfúrico a 30% y 60% de pureza a un calentamiento de 80 °C hasta 120 °C, finalizado este proceso se obtiene la lactida o diéster di cíclico, esta se polimerizo mediante reacciones de apertura de anillo, utilizando como catalizador Cloruro de estaño II a una temperatura de 60 °C.

Las variables de estudio fueron las concentraciones de ácido sulfúrico y tiempo de polimerización (20,30,40,50 minutos), se realizaron 12 tratamientos y 3 repeticiones, para el análisis de datos se utilizó el programa *Statgraphics*. Se determinó que las condiciones que permiten una máxima productividad de ácido poliláctico fue a una concentración 60% de ácido sulfúrico y un tiempo estimado de 30 minutos, alcanzado valores máximos de 0,89 g.

Se aplicó un análisis Espectroscopia Infrarroja el cual mostro los principales grupos funcionales OH, C=O, CH y CH₃, son distintivos del ácido poliláctico. Concluyendo que el ácido láctico comercial mostro ser materia prima potencial para la producción de ácido poliláctico comparable con otros datos reportados en la literatura.

Palabras clave: polimerización por apertura de anillo, lactida

ABSTRACT

The incorrect handling of residual plastic generates several problems, thus breaking the environment, health, and economy, in 2018, 360 million metric tons of plastic are generated throughout the planet, of which a certain percentage of this is recycled. The objective of the present study was to evaluate the polymerization of lactic acid into polylactic acid, by means of the ring opening method (ROP) to establish its behavior as a biopolymer.

Commercial lactic acid at 88% undergoes esterification from a reaction with sulfuric acid at 30% and 60% purity at heating from 80 °C to 120 °C, after this process the lactide or dicyclic diester is obtained, this was polymerized by ring-opening reactions, using tin II chloride as a catalyst at a temperature of 60 °C.

The study variables were the concentrations of sulfuric acid and the polymerization time (20,30,40,50 minutes), 12 treatments and 3 repetitions were carried out, for data analysis the *Statgraphics* program was obtained. It will be determined that the conditions that allow a maximum productivity of polylactic acid was a concentration of 60% sulfuric acid and an estimated time of 30 minutes, reaching maximum values of 0.89 g.

An Infrared Spectroscopy analysis was applied which showed the main functional groups OH, C=O, CH and CH₃, are distinctive of polylactic acid. Concluding that commercial lactic acid proved to be a potential raw material to produce polylactic acid comparable with other data reported in the literature.

Keywords: ring-opening polymerization, lactide

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

El manejo incorrecto del residual plástico genera problemáticas, afectando al ambiente, salud y economía. En el 2018 el plástico es la tercera aplicación del petróleo generando 360 millones de toneladas métricas (Tm) en todo el planeta, tomando en cuenta que solo el 20% de este es reciclado, siendo Europa el continente con mayor producción de plástico alrededor de 62 millones de Tm (Plastics Europe, 2019). Con base en la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se estima que 12000 Tm de plástico navegan en la superficie del mar y otra parte estaría en la Tierra.

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), concluye que en el Ecuador se registra 12.739,01 toneladas de desechos industriales y domésticos, de las cuales el 11,43% es plástico, a nivel de regiones encontramos a la Costa con un 6,94%, Sierra 6,44%, Amazonía 5,59 % e Insular 4,75%, en el uso de plástico. Imbabura ocupa el primer lugar en usar este derivado del petróleo con el 12 %, seguido de la provincia del Azuay.

Actualmente las industrias buscan desarrollar procesos químicos sostenibles que mejoren la calidad de vida, por ello se busca nuevos sustitutos para los polímeros que se usan en la actualidad, con costos similares e incluso menores en la producción de estos. El ácido poliláctico al ser un biopolímero termo flexible considerado de uso seguro por la Food and Drug Administration (FDA), puede ser utilizado tanto en la industria alimentaria, farmacéutica, y cosmetológica por su capacidad de biodegradabilidad.

Los países pobres y en desarrollo como el Ecuador no disponen de técnicas y tecnologías para obtener un polímero biodegradable a partir de compuestos orgánicos como el ácido láctico.

1.2 Justificación

Se propone utilizar el ácido láctico para ser utilizado como materia prima en la obtención de ácido poliláctico (PLA), este podrá reemplazar de forma paulatina el uso de plásticos de origen petroquímico, disminuyendo así la problemática generada por la contaminación y los costos de tratamiento de dicho residuo.

El presente trabajo de investigación busca desarrollar a partir de ácido láctico una metodología eficaz para la obtención de un biopolímero como el PLA, por el método apertura de anillo, conocido como Ring Opening Polymerization (ROP), asimismo será una herramienta de apoyo a las futuras investigaciones sobre la producción de materia prima para plásticos biodegradables siendo amigables con el ambiente, además de mejorar la actividad económica y productiva de la agroindustria en el país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la polimerización del ácido láctico en ácido poliláctico, mediante el método Apertura de anillo (ROP) para establecer su comportamiento como un biopolímero.

1.3.2 Objetivos específicos

- Polimerizar el Ácido Láctico a Ácido Poliláctico.
- Determinar la capacidad del Ácido Poliláctico como un biopolímero

1.4 Hipótesis de trabajo

1.4.1 Hipótesis nula

H₀ = El ácido poliláctico obtenido no posee la capacidad de comportarse como un biopolímero.

1.4.2 Hipótesis alternativa

H_a = El ácido poliláctico obtenido posee la capacidad de comportarse como un biopolímero.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1 El ácido láctico

Scheele aisló por primera vez el ácido láctico en 1780, para el año 1881 se utilizó en la producción industrial, por otra parte, Herryman & Blanco (2005) , señala que el ácido láctico o (ácido 2-hidroxiopropanoico), cuya fórmula es $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$), es un líquido de color amarillento verdoso, incoloro, miscible en agua, alcohol y éter e inmisible en cloroformo, y éter de petróleo ,(véase Tabla 1), siendo utilizado desde entonces en la industria farmacéutica, química, alimentaria y cosmética. (Robalino Puente, 2017).

2.1.1 Estructura

En cuanto a su estructura el ácido láctico, presenta dos isómeros ópticos, constituido por fracciones equimolares: D (-) láctico y el L (+) láctico, véase en la Figura 1. Constituido por un ácido carboxílico, grupo hidroxilo y un grupo carbonilo. (Calvopiña & Manotoa, 2020)

Figura 1

Isómeros del ácido láctico



(García, Arrázola, & Durango, 2010)

Por otro lado, según la FDA (Food and Drug Administration), se han clasificado estos compuestos dependiendo sus propiedades, como es el caso de L (+) láctico ha sido catalogado como aditivo alimentario, mientras el D (-) láctico como agregado no alimentario, ya que al ser consumido causa acidosis y descalcificación. (Mohanty, Das, Nanda, Nayak, & Pradhan, 2015). En la tabla 1 se muestra las propiedades tanto físicas como químicas del ácido láctico.

Tabla 1

Propiedades físicas y químicas del ácido láctico

Formula	C ₃ H ₆ O ₃
Peso molecular	90,08 g/mol
Índice de refracción	1,4414
Punto de fusión	L (+) y D (-): 52,8 a 54°C
Punto de ebullición	125-140°C
Gravedad especifica	1206
Calor de combustión	3616 cal/g
Viscosidad	40,33 mNsm ⁻²
Densidad	1,249 g/ml
Constante dieléctrica	22 ε

(Serna & Rodríguez, 2005)

2.2 Proceso de obtención de Ácido láctico

Entre las principales materias primas para la producción de ácido láctico se obtienen a través de derivados de recursos renovables como lo son la melaza (a partir de la remolacha, caña de azúcar), almidones (yuca o papa), también se encuentra el suero de leche proveniente de la industria láctea. (Castells, 2018).

2.2.1 Procesos Industriales

En el año (2020) Cuervo & Echeverry concluyeron lo siguiente:

El ácido láctico se puede obtener de dos formas por vía química o biotecnológica. A continuación, se describe cada proceso:

2.2.1.1 Síntesis Química

De acuerdo con Torres, et al, (2016) Actualmente, en la producción de ácido láctico por síntesis química se incluyen varias etapas como purificación mediante esterificación con uso de metanol, produciendo lactato de metilo, asimismo se realiza una purificación ya sea por evaporación o destilación, finalmente una hidrólisis con un catalizador ácido para producir ácido láctico semirrefinado. La desventaja del método es la mezcla de los enantiómeros L y

D causando que sean ópticamente inactivo, esto incluye los costos de producción. Por otro lado, se puede agregar que otra alternativa en la obtención de A. láctico es una reacción donde se agrega acetaldehído al cianuro de hidrogeno, el cual produce lactonitrilo, con la finalidad de ser purificado y obtenido por destilación, se adiciona ácido clorhídrico (HCl) para hidrolizar produciendo ácido láctico.

2.2.1.2 Producción Biotecnológica

En la producción biotecnológica la materia prima utilizada es el almidón, por su alto contenido en carbohidratos y CaOH_2 con el fin de neutralizar el pH entre 5 o 6, produciendo lactato de calcio, este se evapora y acidifica con ácido sulfúrico a 90% v/v, logrando obtener ácido láctico purificado. (Cuervo L. , 2020). Teniendo como ventaja la producción de enantiómeros L (+) ó D (-), además del bajo costo de sustratos y el manejo de temperaturas. A diferencia de otros procesos donde la obtención se realiza a través de sustratos y bacterias u hongos, el contraste de las metodologías yace en la fermentación caracterizado por una secuencia de etapas como:

- Fermentación homofermentativas o homoláctica, la cual es realizada por vía Embden-Meyerhof donde se parte de un mol de glucosa obteniendo dos moles de ácido láctico; y
- Heterofermentativas o heteroláctica, la cual se requiere de glucosa, el mecanismo utilizado es por glucosa-6 fosfato deshidrogenasa obteniendo xilosa-5-fosfato.

2.2.1.2.1 Suero de leche

El lacto suero o suero de leche es el principal residuo de las industrias lácteas, su obtención se realiza mediante el empleo de enzimas proteolíticas o cuajo, que actúan directamente sobre las fosfoproteínas (caseína) de la leche, el cual induce una desestabilización y fragmentación, por precipitación de esta, este subproducto contiene más del 50% de los sólidos presentes en la leche, como son: proteínas, lactosa, minerales y vitaminas. (Rojas & Vélez, 2014).

