

Instituto tecnológico superior de Calkiní

Laboratorio de biología molecular

“Ácido láctico a partir de semillas de aguacate para la posible síntesis de PLA”

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA BIOQUÍMICA

EGRESADO:

CARLOS ENRIQUE HAAS EK

DIRECTOR Y CO-DIRECTOR

Dr. Mario Adrián De Atocha Dzul Cervantes

Dr. Óscar Fernando Pacheco Salazar

Calkiní, Campeche, México 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante

Calkiní, Campeche **45727**
P/03/25/704
INGENIERÍA BIOQUÍMICA

CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

MODALIDAD: **TESIS**

C. CARLOS ENRIQUE HAAS EK 7344
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA BIOQUÍMICA.
PRESENTE

Con relación a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Licenciatura, capítulo VII, fracción I, vigente en este Instituto, y una vez emitido el fallo favorable por el director DR. MARIO ADRIAN ATOCHA DZUL CERVANTES, y el co-director DR. ÓSCAR FERNANDO PACHECO SALAZAR, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"ÁCIDO LÁCTICO A PARTIR DE SEMILLAS DE AGUACATE PARA LA POSIBLE SÍSTESIS DE PLA"**.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Sabiduría, Fortaleza de Nuestra Cultura®

Dr. Jorge Alfonso Hau Puc.
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante.

C.c.p. Archivo


INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE CALKINÍ
"DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y APOYO A
ESTUDIANTES"
CLAVE: 04MSU0013P
CALKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO.



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche,
C.P. 24900 Tel. 996-8134870,
e-mail: se_calkini@tecnm.mx | itescam.edu.mx



DEDICATORIA.

A mi Familia, quienes por ellos soy lo que soy, por su apoyo incondicional, sus consejos, comprensión y sobre todo su amor, por estar en los momentos difíciles y deseándome siempre éxitos para lograr mis objetivos sin mirar atrás.

A mi padre, por brindarme su apoyo desde el primer día, tanto monetario como moral sus consejos que han sido los mejores.

A mi madre por ser un pilar fundamental durante toda mi vida apoyándome con un espíritu alentador

A mis hermanos Diego, Luis y mi hermanita querida Daniela que me acompañaron en esta vida y por ser un apoyo incondicional durante a lo largo de mi vida, también a mi hijo Enrique por darme esa motivación de seguir adelante en los momentos difíciles.

Agradecimientos.

Agradezco al Instituto Tecnológico Superior De Calkiní por brindarme excelentes instalaciones y equipos con los cuales pude llevar a cabo mi trabajo de investigación.

Al Dr. Mario Adrián De Atocha Dzul Cervantes por la oportunidad de trabajar junto y brindarme su apoyo al igual su asesoría.

Agradezco a Dios por guiarme por el camino correcto, darme fuerzas para seguir adelante y cumplir con esta meta. A mis padres el Sr. Joel Enrique Haas Haas, Sra. Martha Alicia Ek Huchin

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES	13
1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARA Y LA SEMILLA	13
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	17
2.1.1 BIOPOLÍMEROS	17
2.1.2 DEGRADACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS	18
2.1.3 POLI (ÁCIDO LÁCTICO) Y SUS APLICACIONES BIOMÉDICAS	19
2.1.4 BIO-PLÁSTICO A PARTIR DE LA SEMILLA DEL AGUACATE	20
2.1.5 SEMILLA DE AGUACATE.....	21
2.1.6 PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO	21
ÁCIDO LÁCTICO	21
A. Polimerización directa de condensación:	22
B. condensación deshidratante azeotrópica:.....	23
C. polimerización a través de la formación de láctica:.....	23
2.1.7 FUENTES DE CARBONO PARA LA FERMENTACIÓN	24
2.1.8 PROPIEDADES FITOQUÍMICAS DEL ÁCIDO LÁCTICO	26
2.1.9 PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.....	27
2.1.10 RECUPERACIÓN Y PURIFICACIÓN.....	28
2.1.11 ASPECTOS GENERALES	28
2.1.12 ESPECTROMETRÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADAS DE FOURIER (FTIR).....	29
2.1.13 ESPECTROSCOPÍA MOLECULAR.....	29
2.1.15 ESPECTROSCOPIA	30
2.1.16 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN ELEMENTAL Y ESTRUCTURAL PARA POLÍMEROS.....	31
CAPITULO 3 JUSTIFICACIÓN	32
3.1.1 ALCANCES Y LIMITACIONES.	32
ALCANCE DEL PROYECTO.	32
LIMITACIONES.	33
4. HIPOTESIS	33