En la industria alimentaria existen dos tipos de suero:

- Suero dulce: el cual posee un pH mayor o igual a 5.6. Se obtiene principalmente de la fabricación de quesos naturales como Cheddar, Mozzarella, queso suizo, etc.; y
- Suero ácido: que se caracteriza por poseer un pH inferior o igual a 5.1, se obtiene de la leche sin grasa utilizada en la fabricación de requesón, ricotta o quesos similares

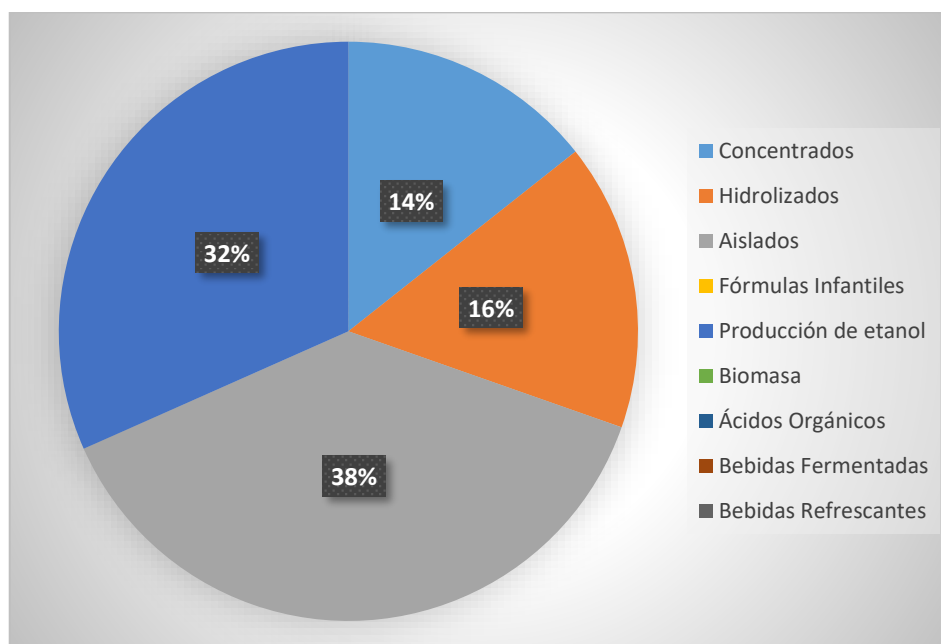
Debido a que este subproducto contiene propiedades nutricionales y funcionales se ha convertido en materia prima para la fabricación de productos a nivel tecnológico, por este motivo se aprovecha el suero de leche para la producción de ácido láctico. Por su parte García, *et al* (2013), señalan que el método recomendado para la producción de ácido láctico es realizar mediante una fermentación por lote a 37 °C y pH 6,5 con la utilización de *Lactobacillus casei* durante 21 horas.

2.2.2 Aplicaciones del suero de leche en la industria alimentaria

Según Miller, Jarvis, & McBean (2006) entre los principales usos que se le da al suero de leche en la industria, véase figura 2

Figura 2

Aplicaciones del Suero de Leche, Modificado de Ricardo Parra



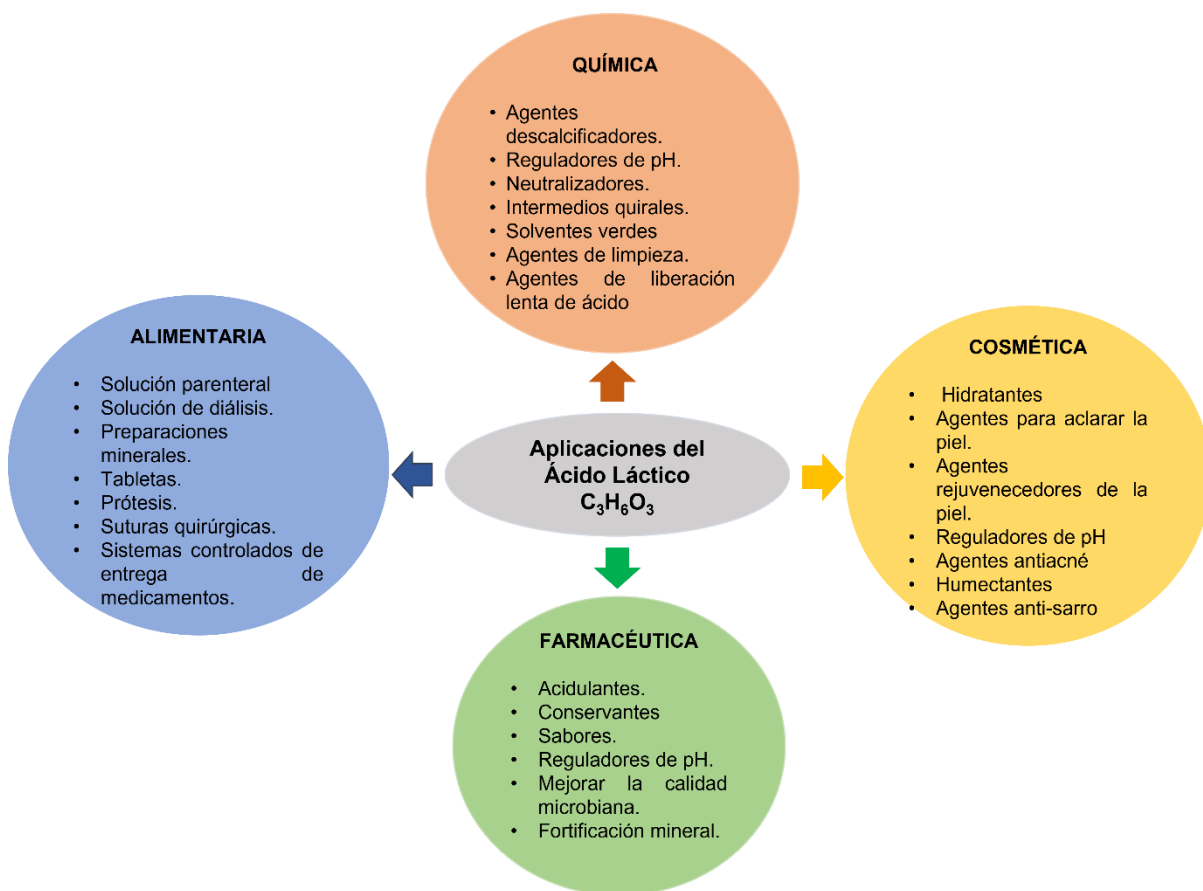
2.3 Aplicaciones del ácido láctico.

Aproximadamente el 85 % del ácido láctico que se produce en la industria alimentaria se emplea como acidulante y preservante en confitería, extractos, zumos de frutas, esencias, limonadas, jarabes, cervecería y otros y, dependiendo de su nivel de pureza, se lo puede usar en la industria como farmacéutica, química, textil, cuero y calzado, microbiológica, agroquímica y cosméticos (véase, figura 3). Además de ser una biomolécula presente en la mayoría de los seres vivos y un componente normal en la sangre y los músculos de los animales.

Por su parte, Rahman, Tashiro, & Sonomoto, (2011), señalan que el ácido láctico es un producto industrial, utilizado como predecesor del propilenglicol o los polímeros acrílicos. Los investigadores argumentan que estos polímeros son biodegradables, y que se pueden usar en materiales por ejemplo en empaque y etiquetado, (Chahal, 2000).

Figura 3

Aplicaciones del ácido láctico en la industria, Modificado de Wee, Kim & Ryu



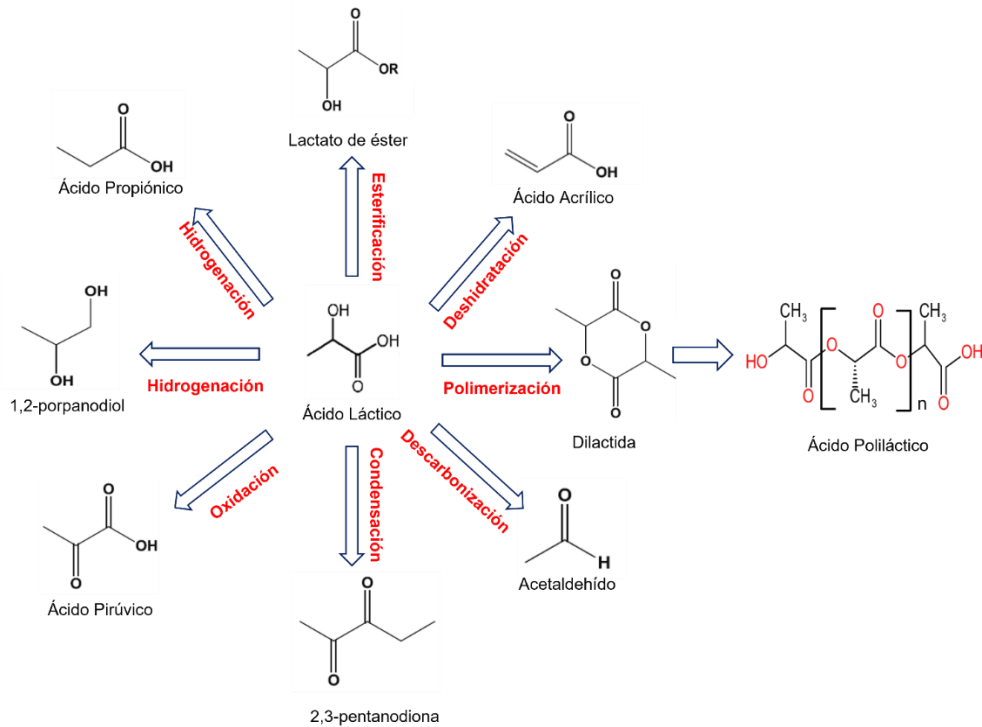
(Wee, Kim, & Ryu, 2006)

Mientras, que para la industria cosmética se usa en la fabricación de productos estéticos y de higiene por sus propiedades hidratantes, antimicrobianas y rejuvenecedoras en la piel, así como de productos de higiene oral. Por otro lado, los derivados como ésteres de lactato son utilizados por sus propiedades higroscópicas y emulsionantes (Gao, Ma, & Xu, 2011). Sin embargo, en la industria farmacéutica es empleado como suplemento en la síntesis de drogas dermatológicas y contra osteoporosis (Bai, Zhao, Li, & Xu, 2004).

También encontramos varios productos que se obtienen de la conversión del ácido láctico, a continuación, se detalla en la figura 4.

Figura 4

Conversión del ácido láctico, adaptado de Eloide Blanco



(Blanco, et al. (2016))

2.4 Biopolímeros

En el año (2011) Brito, Agrawal, Araújo, & Mélo, concluyen que los biopolímeros se deben sintetizar químicamente, y que su producción se la debe realizar a través de fermentación bacteriana partiendo de materias primas de fuentes renovables, como lo son azúcares (maíz, caña de azúcar, celulosa, quitina) o residuos (biodiesel, aguas residuales, biomasa). A diferencia de Florez (2013), que agrega que las fuentes para la obtención de biopolímeros deberían ser de; origen animal, origen marino, origen agrícola y origen microbiano. Por otro lado, Giaroli & Maggioni, (2015) proponen una clasificación según la fuente de producción, clasificándolo tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables, polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados y microorganismos, (véase, Figura 5).

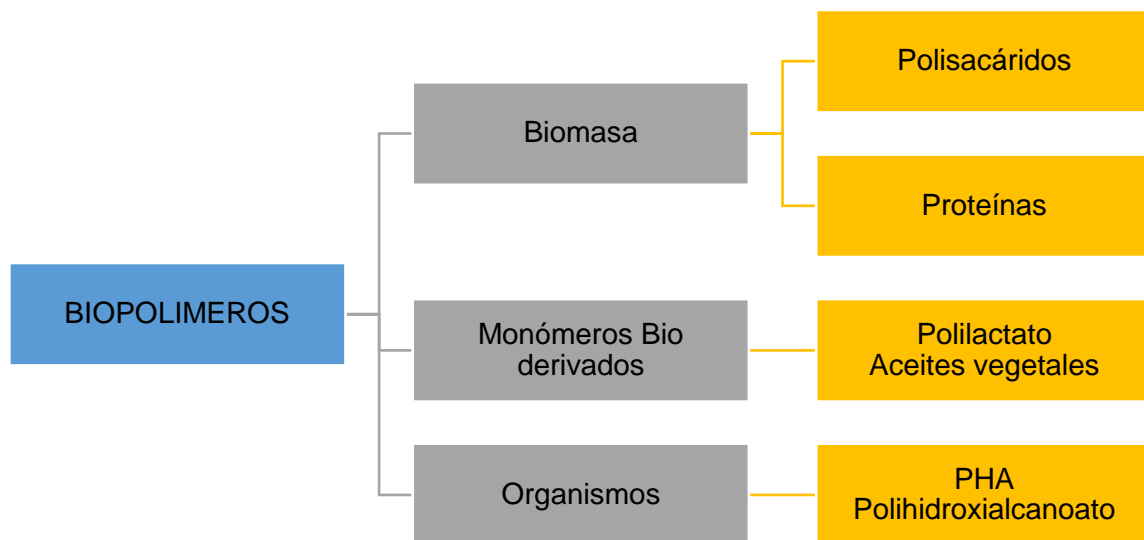
Por su parte Amparo (2014), señala que la tendencia actual en el mercado local e internacional genera una gran cantidad de residuos, los cuales deber ser tratados adecuadamente para generar un menor impacto ambiental. Los plásticos debido a su

composición petroquímica son difíciles de tratar y caros de reciclar. Por este motivo se propone sustituir los materiales de origen petroquímico por materiales de origen natural o biopolímeros.

Estos biopolímeros tienen la capacidad de sustituir a la mayoría de los polímeros obtenidos a través de combustibles fósiles, tal como los que se producen del petróleo, generando un gran interés en la sociedad, tanto en la industria como en el sector agrícola, el extruido, inyección o soplado son algunos de los procesos para obtener bioplásticos.

Figura 5

Fuentes de producción de biopolímeros, Modificado de Giaroli & Maggioni



(Giaroli & Maggioni, 2015)

2.4.1 Tipos de Biopolímeros

Entre los criterios establecidos por Florez (2013) sobre la clasificación de los biopolímeros se clasifico en los siguiente:

- Por sus unidades poliméricas
- Tamaño
- Posición espacial
- Propiedades fisicoquímicas
- Ubicación celular
- Origen

A continuación, se describe cada una de las antes mencionadas características diferenciadoras de los biopolímeros y su particularidad:

2.4.1.1 Por sus unidades poliméricas pueden ser:

Se clasifica en Heteropolisacáridos y Homopolisacáridos, y dependiendo del tipo de enlace ya sea:

- Alfa (α) o,
- beta (β).

2.4.1.2 Por su tamaño pueden ser:

- monosacáridos: presenta una unidad polimérica, glucosa, fructosa, ribosa.,
- oligosacáridos: en su estructura molecular presenta 2 a 19 unidades de monosacáridos., entre ellas se distingue, sacarosa, fos, maltosa, fructosa.
- polisacáridos: o glicanos, poseen en su cadena molecular más de 20 unidades poliméricas, por ejemplo, pectinas, amilosa, amilopectina, entre otras.

2.4.1.3 Por su posición espacial:

- Lineales: la cadena molecular se presenta de forma lineal, como la Inulina.
- Ramificada: presenta una cadena principal de la cual se derivan varias cadenas laterales, además que están también poseen otras ramificaciones, ejemplo la goma xantana
- Circulares: poseen conformaciones cíclicas en la cadena principal, como las maltociclodextrinas.

2.4.1.4 Por sus propiedades físico-químicas

De acuerdo con sus propiedades reológicas y la capacidad que poseen al ser tratados en la industria, como los Hidrocoloides: siendo sustancias naturales poliméricas con la capacidad de formar geles.

2.4.1.5 Por su ubicación celular,

siendo extracelulares o intracelulares dependiendo si están en el interior, en los perímetros o fuera de ella.

2.4.1.6 Por su origen pueden ser:

- Natural: siendo microbiano, animal o vegetal.

- Semisintéticas: Parte del biopolímero es modificado químicamente. Por ejemplo, encontramos: Almidones modificados, alginato de polietilenglicol, entre otros.
- Sintéticas: el polímero es sintetizado de forma química, se encuentra polivinilpirrolidona (PVP).

2.5 Ácido Poliláctico

En el año 1845, Pelouze condensó el ácido láctico por medio de destilación con agua para formar PLA, como resultado del experimento en realidad obtuvo un diéster dicíclico o lactida, después en 1954 el científico Dupont Wallace Carothers, obtuvo un polímero de bajo peso molecular, calentando ácido láctico al vacío, finalmente Cargill Dow LLC desarrolló un proceso continuo el cual más tarde lo patentó, para la producción de polímeros de bajo costo a través del uso de ácido láctico. (Nampoothiri, Rajendran Nair, & Rojan Pappy, 2010).

De acuerdo con Fandiño (2014) el ácido Poliláctico (PLA) es un polímero que pertenece a los termoplásticos, se produce principalmente a partir de fuentes primarias como el maíz y la caña de azúcar, en cuanto a la producción de este polímero se utiliza el ácido láctico, un producto natural, obtenido por fermentación de fuentes renovables, el cual presenta isómeros D o L o una mezcla.

El PLA puede ser rígido como flexible y polimerizarse con otros materiales, el PLA se lo clasifica como GRAS reconocido como seguro por la Food and Drug Administration de EE. UU. Por otro lado, este también es un material altamente versátil que puede elaborarse con distintas formulaciones para satisfacer la mayor parte de las especificaciones de los productos. Al ser mezclado con distintos polímeros naturales permite desarrollar materiales con propiedades de resistencia al agua.

La calidad del PLA depende de la estructura y composición de las cadenas de polímeros, sobre todo de la relación de L a D-isómero de ácido láctico, véase (Tabla 2) según (Gorot, et al. 2010).

Tabla 2

Propiedades físicas del ácido poliláctico

Propiedad Física	Descripción
Fórmula	$(C_3H_4O_2)_n$
Peso molecular (Kda)	50-750
Punto de fusión (°C)	170 – 178
Densidad (g/cm ³)	1.25
Viscosidad (cps)	0.61 - 8.2
% Cristalinidad	15 – 74
Fuerza de tensión (Mpa)	40 – 60
Módulo de tensión (Gpa)	3 – 4
Temperatura Max. Usada (°C)	50 – 125
Tg Temperatura de transición vítrea	60 – 65

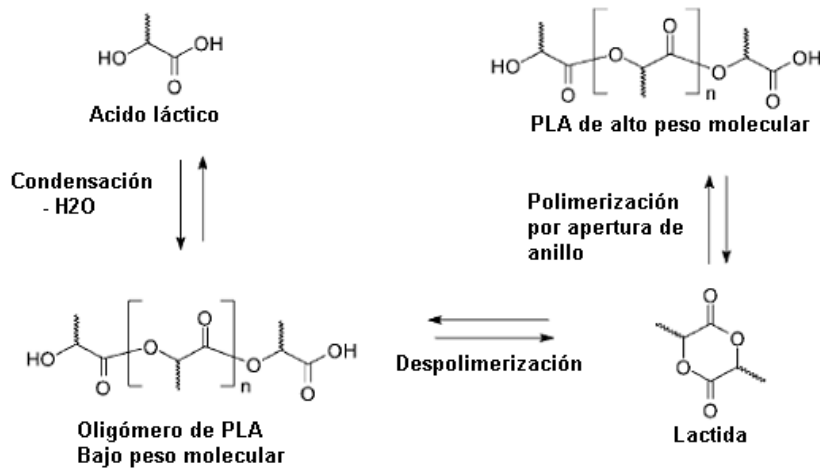
(Serna , Rodríguez, & Albán, 2013)

Se recomienda para la obtención de un polímero de alto peso molecular controlar el grado de cristalinidad, las propiedades físicas y mecánicas del producto a usarse, además del isómero y su peso molecular en el proceso de polimerización, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros como temperatura, presión, tiempo de reacción y selección del catalizador (Zuluaga F. , 2013).

El ácido poliláctico se polimeriza por condensación directa y Polimerización por apertura de anillo se produce a partir del éster de di lactato (lactida), y como catalizador se usa octoato de estaño, como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Polimerización del ácido láctico



(Ojeda, 2011)

2.5.1 Métodos de obtención de Ácido Poliláctico

Los principales métodos para la obtención de Ácido poliláctico, encontramos los siguientes por policondensación que a su vez este presenta dos fases: oligomerización y polimerización, y apertura de anillo, al igual que el primero se basan en los mismos principios.

2.5.1.1 Por Policondensación directa.

En la policondensación directa es necesaria la producción del pre-polímero denominado lactida, se utiliza una rota evaporadora compuesto por un condensador y un balón recolector, donde este es sumergido en un baño de silicón, conectado a una bomba de vacío y un termóstato controlando la temperatura. El ácido láctico se poli condensa de 130 a 220 °C a una presión de 5 mmHg, en general este método se utiliza por su producción rápida en biopolímeros y su bajo costo (Lee, Razak Rahmat, & Wan AbdulRahman, 2013).

En el año (2012), Jiménez, et al, establecen las siguientes etapas para la policondensación directa:

Oligomerización: se utiliza el sistema de vacío anteriormente mencionado, introduce el ácido láctico en el balón, se calienta a una temperatura 150 °C constante y una presión de vacío variando cada hora primero 637.55 mmHg, disminuyendo a 18.75 mmHg por 6 horas.

Polimerización la lactida obtenida en el proceso anterior, se procede a mezclar con cloruro de estaño di hidratado ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a nivel de laboratorio, otro reactivo efectivo en el proceso es 2-etil hexanoato de estaño (II), sometiendo a vacío de 558.8 mmHg, a una temperatura constante de 170°C. (Pinzón, et al, (2006).

2.5.1.1.1 Método por Apertura de anillo.

En el método apertura de anillo (ROP), se somete el ácido láctico a calentamiento con ácido sulfúrico, causando una reacción de deshidratación, dando como resultado la obtención de un diéster de ácido láctico conocido como lactida, para concluir con la despolimerización se agrega metanol y cloruro de estaño (II), y se continua con el calentamiento, hasta obtener un polvo blanquecino. (Nampoothiri, et al 2010), por último, Cuervo y Echeverry (2020), recomienda el uso del metanol por su capacidad de recrystalizar el polímero y cloruro de estaño empleado principalmente para la ruptura del anillo de lactida y así producir PLA.

Como afirma Rosales (2016), el método ROP, presenta una polimerización por adición por ruptura homolítica, las siguientes etapas describen el proceso de obtención del polímero.

- **Iniciación:** $\text{CH}_2 = \text{CHCl} + \text{catalizador} \Rightarrow \bullet\text{CH}_2\text{-CHCl}$
- **Propagación:** $2 \bullet\text{CH}_2\text{-CHCl} \bullet \Rightarrow \text{-(CH}_2\text{-CHCl-CH}_2\text{-CHCl)-}$
- **Terminación:** Los radicales libres se unen a impurezas.

2.5.1.2 Lactida

De acuerdo con Groot, et al, (2010), Pelouze, logro sintetizar la lactida al calentar el ácido láctico y extraer el agua presente, este compuesto no era miscible en agua, continuo con el proceso de calentamiento hasta la formación de cristales, logrando así un pre-polímero además de deducir la fórmula. En 1914, Gruter y Pohl, patentan el siguiente procedimiento, la esterificación del ácido se da entre 120 – 135 °C, extrayendo del agua, como catalizador se utilizó óxido de zinc, la lactida se destilo al vacío a una temperatura de 200°C. A continuación, se presenta la tabla 3, con las principales características de la lactida.

Tabla 3

Características de los tipos de Lactida, Modificado de Groot, et al.