5. OBJETIVO GENERAL	33
CAPÍTULO 6 MATERIALES Y MÉTODOS	34
6.1.1 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	35
6.1.2 MATERIA PRIMA	36
RECOLECCIÓN DE MUESTRA, SEMILLA DE AGUACATE (PERSEA AMERICANA)	36
6.1.3 PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA Y EQUIPO	36
6.1.4 LAVADO	37
6.1.5 SECADO	37
6.1.6 PRETRATAMIENTO DE EQUIPO	38
6.1.7 TRITURADO	39
6.1.8 PESADO	40
6.1.9 MEZCLADO	40
6.1.10 CALENTAMIENTO	41
6.1.11 ENFRIAMIENTO	42
6.1.12 FILTRACIÓN	43
6.1.13 ADICIÓN DE CELULOSA EN LA MUESTRA	44
6.1.14 ESTERILIZACIÓN	46
2.15 INOCULACION	47
6.1.16 NUTRIENTES	48
6.1.17 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ÁCIDO LÁCTICO CONDICIONES DE FERMENTACIÓN	49
6.1.18 ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	49
6.1.19 MONITOREO DEL PROCESO	49
6.1.20 ACIDEZ TITULABLE	50
CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	53
7.1.1 ESPECTROSCOPIA FTIR	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	60

Índice Tablas.

Tabla 1. Antecedentes de la investigación	16
Tabla 2. Propiedades de la semilla de aguacate	21
Tabla 3. Propiedades Fisicoquímicas Del Ácido láctico	27
<i>Tabla 4 Materiales y Equipos</i>	<i>34</i>
Tabla 5 Monitoreo de pH.....	50
Tabla 6. Cantidades de las muestras analizadas	51
<i>Tabla 7. Proceso de muestra (temperatura y tiempo) (b).....</i>	<i>53</i>
Tabla 8 proceso de incubación.....	55
Tabla 9 Resultado de obtención de pH y acides láctica.....	56

ÍNDICE FIGURAS.

<i>Figura 1 Fórmula química de PLA (R. Auras et al., 2004)</i>	14
<i>Figura 2 Degradación térmica</i>	18
<i>Figura 3. Ácido L(+) láctico a la izquierda y ácido D(-) láctico a la derecha. C* es el carbono asimétrico de la molécula de ácido láctico.</i>	22
<i>Figura 4. Esteros isómeros de lactida (Li et al., 2020)</i>	23
<i>Figura 5 Reacción de polimerización de PLA mediante apertura de anillo (ROP)</i>	24
<i>figura 6. Espectrometría Infrarroja Por FTIR</i>	29
<i>Figura 7 Espectro vibracional de una molécula</i>	30
<i>Figura 8 Diagrama experimental</i>	35
<i>Figura 9. Ubicación</i>	36
<i>Figura 10. Recolección de materia</i>	36
<i>Figura 11 secado de las semillas en horno de secado de la marca Novatech, NOT-HS35-AID</i>	38
<i>Figura 12 desmontaje y lavado de equipo de trituración</i>	39
<i>Figura 13 demoledora (trituración de semilla) partícula de aproximadamente 1-5 mm.</i>	40
<i>Figura 14 proceso de disoluciones</i>	41
<i>Figura 15 proceso de calentamiento por medio de placa y mosquita</i>	42
<i>Figura 16 separación de suero y residuos homogénea</i>	43
<i>Figura 17 filtración con malla #200 y Bomba de vacío</i>	44
<i>Figura 18 muestra de aguacate</i>	44
<i>Figura 19 La fermentación se realizó por triplicado para cada cepa en una incubadora con agitación Zhicheng ZHWY-200B a (t) inicial de 36.8 °C con una agitación de 60 rpm.</i>	45
<i>Figura 20 proceso de hidrolisis</i>	46
<i>Figura 21 Proceso de filtración por medio de bomba de vacío para obtener suero y separar los residuos homogéneo</i>	46
<i>Figura 22 Desinfección por medio de autoclave</i>	47
<i>Figura 23 vertido y resguardo de la muestra</i>	48
<i>Figura 24 Pesado del Estabilizador para mejorar la textura y calidad de los productos</i>	48
<i>Figura 25 Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)</i>	49
<i>Figura 26 Formula general de acides</i>	51
<i>Figura 27 Deshidratación de la materia</i>	54
<i>Figura 28 FTIR spectrum for lactic acid standard (A) and FTIR spectra for media (B)</i>	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 formula para la obtener de acides láctica.....	55
Ecuación 2 resultado de muestra de acides # 1	56
Ecuación 3 resultado de muestra de acides # 2	56
Ecuación 4 resultado de muestra de acides # 3	56