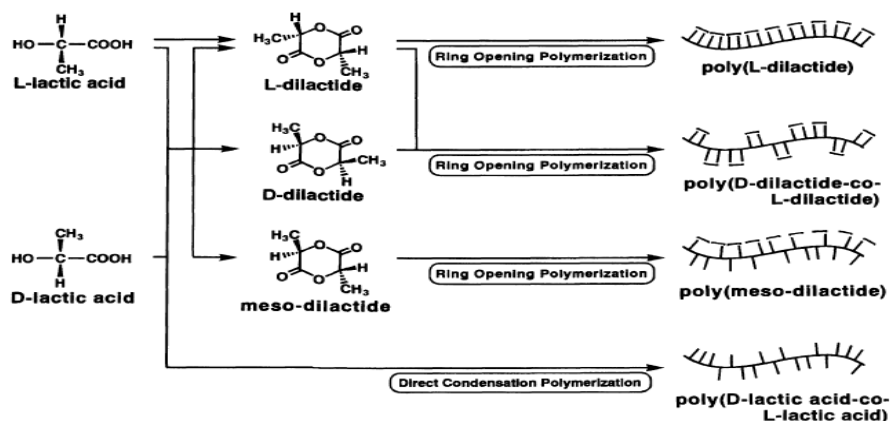
Propiedad	Unidad	<i>D</i> -		<i>meso</i> -	
		LactidaLactida	L-LactidaLactida	LactidaLa	rac-Lactida
Numero CAS		13076-17-0	4511-42-6	13076-19-2	116559-43-4
Peso molecular	g/mol	144.12	144.12	144.12	
Punto de fusión	°C	96-97	96	53	125
Punto de ebullición	°C				142 (20mbar)
Calor de fusión	J/g		146	128; 118	185
Calor de vaporización	kJ/mol		63		
Densidad sólida	g/ml		1.32-1.38 2.71(110	1.32-1.38	
Viscosidad líquida	mPa s		°C); 2.23(120		
			°C); 1.88(130 °C)		

(Groot, Wim; Van, Jan, Sliker, Olav; De Vos, Sicco, 2010)

Dependiendo del isómero producido desde el ácido láctico se conoce L (+) y D (-) a continuación apreciamos las siguientes estructuras químicas del ácido poliláctico en la figura 7.

Figura 7

Polimerización de los isómeros de ácido láctico en la producción de PLA



(Ajioka, Enomoto, Suzuki, & Yamaguchi, 1995)

2.5.2 Aplicaciones del Ácido poliláctico.

Además de que el Ácido Poliláctico es biodegradable y reabsorbible se ha encontrado múltiples aplicaciones en medicina, en industrias como la alimentaria (se lo utiliza como empaque para los alimentos), la textil, de cosméticos y entre otras. También se aplica en el campo doméstico, ingenieril y biomédico. En envases rígidos, envases de película flexible, vasos, cubiertos, prendas de vestir y fibras discontinuas, botellas, productos moldeados por inyección, recubrimiento por extrusión. (Lee, Razak Rahmat, & Wan AbdulRahman, 2013). Si bien la aplicabilidad es muy diversa, se debe considerar que sus características lo hacen esencial como sustituto a futuro de los biopolímeros derivados del petróleo.

Su campo de aplicabilidad es muy extenso, por mencionar en el campo biomédico ha ayudado en la fijación y crecimiento de tejidos, también se lo ha empleado como portador o encapsulador de drogas, su mecanismo libera la dosis de medicamentos en tratamientos a largo plazo, en el área doméstica podemos encontrar en varias prendas, botellas, e utensilios, y para terminar en el campo ingenieril, es utilizado dependiendo de las propiedades mecánicas, por ejemplo por su rigidez es usado en el recubrimiento de cables con PLA y PVA. Por otra parte, en la tabla 4, se sintetiza y menciona algunas áreas más de aplicación de acuerdo con (Auras, Lim, Selke, & Tsuji, 2010).

Tabla 4

Aplicaciones en la industria del ácido poliláctico

Peso Molecular	Área de aplicación	Productos de mercado
Alto	Telas spunbond	Médico aplicaciones, bolsas de compra y paisaje textiles
	Bandejas de carne de espuma	Bandeja Naturet de Dyne-a-Pak
	Bandeja de espuma	Bandeja para carne, pescado y queso
	Servicio de alimentos	Cuchillería
	Cubiertas	Cubiertas para productos cosméticos
	Alfombra de grado de exposición	Alfombras Ecopunch
	Botellas	Botella para jugo y agua sin gas
	Botellas de PLA	Botella de shampoo
	Film	Película clara sobre la envoltura para la bandeja
	Fibra	Peluches llenos de fibra de PLA

Bajo	Bloques blandos y moldeables	Implantes en el cuerpo humano
	Fundas	Fundas biodegradables de baja duración

(Lee, Rahmat, & Rahman, Poly lactic Acid , 2012) & (Zuluaga F. , 2013)

2.5.3 Métodos para determinación de Ácido Poliláctico

La determinación de PLA se puede realizar mediante los siguientes métodos:

2.5.3.1 Espectroscopia Infrarroja

De acuerdo con Del Angel López (2007) El espectro infrarrojo permite obtener información de la estructura de los compuestos orgánicos presentes en la muestra, se basa en el principio de radiación electromagnética, manejando un rango visible entre 580 y 700 nm. No obstante Orozco (1999), manifiesta que las frecuencias en las que se muestra el espectro están entre 10000-400 cm^{-1} , ya que esta se absorbe y se convierte en energía vibracional, siendo cuantizada, mostrando un espectro de bandas. A continuación, en la tabla 5 encontramos los grupos funcionales característicos del PLA y la longitud de onda, respectivamente.

La espectroscopia infrarroja (IR) permite corroborar la estructura de los compuestos orgánicos además de identificar las bandas características del polímero. (López, 2007). esta es una técnica sencilla y factible, por lo cual no causa daños en la estructura del compuesto.

Tabla 5

Bandas presentes en los espectros FTIR en el PLA

Banda	Longitud de onda (cm^{-1})
Tensión del enlace OH	3510
Tensión del grupo CH	3000
Tensión del grupo CH_3	2942
Tensión del enlace carbonilo C=O	1757
Deformación asimétrica del enlace CH_3	1460-1361
Tensión asimétrica del enlace C-O-C	1182

Deformación del enlace C-O	1091
Enlace C-CH ₃	1041
Tensión del enlace C-C-O fase amorfa	870

(Orozco F. , 2011)

2.5.3.2 *Análisis Termogravimétrico (GTA)*

Conesa (2000) argumenta que la termogravimetría es una técnica sencilla que permite identificar y medir los cambios físicos y químicos en los materiales al ser sometidos a un análisis térmico. Por otra parte, Rodríguez, Salazar, & Zuñiga (2016) mencionan que también es empleado en el estudio de las reacciones primarias en la descomposición de material sólido y líquido mediante la aplicación de calor, además de ser sometido a una atmósfera inerte y presión constante.

No obstante Rodríguez & Villegas, (2010) confirma que como resultado de este análisis se obtiene datos del cambio de la masa con respecto a la temperatura, tiempo y el termograma, donde en una gráfica se observa las variaciones porcentuales de la masa. En la Ecuación (1) se muestra la fórmula para calcular la pérdida porcentual de masa, además este análisis no es solo usado polímeros, carbón, arcillas si no también en productos alimenticios.

2.5.3.3 *Punto de Fusión*

Con base en la Norma INEN (2014). El punto de fusión en los polímeros por lo general no está definido, si no que se observa un cambio en la forma de las partículas de forma viscosa seguido de la desaparición de la fase cristalina. El rango de fusión depende del peso molecular y propiedades termodinámica. A continuación, se describen los dos métodos existentes:

- Tubo Capilar

Se basa en los cambios de forma del polímero, y se aplica a polímeros semi- cristalinos y a sus compuestos.

- Microscopio de polarización

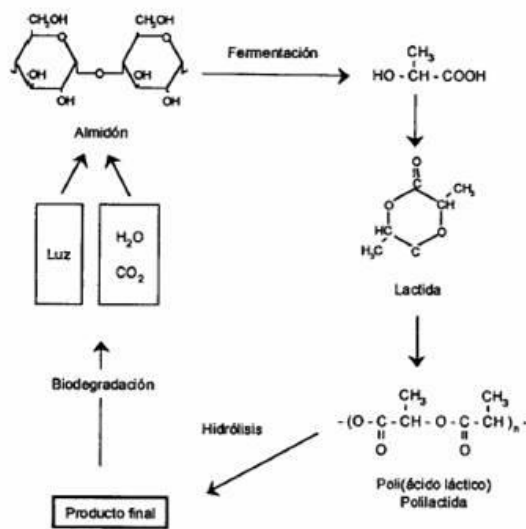
Se basa en los cambios de las propiedades ópticas del polímero y se aplica en su fase cristalina birrefringente, se recomienda no usar este método en los compuestos plásticos que tengan pigmentos u otros aditivos en su composición.

2.5.4 Degradación

Los biopolímeros proceden de recursos renovables, convirtiéndose en una interesante alternativa para la industria de los plásticos, debe cumplir las estrictas regulaciones ambientales en los procesos de biodegradación y biodegradabilidad. El PLA ha suscitado un gran interés por su alta capacidad de biodegradarse a diferencia de otros polímeros, pero esto depende del peso molecular, pureza, cristalinidad, pH, presencia de grupos carboxilos, permeabilidad y aditivos. (Nampoothiri, *et al* 2010). En la siguiente figura 8 se aprecia el proceso de degradación del ácido poliláctico.

Figura 8

Proceso de degradación del PLA



(Giaroli & Maggioni, 2015)

2.6 Análisis en el mercado

De acuerdo, Herryman & Blanco (2005), la tendencia en el consumo de productos biodegradables ha ido en aumento, para los investigadores estos productos, contribuyen significativamente a mejorar el medio ambiente, esto además de contribuir al reciclado, sin embargo, el déficit de estos, se señalan en factores como costos, precios de producción, etc. El PLA, aunque se ha descubierto desde el año 1932, no sería años después, que se produce un polímero de calidad con alto peso molecular y de calidad. Por otro lado, lo que perjudica que este biopolímero no ocupe un lugar en el mercado sería su alto costo de producción, aunque con el uso de nuevas tecnologías se ha reducido estos precios, cada vez contribuye

más utilizarlo en las distintas industrias, por ejemplo, en envolturas para alimentos, utensilios, medicamentos y en piezas de automóviles.

Capítulo III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

Las pruebas preliminares y el desarrollo de la presente investigación denominada “Evaluación de la polimerización del ácido láctico en ácido poliláctico, mediante el método apertura de anillo (rop) para establecer su comportamiento como un biopolímero”, se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Físico Químico y Microbiológico de la Universidad Técnica del Norte, ubicado en la calle Juan Montalvo de la ciudad de Ibarra, parroquia El Sagrario, de la provincia de Imbabura. A continuación, en la tabla 6 se describen las características climatológicas del área donde se realizó la experimentación del mencionado estudio.

Tabla 6

Localización del experimento

Características climatológicas del área de experimentación	
Cantón:	Ibarra
Parroquia:	El Sagrario
Altitud:	2256 m.s.n.m
HR promedio:	79.4%
Latitud:	0° 20' Norte
Temperatura media:	17 °C

(INAMHI, 2018)

3.2 Materiales y Equipos

Los materiales e insumos que se describen a continuación se encuentran disponibles en el mercado local y en los inventarios de los laboratorios de la Universidad Técnica del Norte, los mismo que fueron utilizados y empleados en todo el desarrollo del estudio y, que sirvieron como instrumento de medición con el fin de evaluar la objetividad de cada objetivo planteado, y que se mencionan en la siguiente tabla 7:

Tabla 7

Materiales y Equipos

Reactivos	Equipos	Materiales de laboratorio
- Ácido Láctico	- Plancha de termo	- Frascos Boeco
- C ₃ H ₆ O ₃	agitación	- Papel filtro
- Metanol CH ₃ OH	- Cocina eléctrica	- Termómetro
- Cloruro de estaño SnCl ₂	- Campana de extracción	- Pipetas
- Ácido Sulfúrico H ₂ SO ₄		- Filtro de Carbón Activado

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Polimerización del Ácido láctico a Acido Poli láctico

Para dar cumplimiento al objetivo polimerización del ácido láctico en ácido poli láctico se utilizó el método Apertura de Anillo (ROP).

3.3.1.1 Variables de investigación

Tabla 8

Variables Dependientes

Características de PLA obtenido: masa final de PLA sintetizado.

Tabla 9

Variables Independientes

Tipo de catalizador	
Catalizador 1	Cloruro de Estaño SnCl ₂
Concentración de Ácido Sulfúrico (Factor C)	
Concentración 1	30% v/v
Concentración 2	60% v/v

Tiempo de reacción (Factor T)	
Tiempo 1	20 minutos
Tiempo 2	30 minutos
Tiempo 3	40 minutos
Tiempo 4	50 minutos

Temperatura de reacción en el equipo convencional	
Temperatura 1	60 °C

El análisis estadístico que se aplicó en la investigación fue un análisis de varianza AxB; donde se vio la interacción de las diferentes variables entre sí y por separado.

3.3.2 Determinar la capacidad del Ácido Poliláctico como un biopolímero

Para determinar si el biopolímero obtenido es ácido poliláctico se empleará índices químicos y físicos como se presentan en la tabla 10, con el fin de evaluar la presencia de grupos funcionales distintivos en el mismo.

Tabla 10

Métodos de Análisis

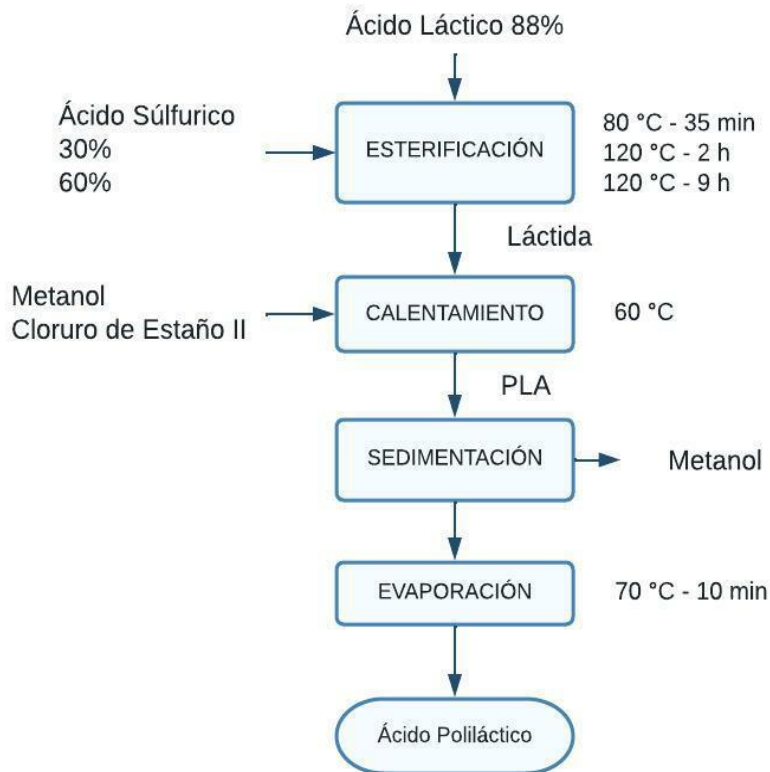
Análisis	Método	Unidades	Norma de Referencia
Químico	Espectroscopia infrarroja	cm ⁻¹	ASTM E1252 – 98
Físico	Punto de Fusión	°C	NTE INEN-ISO 3146

3.4 Manejo Especifico del Experimento

En la figura 9 se representa el diagrama de bloques para la obtención de ácido poliláctico a escala de laboratorio.

Figura 9

Diagrama de proceso



3.4.1 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DEL PROCESO

Esterificación

La obtención de Ácido Poliláctico por el método Apertura de Anillo según Cuervo y Echeverría (2016), modificando las variables de concentración y tiempo de reacción.

Mediante una polimerización del ácido láctico por el método anteriormente mencionado, se realizó una esterificación para producir un diéster llamado lactida, donde el ácido láctico se somete a una esterificación a partir de una reacción con ácido sulfúrico a 30% v/v y 60% v/v de pureza.

- **Preparación del ácido láctico a lactida**

Se tomó un frasco de vidrio Boeco 250 ml se adicionó 50 ml de ácido láctico y 2.5 ml de ácido sulfúrico y en una plancha de calentamiento de agitación magnética se

llevó a cabo la primera reacción a 80 °C durante 35 min y se luego a 120 °C durante 2 horas y se adiciono 2.5 ml más de ácido sulfúrico y se espera alrededor de 7 h a 8 h y se agregan 2.5 ml más de ácido sulfúrico y pasadas alrededor de 9 horas se obtiene el di éster de ácido láctico llamado lactida. Véase en la figura 10.

Figura 10

Pesaje ácido láctico y ácido sulfúrico

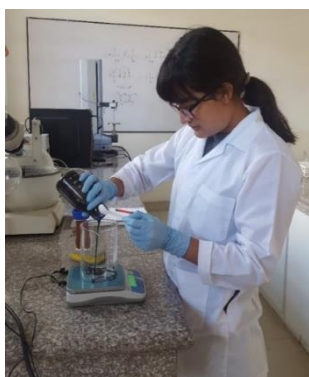


Calentamiento

Consiste en una reacción catalítica donde se adicionan 5 g de lactida obtenida, se añaden 50 ml de metanol y 3 g de cloruro de estaño II, esta reacción ocurre transcurrido de 2 a 3 minutos a 60 °C. Una vez pasado este tiempo se procede a realizar una evaporación. Figura 11

Figura 11

Pesaje de Lactida



Sedimentación

Se deja en reposo aproximadamente por 10 minutos, y se extrae la mayor cantidad de metanol presente.

Evaporación

El metanol restante se retiró a 70 °C a 10 minutos en un secador, una vez terminado, se observa un polvo blanco y fino. Figura 12.

Figura 12

Evaporación y secado del ácido poliláctico



MÉTODOS DE ANÁLISIS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO POLILÁCTICO

Espectroscopia infrarroja

El análisis se basa en la norma ASTM E1252 – 98 Práctica estándar para técnicas generales para obtener espectros infrarrojos para análisis cualitativo, se realizó en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela Politécnica Nacional.

Punto de fusión

El punto de Fusión se determinó de acuerdo con la Norma NTE INEN-ISO 3146, Plásticos. determinación del comportamiento en fusión (temperatura de fusión o intervalo de fusión) de polímeros semi-cristalinos mediante los métodos del tubo capilar y del microscopio de polarización (ISO 3146:2000, IDT). Se realizó una modificación en el equipo especificado en la norma técnica, se procedió a utilizar un tubo Thiel en reemplazo del Aparato de Fusión, llegando a cumplir la misma función de calentamiento al tubo capilar, se encuentra en la figura 13.

Figura 13

Medición del punto de fusión modificado de NTE INEN-ISO 3146



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de la fase experimental, en dichos experimentos se estableció parámetros como: temperatura y tiempo de reacción en cada uno de estos se realizaron tres repeticiones para determinar su capacidad de comportamiento respecto a un biopolímero.

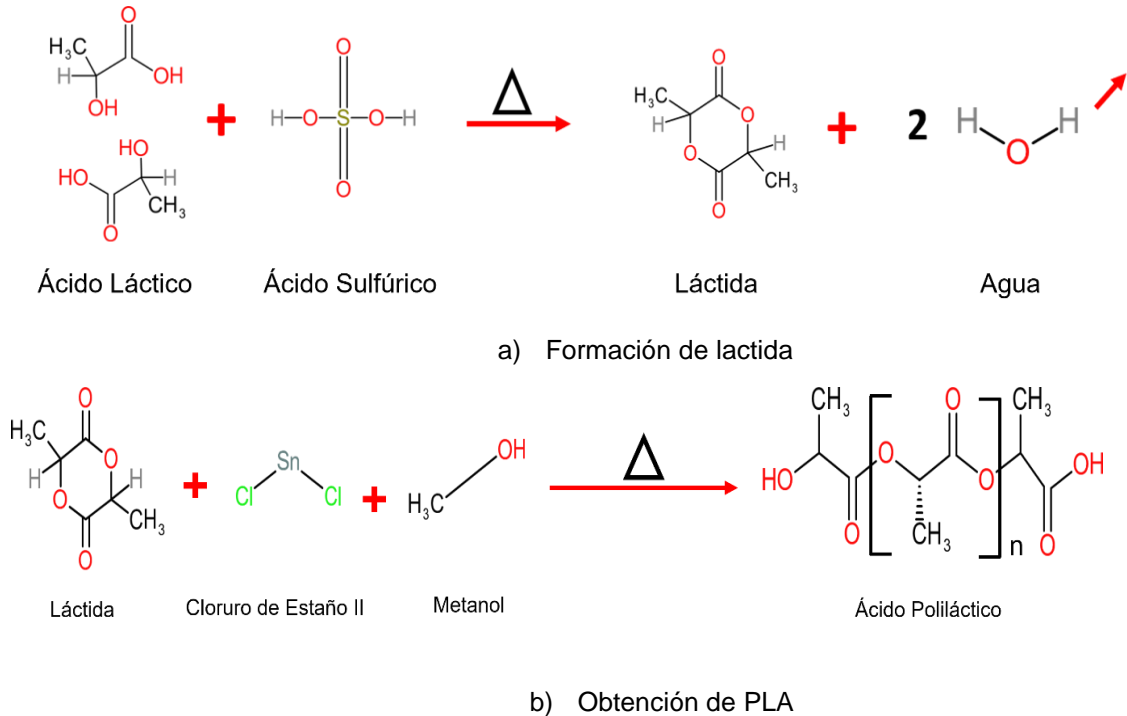
Para la caracterización del material obtenido se realizó la prueba de espectroscopia infrarroja que permitió determinar su capacidad como un biopolímero. En la última sección de este capítulo se muestra la curva con el tiempo óptimo de polimerización.

4.1 Polimerización del Ácido Láctico a Ácido Poliláctico

El ácido láctico al ser sometido a calentamiento en presencia de ácido sulfúrico a 30% v/v y 60% v/v, provoca una deshidratación (Rajeev , Vineet, Haripada, & S. N. , 2005). Formando un pre-polímero conocido como diéster cíclico o lactida y la formación de 2 moléculas de agua liberadas en forma de vapor, proceso denominado esterificación, previo a la obtención del ácido poliláctico. Como se muestra en la figura 14 a.

Figura 14

a) Formación de lactida y b) Obtención de PLA



En la figura 15 el pre-polímero o lactida presenta una apariencia viscosa y un color ámbar a marrón, se toma una muestra de 5 g de lactida, cloruro de estaño II y metanol, se somete a un calentamiento de 60 °C en diferentes tiempos 20, 30, 40 y 50 minutos, este proceso es la segunda parte de la polimerización para la obtención de PLA, el cual detalla en la figura 14 b.