RESUMEN.

El poli (ácido láctico) es un material con un gran potencial para revolucionar la fabricación de prótesis externas debido a su biocompatibilidad, capacidad de personalización y propiedades sostenibles. Lo cual no solo mejora la calidad de vida de los pacientes, sino que también contribuye a la reducción del impacto ambiental. Además, su bajo costo en comparación con otros materiales protésicos y su capacidad para descomponerse naturalmente sin dejar residuos tóxicos lo hacen especialmente atractivo en este campo. La ventaja de ser biodegradable es lo que lo hace más ecológico en comparación con otros plásticos derivados del petróleo. Además, es biocompatible, lo que significa que puede ser utilizado en contacto con el cuerpo sin causar reacciones adversas.

El ácido láctico puede ser sintetizado a partir de recursos renovables como por ejemplo el maíz, la caña de azúcar y semillas de aguacate, a través de la polimerización del ácido láctico, un compuesto obtenido mediante la fermentación de carbohidratos. Por otra parte, se ha convertido en un material de gran interés en la industria médica, especialmente en la fabricación de dispositivos y prótesis externas, debido a su naturaleza sostenible y sus propiedades físicas favorables.

ABSTRACT

Polyacid (lactic acid) is a material with great potential to revolutionize the manufacturing of external prostheses due to its biocompatibility, customizability and sustainable properties. Which not only improves the quality of life of patients but also contributes to reducing environmental impact. Furthermore, its low cost compared to other prosthetic materials and its ability to decompose naturally without leaving toxic residues make it especially attractive in this field. The advantage of being biodegradable is what makes it more environmentally friendly compared to other petroleum-based plastics. In addition, it is biocompatible, which means that it can be used in contact with the body without causing adverse reactions.

Lactic acid can be synthesized from renewable resources such as corn, sugar cane and avocado seeds, through the polymerization of lactic acid, a compound obtained through the fermentation of carbohydrates. On the other hand, it has become a material of great interest in the medical industry, especially in the manufacture of devices and external prostheses, due to its sustainable nature and favorable physical properties.

INTRODUCCIÓN.

El poli (ácido láctico) un polímero biodegradable que ha ganado una gran relevancia en los últimos años debido a sus aplicaciones en diversas áreas, incluyendo la fabricación de prótesis externas. El poli (ácido láctico) se obtiene principalmente a través de la fermentación de recursos renovables como el maíz o la caña de azúcar, lo que lo convierte en una alternativa sostenible frente a los polímeros derivados del petróleo. En los procesos de síntesis del ácido láctico implican la polimerización de monómeros de ácido láctico, los cuales se pueden obtener mediante la fermentación bacteriana de carbohidratos. Existen dos métodos principales para la producción de ácido láctico: la polimerización por condensación y la polimerización por apertura de anillo (ROP, por sus siglas en inglés). La segunda es la más común y efectiva, ya que permite obtener polímeros con un peso molecular mayor y mejores propiedades mecánicas. (Bassani, 2019)