Figura 15

Lactida



Transcurrido este tiempo se observa la formación y precipitación de un material de color blanco, se procede a la extracción del metanol, en la figura 15 se observa que el material obtenido es un polvo fino, sin marcas de degradación, translucidas y libre de impurezas, conocido como PLA, estos resultados son similares a los de Cuervo & Echeverria (2016). Este producto final se sometió a varios análisis.

Figura 16

Ácido Poliláctico



4.1.1 Resultados del Experimento previo a la obtención de Lactida

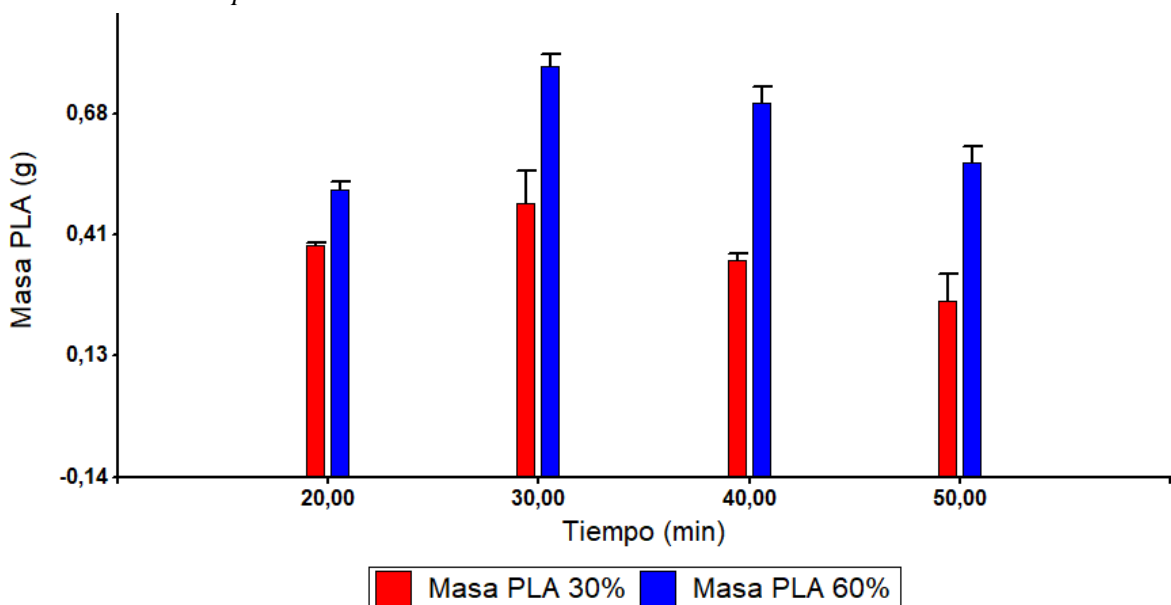
En la fase de preparación del pre-polímero se procedió añadir una concentración de 30% y 60% v/v de Ácido Sulfúrico similar a las concentraciones utilizadas en el experimento de Cuervo (2020). Los resultados de masa de PLA de la figura 17 indican la cantidad de ácido poliláctico producido, con una concentración de 60% v/v H_2SO_4 de se muestra un aumento de pesos dependiendo del tiempo y una disminución de los pesos en 50 minutos al igual que en la concentración de 30% v/v H_2SO_4 se observa el mismo proceso.

La evaluación estadística de datos para masa de PLA se muestra en la Tabla 11, esta se descompone en: Factor C (concentración), Factor T (tiempo) y C x T (interacciones).

Tabla 11*Análisis de varianza de masa PLA*

FV	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor -P
Efectos Principales					
Factor C (Concentración H ₂ SO ₄)	0,456835	1	0,456835	273,93	1,73X10 ⁻¹¹
Factor T (Tiempo)	0,170222	3	0,0567408	34,02	3,56X10 ⁻⁷
Interacciones					
CxT	0,0463878	3	0,0154626	9,27	0,0009
Residuos	0,0266831	16	0,00166769		
Total (Corr)	0,700129	23			

Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la masa con un 99,0% de nivel de confianza.

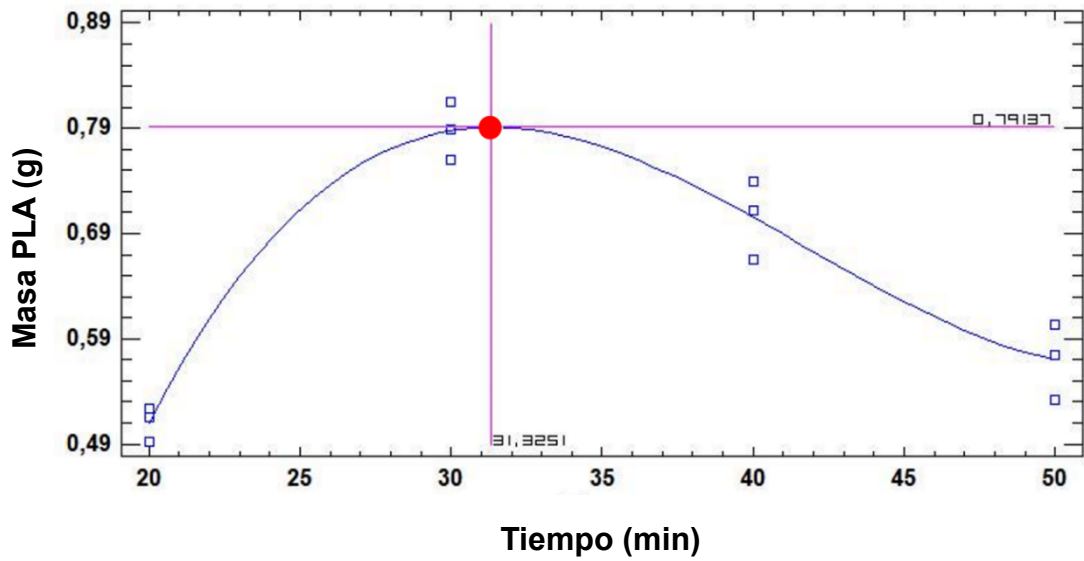
Figura 17*Masa PLA vs Tiempo*

Los mejores resultados se obtuvieron con el 60 % de H_2SO_4 , con un tiempo de reacción de 30 minutos mostrando valores de 0,8152 g. En la concentración de 30% de H_2SO_4 en el mismo tiempo se observan valores menores: 0,5581 g de masa de PLA, con lo reportado por Cuervo y Echeverria (2016) se verifica que a una concentración de 60% v/v de H_2SO_4 se consigue la mayor cantidad de ácido poliláctico determinando que es directamente proporcional la cantidad usada de ácido sulfúrico respecto a la cantidad de ácido poliláctico producido. En este tiempo de 30 minutos se obtiene la mayor cantidad de PLA, mientras más tiempo pasa el equipo con agitación y temperatura constante la cantidad de PLA empieza a decrecer, finalmente se aprecia una cantidad mínima del polímero.

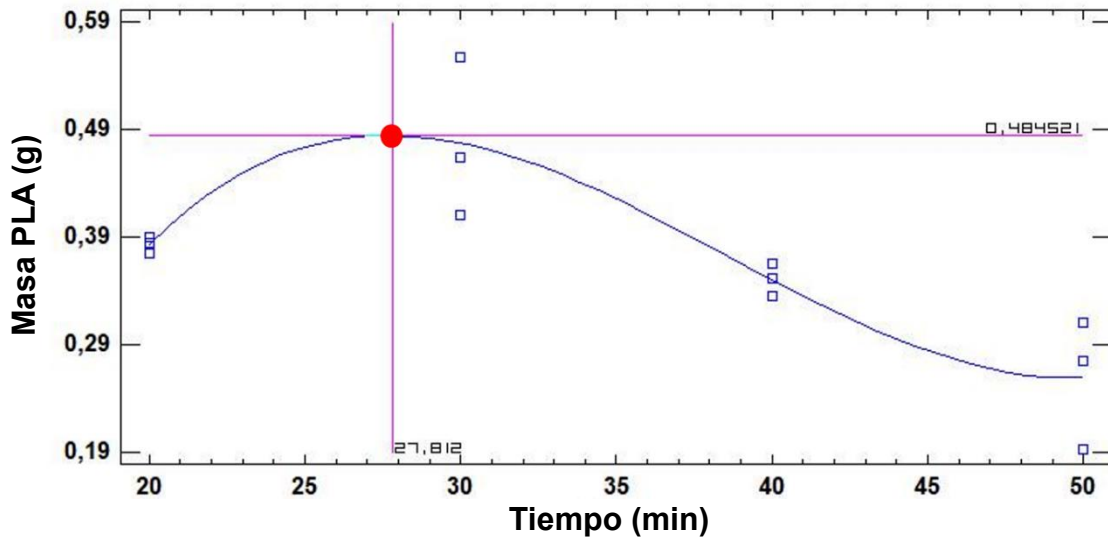
Con el fin de optimizar el tiempo de polimerización, se procedió a realizar una optimización teórica en la búsqueda del menor tiempo de reacción en cuanto a la concentración de ácido sulfúrico ajustando los resultados a una ecuación de cuarto grado, los resultados se muestran en la figura 18 de acuerdo con las concentraciones de Ácido Sulfúrico a 30% y 60% utilizadas en la fase experimental.

Figura 18

a) Masa PLA 60% y b) Masa PLA 30%



a) Masa de PLA a 60%



b) Masa de PLA a 30%

En la figura 18a. se muestra el punto máximo de polimerización en un tiempo de 31 minutos con una concentración de 60% de H_2SO_4 y en la figura 18b. se observa un tiempo de polimerización de 28 minutos. El punto óptimo del proceso de polimerización para la obtención de un polímero se encuentra estimado a una concentración de 60% de ácido sulfúrico (Cuervo & Echeverry, 2016).

La posible teoría de que 60% de ácido sulfúrico es la mejor concentración para la polimerización de PLA se debe aún equilibrio químico a mayor concentración en los reactivos, el equilibrio tiende a desplazarse hacia los productos.

4.2 Determinar la capacidad del Ácido Poliláctico como un biopolímero

Para comprobar que el producto obtenido presenta características de un biopolímero y el tamaño de la polimerización se realizaron pruebas fisicoquímicas como: punto de fusión y espectroscopía infrarroja, las cuales nos pueden describir el tamaño de la cadena de polímero y los grupos funcionales presentes característicos.

4.2.1 Punto de Fusión

Se ha reportado que las propiedades térmicas del PLA dependen de su peso molecular, condiciones de polimerización, pureza óptica entre otras, el ácido poliláctico presenta un punto de fusión de 170 a 180 °C según (Wendy , 2016).

El análisis se realizó al mejor tratamiento obtenido (concentración de 60% de H₂SO₄ con un tiempo de 30 minutos), se obtuvo que el punto de fusión fue de 168.3 ± 3 °C^{*1}. Se evidenció que el producto sintetizado está dentro del rango de temperatura reportado para este producto y está estrechamente ligado al tamaño de la cadena del polímero, por lo que probablemente sea un oligómero (cadena polimérica corta) con valores cercanos a 170 °C según lo confirma Serna, et al. (2013). Con base en los resultados de Barba (2015) indica que cuando se utiliza otro tipo de catalizador como óxido de calcio (CaO) el punto de fusión disminuye a 125,55 °C y con óxido de Zinc (ZnO) el punto de fusión sería a 127,55 °C los cuales presentan puntos de fusión inferiores al Cloruro de Estaño que es el catalizador utilizado en esta investigación. Estos autores reflejan que una de las causas se debe al tipo de interacciones de los óxidos que es más débiles que las iónicas, provocando el aumento de del punto de ebullición según el catalizador.