Una de las principales características del ácido láctico es su capacidad para ser procesado mediante técnicas convencionales de fabricación como la extrusión, el moldeo por inyección y la impresión 3D, lo que facilita su uso en una amplia variedad de aplicaciones industriales y en la aplicación del ácido láctico en Prótesis Externas es el campo que ofrece una solución innovadora por su combinación de ligereza, rigidez y biocompatibilidad. Estas características son clave para la creación de prótesis que no solo sean funcionales, sino también cómodas para los usuarios. Además, la biodegradabilidad del ácido láctico reduce el impacto ambiental en comparación con otros materiales sintéticos tradicionalmente utilizados en la fabricación de prótesis. (García, 2020)

Las prótesis hechas de ácido láctico pueden ser personalizadas mediante impresión 3D, permitiendo una adaptación precisa a las necesidades y características físicas de cada usuario. Esta capacidad de personalización mejora tanto la estética como la funcionalidad de las prótesis, lo que se traduce en una mejor calidad de vida para los pacientes (S, 2019).

Bajo esta premisa, se identificó en la semilla de aguacate (*persea americana*) como una posible fuente de ácido láctico, lo que representa una oportunidad para ampliar el conocimiento en esta área representa un espacio para explorar nuevas perspectivas, adquirir habilidades adicionales y enriquecer la comprensión de conceptos clave que impulsan.

El propósito principal de este estudio es la extracción de ácido láctico y su análisis a través de técnicas fisicoquímicas, como la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), su rendimiento y su acidez titulable, y así determinar su potencial para diversas aplicaciones.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

El cuidado del medio ambiente en la actualidad es una realidad que se debe afrontar, por lo tanto, existe la necesidad de producir bioplásticos de fuentes renovables que contribuyan con dicho fin. Las investigaciones están enfocadas en obtener materiales amigables y que sustituyan los materiales obtenidos de fuentes de petróleo o gas, ya que estos representan una problemática marcada que está deteriorando el planeta. (Vijayakumar, 2020). En este contexto, no solo se busca producir bioplásticos, sino que se lo haga de una manera más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, y una de las principales opciones ha sido usar recursos agrícolas como cáscaras de ciertos alimentos como la semilla de aguacate, las cáscaras de materia prima para la fabricación de estos elementos (Rajesh et al., 2024).

El ácido poliláctico, es un poliéster alifático termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. El ácido láctico presenta una rigidez similar al polietileno (PS), o el poli tereftalato de etilo (PET) que normalmente deriva de recursos renovables que son tan fácilmente biodegradables como por ejemplo productos como el almidón de maíz, tapioca, remolacha azucarera o caña de azúcar, almidones de arroz, trigo y patata. Dado esto, puede ser degradado en dióxido de carbono y agua por la acción de hongos adecuados (Ren et al., 2019).

1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARA Y LA SEMILLA

El aguacate contiene aproximadamente un 80% de agua y fibra dietética, y a diferencia de otras frutas, es bajo en azúcar (Q.-Y., 2005). La composición de las semillas es la siguiente: 52,7% a 54.1% de humedad, 1.2% de ceniza, 2.4% a 2.5% de proteína, 42.5% de extracto libre de nitrógeno, 27.5% de carbohidratos y 0.5% de grasa (Tango, 2004). Las cáscaras de aguacate tienen una composición que muestra rangos de 65.7% a 76.9% de humedad, 0.75% a 1.6% de ceniza, 1.51% a 6.3% de proteína, 2.89% a 11.04% de lípidos totales, 20.8% de extracto libre de nitrógeno y de 6.85% a 56.9% de fibra (Gondim, 2005).