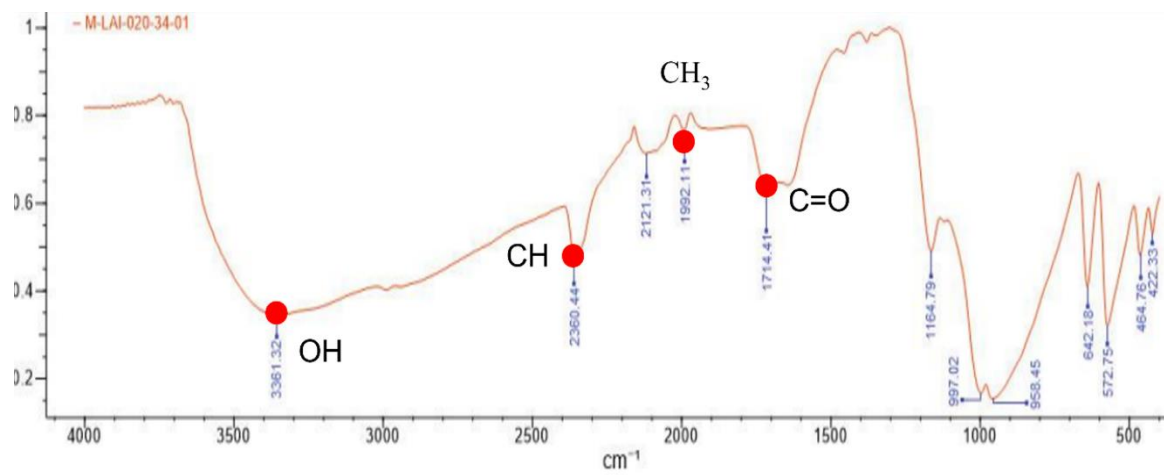
4.2.2 Espectroscopía Infrarroja

Una vez obtenido el ácido poliláctico se realizó el análisis espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), para determinar el espectro del biopolímero obtenido y estableciendo si los picos son característicos de los grupos funcionales del compuesto, en la figura 19 se muestra el espectro IR del ácido poliláctico.

¹ * media \pm Desv. Estándar (n = 3)

Figura 19

Gráfico de Transmitancia vs Número de onda



Con el gráfico obtenido se encontraron los grupos funcionales presente en la muestra, en el rango de 4000 -500 cm^{-1} ; entre estos el grupo carbonilo ($-\text{C}=\text{O}$), se encuentra en un rango de longitud de onda de 1714,41 cm^{-1} , el grupo OH ácido de 3361,32 cm^{-1} , el grupo $-\text{CH}_3$ de 1992,11 cm^{-1} y el grupo $-\text{CH}-$ 2360 cm^{-1} .

Según Troya (2018), Hoyos (2012) & Alomoto & Ormazza (2020) la presencia de estos grupos funcionales es característicos de este tipo de polímeros, pudiendo alcanzar los rangos necesarios para ser considerado polímeros de cadena larga. El informe de resultados se encuentra en el Anexo 1. En la tabla 12 se muestran los rangos de número de onda del PLA estándar, el cual fue empleado para comparar los espectros obtenidos, este presenta picos similares de absorción.

Tabla 12

Número de onda de PLA con catalizador

Número de onda de los picos cm^{-1}		
PLA al 60% H_2SO_4	Grupos funcionales	PLA estándar
3361,32	-OH	2500 - 3600
1714,41	-C=O	1714 - 1750
2360,44	-CH-	1452 – 2997,97
1992,11	-CH ₃	1452,45 -2942

Con base en Alomoto, et al (2020) se menciona al menos 2 grupos funcionales característicos para determinar que se formó un biopolímero, analizando la tabla 12 se observa 4 grupos funcionales de los 2 necesarios como los son: -OH, -C=O, -CH- y -CH₃. A continuación se muestra los rangos de los 2 grupos funcionales.

Rango de 2500 – 3600 cm⁻¹.

En este rango se encuentra un pico característico del grupo funcional OH ácido; indicando que el proceso de polimerización avanza si el valor de transmitancia aumenta.

Rango de 1714 - 1750 cm⁻¹.

Aquí se aprecia la formación del grupo carbonilo (C=O), Sin embargo Zuluaga (2013) afirma que mientras el número de onda se aproxime a la derecha existe formación de un polímero. Como se aprecia en la figura 19.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Mediante el método de apertura de anillo (ROP) de la lactida iniciada por cloruro de estaño II, con equipamiento convencional se logró sintetizar el ácido láctico, obteniendo un oligómero de bajo peso molecular.
- La relación concentración-tiempo de reacción influyó de forma significativa en la ganancia de masa de PLA con un máximo de 60% de ácido sulfúrico
- Se obtuvo un material con características de un biopolímero por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios de pruebas mecánicas y biodegradables al polímero obtenido.
- Estudiar la viabilidad del proceso a escala industrial.

Bibliografía

- García, C., Arrázola, G., & Durango, A. (2010). Producción de Ácido láctico por vía, Biotechnological production of lactic acid . *TEMAS AGRARIOS - Vol. 15:(2)*, 9-26.
- Abdel-Rahman, M. A., Tashiro, Y., & Sonomoto, K. (2011). Lactic acid production from lignocellulose-derived sugars using lactic acid bacteria: overview and limits. *Journal of Biotechnology*, 156(4), 286-301.
- Ajioka, M., Enomoto, K., Suzuki, K., & Yamaguchi, A. (1995). Basic Properties of Polylactic Acid Produced by the Direct Condensation Polymerization of Lactic Acid. *Bull. Chem. Soc. Jpn* 68, 2125-2131.
- Alomoto, Y., & Ormaza, E. (2020). *Obtención de ácido poliláctico (PLA) a partir del ácido láctico mediante el uso del catalizador octoacto de estaño*. Quito.
- Ammor, M. F. (2007). Food Microbiol 24. En *Antibiotic resistance in non- enterococcal lactic* (págs. 559-570).
- Amparo, J. V. (2014). *Optimización del Ácido Poliláctico Mediante Plasma Atmosférico*. Académica Española.
- AOAC: Official methods of analysis. (1990). *Association of official analytical chemists*. Arlington, Virginia: Association of official analytical chemists, Inc. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Auras, R., Lim, L.-T., Selke, S., & Tsuji, H. (2010). *Poly(lactic acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*. Wiley.
- Bai, D., Zhao, X., Li, X., & Xu, S. (2004). Strain improvement of *Rhizopus oryzae* for overproduction of L(+)-lactic acid and metabolic flux analysis of mutants. *Biochemical Engineering* 18(1), 41-48.
- Barba, V. (2015). *Obtención de Poli(Ácido Láctico) a partir de lactosuero de quesería asistido por microondas*. Quito.
- Benítez, C. (2015). *Efecto in vitro del sobrenadante de cultivos de Lactobacillus sp. aislados de la leche materna, sobre el crecimiento Staphylococcus aureus, Escherichia coli y Salmonella sp.* Trujillo, Perú.

- Blanco, E., Loridant, S., & Pinel, C. (2016). Valorization of lactic acid and derivatives to acrylic acid derivatives: review of mechanistic studies. *HAL open science*, 47-62.
- Brito, G., Agrawal, P., Araújo, E., & Mélo, T. (2011). Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.6.2, 127-139 .
- Calvopiña, C., & Manotoa, J. (2020). *Obtención de ácido láctico a partir de lactosuero y almidón de papa mediante fermentación láctica*. Quito.
- Castells, A. (2018). *Evaluación del potencial de ácido láctico mediante cepas de Bacillus subtilis*. Quito.
- Centro de la Industria Láctea del Ecuador. (2015). *LA LECHE DEL ECUADOR*. Quito: Effecto Studio.
- Chahal, S. P. (2000). *Lactic acid*. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Widnes : Croda Colloids Ltd.
- Conesa, J. (2000). *Curso Básico de Análisis Térmico*. España: Club Universitario.
- Coppola, R. S. (2005). Lait 85. En *Antibiotic susceptibility of Lactobacillus rhamnosus strain isolated from Parmigiano Reggiano cheese* (págs. 193-204).
- Cuervo, L. (2020). *Método de Obtención de Ácido Poliláctico (PLA) a partir de suero de queso*. Bogotá D.C.
- Cuervo, L., & Echeverry, J. (2016). *Evaluación de la síntesis de de Ácido Poliláctico proveniente del suero de quesería a nivel de laboratorio*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América.
- Del Angel López, D. (2007). *Estudio y Síntesis en la Producción de Ácido Poliláctico(PLA)*. Altamira, México.
- Del Ángel López, D., Flores Vela, A., Zubiaga Cano, J., García Murillo, A., López Marure, A., & Carillo Romo, F. (2004). *Estudio y Síntesis en la producción de PLA (Ácido Poliláctico)*. Tampico, Tamaulipas.
- Eneque, Y., & Velasquez, L. (2014). *Síntesis de ácido láctico a partir de lactosuero desproteinizado utilizacozndo lactobacillus bulgaris aislado del yogurt*. Lambayeque, Perú.

- Fandiño, J. S. (2014). *Caracterización de un materia compuesto a base de ácido poliláctico (PLA)*. Colombia.
- Florez, G. (2013). *BIOTECNOLOGIA ALIMENTARIA*. Bogotá.
- Gao, C., Ma, C., & Xu, P. (2011). Biotechnological routes based on lactic production from biomass. *Biotechnology Advances* 29(6), 930-939.
- García, C., Arrázola, G., & Villalba, M. (2013). Producción de ácido láctico de lactosuero suplementado utilizando *Lactobacillus casei*. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 136-143.
- Giaroli, G., & Maggioni, A. (2015). *Producción de Poliacidolactico por ROP*. San Rafael, Mendoza.
- Groot, W., Krieken, J. V., Sliekersl, O., & De Vos, S. (2010). Chemistry and production of lactic acid, lactide, and poly(lactic acid). En R. Auras, S. Lim, M. Selke, & H. Tsuji, *Poly(lactic acid) : synthesis, structures, properties, processing, and applications* (pág. 500). Canadá: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Groot, Wim; Van, Jan, Sliekersl, Olay; De Vos, Sico. (2010). Production and purification of lactic and Lactide. *Chemistry and production of lactic and poly(lactic acid)*, 17.
- Hegazi, F. Z.-E. (1987). *Proteolytic activity of crude cell-free extract of Lactobacillus casei and Lactobacillus plantarum*.
- Herryman Munilla, M., & Blanco Carracedo, G. (2005). *Ácido láctico y poliláctico: Situación actual y tendencias*. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Herryman, M., & Blanco, G. (2005). Ácido láctico y poliláctico: Situación actual y tendencias. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XXXIX, núm. 1*, 49-59.
- Hoyos, S. (2012). *Síntesis y Caracterización de Ácido Poli l-láctico de bajo peso molecular para aplicaciones biomédicas*. Santiago de Cali.
- INAMHI. (2018). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- INEC. (2018). *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS*. Obtenido de INEC: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/>

- INEC. (2019). *Boletín Técnico Módulo de Información Ambiental en Hogares- ESPN, 2018*. Quito.
- Jiménez , P., Sibaja , M., & Vega, J. (2012). Síntesis y caracterización de Poli(ácido Láctico) por policondensación directa, obtenido del fermento de desechos agroindustriales de Banano (*Musa acuminata* AAA variedad Cavendish cultivar Gran naine) en Costa Rica. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 13(2), 52-59.
- Korhonen, J. (2010). Lactic Acid Bacteria. En *Antibiotic Resistance of Resistance of Lactic Acid Bacteria* (págs. 24-29). Kuopio (University of Eastern Finland).
- Lee, T. S., Rahmat, A., & Rahman, W. (2012). *Polylactic Acid*. Boston, UK: Elsevier .
- Lee, T. S., Razak Rahmat, A., & Wan AbdulRahman, W. A. (2013). Applications of Poly(lactic Acid). En T. S. Lee, A. Razak Rahmat, & W. A. Wan AbdulRahman, *Polylactic Acid* (págs. 307-327). Elsevier BV.
- Lee, T., Razak Rahmat, A., & Wan AbdulRahman, W. (2013). *Polylactic Acid*. USA: Elsevier.
- López, D. (2007). *Estudio y síntesis en la producción de Ácido Poliláctico (PLA)*. Altamira.
- MAG. (2018). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería : <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php>
- Miller, G., Jarvis, J., & McBean, L. (2006). Whey Products . En G. Miller, J. Jarvis, & L. McBean, *Handbook of dairy foods and nutrition Third edition* (págs. 60-63). CR Press.
- Mohanty, J. N., Das, P. K., Nanda, S., Nayak, P., & Pradhan, P. (2015). Comparative analysis of crude and pure lactic acid produced by *Lactobacillus fermentum* and its inhibitory effects on spoilage bacteria. *The Pharma Innovation Journal*, 38-42.
- Nampoothiri, K., Rajendran Nair, N., & Rojan Pappy, J. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology* 101, 8493–8501.
- Normalización, I. E. (2014). *Plásticos. Determinación del comportamiento en fusión (temperatura de fusión o intervalo de fusión) de polímeros semi-cristalinos mediante los métodos de tubo capilar y del microscopio de polarización. (ISO 3146:2000, IDT)*. Quito: INEN.



- Ojeda, M. (08 de 08 de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de Tecnología de los Plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/poliacido-lactico-pla.html>
- Orozco, C. (1999). *Análisis de algunas características físicas y químicas de un Biopolímero producido por Klebsiella pneumoniae en un proceso de fermentación simple* . México.
- Orozco, F. (2011). *Producción de ácido láctico por medio de fermentación anaerobia y su polimerización a partir de reacciones de apertura de anillo* . Yucatán.
- Orozco, V. W. (2009). «Preparation and characterization of poly(lactic acid)-g-maleic anhydride + starch blends. *Macromolecular Symposia* , 277.
- Pagés, P., Carrasco, F., Gámez, J., Santana, O., & Maspoch, M. (2010). *Procesado del ácido poliláctico (PLA) y nano compuestos PLA/montmorillonita en planta piloto: Estudio de sus cambios estructurales y de su estabilidad térmica* . Catalunya.
- País, J., Nuñez, J., Lara, M., Rivera, L., Trujillo, L., & Cuarán, M. (2017). Valorización del suero de leche: Una visión desde la biotecnología. *Revista Bionatura*, 468-476.
- Parra Huertas, R. A. (2010). Review. Bacterias Ácido Lácticas: Papel funcional en los alimentos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias Vol 8*, 93-104.
- Parzanese, M. (2016). Tecnologías para la Industria Alimentaria. Procesamiento de lactosuero. Ficha N° 13. *Alimentos Argentinos*, 1-9.
- Pinzón, J., Martínez, J., Espinosa, A., Pérez, A., & Narváez, P. (2006). Polimerización de Ácido (DL) Láctico mediante policondensación por fusión directa. Estudio Cinético de la etapa de oligomerización . *Revista Colombiana de Química, Volumen 35, No. 2*, 125-134.
- Plastics Europe. (2019). Plásticos - Situación 2019. *Plastics Europe*, 46.
- Rajeev , M., Vineet, K., Haripada, B., & S. N. , U. (2005). ynthesis of Poly(Lactic Acid): A Review. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 349.
- Ramírez , J., Ulloa, P., Velásquez, M., Ulloa, J., & Arce Romero, F. (2011). Bacterias Lácticas:Importancia en alimentos y sus efectos en la salud . *Revista Fuente Año 2, No 7*, 1-16.
- Ramos, J., & Agurto, T. (2017). Bacterias ácido lácticas. *Biotiempo*, 54-64.

- Real, L. (2013). Industria láctea con mejores condiciones de producción. *Gestión* , 36-39.
- Robalino Puente, J. F. (2017). *Obtención de Ácido Láctico a partir de suero de leche mediante un Proceso Biofermentativo utilizando un cultivo mesófilo homofermentativo*. Quito.
- Rodríguez, E., & Villegas, E. (2010). Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. *Métods y Materiales*2(1), 25-32.
- Rodríguez, E., Salazar, J., & Zuñiga, C. (2016). Comparación de métodos gravimétricos y termogravimétricos para la obtención del porcentaje de residuo de asfalto. *Métodos y Materiales* 4 (1), 3-10.
- Rojas, H., & Vélez, J. (2014). *Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales*. Puebla, México.
- Rosales, A. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta , por el método de polimerización por policondensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua .* Managua .
- Serna , L., Rodríguez, A., & Albán, F. (2013). Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 5(1), , 16-26.
- Serna, L., & Rodríguez, A. (2005). Producción Biotecnológica del Ácido Láctico: estado del Arte. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. Vol 5, 54-65.
- Torres, D., Del Valle, G., Mora, S., & Henao, J. (2016). *Producción de Ácido Láctico*. Bogotá .
- Trang Mai, T. T. (2012). A novel nanofiber Curloaded polylactic acid constructed by electrospinning. *Nanosci. Nanotchnol*.
- Troya, J. (2018). *Estudio para la síntesis de ácido poliláctico(PLA), a partir de ácido láctico mediante el método de policondensación con catalizador y sin catalizador*. Latacunga.
- Troya, J., Rodríguez, R., & Calvache, D. (2018). Síntesis de un polímero biodegradable, como alternativa a los polímeros sintéticos. *ReseachGate*, 201-204.
- Valero, M., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). *Biopolímeros: Avances y perspectivas*. Chía, Colombia .

- Vargas, Y. A., & Pérez, L. I. (2018). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE. *Revista Facultad de Ciencias Básicas Vol. 14 (1)*, 59-72.
- Wee, Y.-J., Kim, J.-N., & Ryu, H.-W. (2006). Biotechnological Production of Lactic Acid and Its Recent Applications. *Food Technol. Biotechnol* , 163-172.
- Wendy , C. (2016). *Estudio de las propiedades termomecánicas del nanocompósito PLA/C30B con distintos pesos moleculares después de ser sometido a condiciones de intemperismo acelerado*. Chihuahua, Chih : cimav.
- Zuluaga, F. (2013). Algunas Aplicaciones del Ácido Poli-L-Láctico. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exaxctas, Físicas y Naturales*, 125-142.
- Zuluaga, F. (28 de 02 de 2013). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *ALGUNAS APLICACIONES DEL ÁCIDO POLI-L-LÁCTICO*. Universidad del Valle, AA 25360, Cali, Bogotá, Colombia .

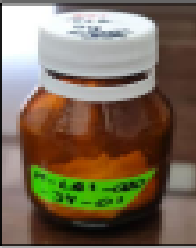
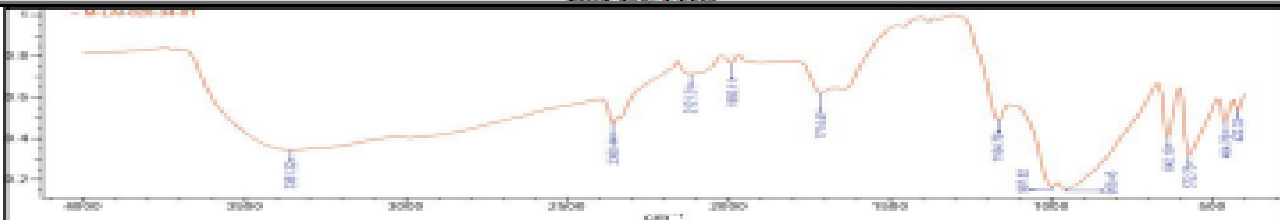


ANEXOS

Anexo 1 Informe resultados del Ácido Poliláctico

	INFORME DE RESULTADOS	Página	1 de 1	
		FPI-7.8-07-01		

SUPLEMENTO INFORME No. I-LAI-020-34

Orden de Trabajo No. DQ-OT0061-2020

INFORMACION CLIENTE				
Cliente / Empresa:	Mishell Rojas		Persona de contacto:	Mishell Rojas
Dirección / Telf.:	Ibarra / 0998877549		E-mail:	mishell.alex@12@gmail.com
PARAMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M-LAI-020-34-01		Fecha de muestreo:	No especificado por el cliente
Muestra:	Acido Poliláctico		Plan de muestreo:	No especificado por el cliente
Tipo de contenedor:	Vidrio		Fecha inicio del ensayo:	20/10/2020
Fecha de recepción:	13/10/2020		Fecha entrega informe:	19/01/2021
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y %HR ambiente:	18.8	°C	51	%
			Norma de referencia:	ASTM E1252 - 98
			Procedimiento interno:	PE-7.2-04-01
RESULTADOS				
LONGITUD DE ONDA (cm ⁻¹)	GRUPO FUNCIONAL	RANGO (cm ⁻¹)	MODO DE VIBRACIÓN	MUESTRA
572.75	Cl-Si-Cl	600-535	Antisimétrico	
642.18	-C-S	700-600	Estiramiento	
958.45	-OH	960-875	Deformación amplia fuera del plano OH, O deformación	
997.02	-CH	1040-995	Doblado en el plano H	
1164.79	-C-OH	1210-1100	Estiramiento	
1714.41	-C=O	1725-1700	Estiramiento	
2360.44	-C=O	2380-2350	Bandas rotacionales antisimétricas de la rama R	
3361.32	-OH	3400-3200	Estiramiento unido por hidrogeno, pico ancho	
ESPECTRO				
				
Gráfico Transmitancia vs Longitud de onda (cm⁻¹)				
DECLARATORIAS	<p>Los ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LAI. Los resultados reportados corresponden únicamente a las hechas ensayadas. El laboratorio no se responsabiliza por la toma ni almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la institución. El muestreo es responsabilidad del cliente y los resultados aplican a las muestras como se recibieron. Queda prohibido la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.</p>			
OBSERVACIONES	<p>Los picos correspondientes a las longitudes de onda 422.33; 464.78; 1992.11 y 2121.31 cm⁻¹ no han sido identificados ya que no corresponden a grupos funcionales provenientes del ácido láctico y no se puede asegurar que la longitud de onda a la que se absorben sean de los compuestos añadidos en forma pura de acuerdo a la técnica de FTIR. Debido a la emergencia sanitaria, tanto el LAI como toda la EPN ha retomado las actividades semipresenciales a partir del 20 de julio del 2020, por tal motivo se ha extendido el plazo de entrega del presente informe a partir de la recepción de las muestras. Se envía suplemento del informe I-LAI-020-34 por solicitud del cliente, ya que requiere el Espectro de la muestra con eje de Transmitancia en lugar de Absorbancia.</p>			
Elaborado por:	 ELIANA LIZETH PEÑA Ing. Eliana Peña	Revisado por:	 GABRIELA PÉREZ Ing. Gabriela Pérez	
	ANALISTA DE LABORATORIO		RESPONSABLE TÉCNICA (S)	