Una de la ventaja importante del proceso biotecnológico es la posibilidad de utilizar una gran variedad de sustratos orgánicos ricos en carbohidratos como melazas, suero de leche, almidón, etc. Uno de los residuos de mayor interés para la obtención de ácido láctico es el suero de leche, mayoritario en la industria dedicada a los procesos de la leche, que contiene lactosa, proteínas, grasas y sales minerales, con deficiencia de nitrógeno peptídico por lo que comúnmente se le adiciona extracto de levadura. (S, 2019)

Hoy en día, el ácido láctico se utiliza como monómero para la producción de ácido láctico que tiene amplia aplicación como plástico biodegradable. Este tipo de plástico es una buena opción para la sustitución de plástico convencional producido a partir de aceite de petróleo debido a la baja emisión de dióxido de carbono que contribuye al calentamiento global (Ren et al., 2019) y sin necesidad de rediseñar productos o ejecutar grandes inversiones en nuevos equipos de proceso (Galactic Laboratories, 2018). Teniendo en cuenta esto, el consumo de ácido láctico en 2007 fue de alrededor de 60 mil toneladas y, hasta el momento, sólo el 30% del ácido láctico producido se utiliza para fabricar ácido láctico. (Yao K., 2013)

El ácido láctico es un polímero versátil, reciclable y compostable (al menos alguno de sus grados), con alta transparencia, alto peso molecular y fácilmente procesable.

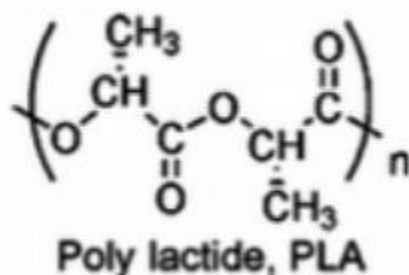


Figura 1 Fórmula química de PLA (R. Auras et al., 2004)

Esta estructura representa un carbono asimétrico, por lo que existen dos estereoisómeros D y L, siendo el L el que se obtiene de forma natural. Dependiendo de la relación de los enantiómeros L y D, las propiedades de PLA pueden variar considerablemente obteniéndose muy variados pesos moleculares y estructuras desde semicristalinas hasta amorfas. En general, el PLA comercial es un

copolímero entre poli(ácido L-láctico) y poli (ácido D-láctico) con mayor contenido en el primero (R. Auras et al., 2020).

Tabla 1. Antecedentes de la investigación

Autor	Año	Tema	Tipo de investigación	Contenido
Mantilla et al.	2018	Extracción y caracterización de almidón de semillas de Persea americana Mill. (Palta) Var. Fuerte, Hass y Criolla	Tesis	Extracción de almidón vía húmeda
Zhang et al.	2019	Efecto del grado de polimerización de la amilopectina sobre las propiedades de gelatinización del almidón de semilla de yaca	Artículo científico	Preparar cinco almidones de yaca gelatinizados empleando amilosa mezclada con cinco tipos de amilopectina
Zhang et al.	2020	El mecanismo de digestión del almidón de semilla de yaca utilizando tecnología mejorada de cocción por extrusión	Artículo científico	Investiga los mecanismos de digestión de EJFSS, se estudiaron las características estructurales del almidón de digestión lenta (SDS) y las fracciones de almidón resistente (RS)
Priyatharishini & Mokhtar	2020	Rendimiento del coagulante de cáscara de yaca (Artocarpus heterophyllus) en la reducción de la turbidez bajo diferentes ph de aguas residuales	Artículo científico	Describe el efecto del pH en el proceso de coagulación mediante el uso de yaca (Artocarpus heterophyllus) pelar como coagulante

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1.1 BIOPOLÍMEROS

El uso generalizado de polímeros sintéticos está ocasionando graves problemas ambientales a nivel mundial, ya que representan entre el 30% y el 40% de los residuos generados en los municipios. Estos plásticos, debido a su resistencia y durabilidad, no se descomponen fácilmente, lo que resulta en una acumulación masiva de residuos que afecta a los ecosistemas, contamina los cuerpos de agua y contribuye al cambio climático. Ante esta situación, se están realizando esfuerzos a gran escala para desarrollar alternativas más sostenibles, como los polímeros biodegradables, que puedan reemplazar a los plásticos convencionales en aplicaciones comunes como empaques de alimentos, bolsas de basura y otros productos de uso cotidiano. (Alarcón, 2014)

El empleo de polímeros biodegradables, como el almidón, se presenta como una opción prometedora debido a su bajo costo, su abundancia natural y su capacidad para descomponerse rápidamente en el medio ambiente, reduciendo así el impacto ecológico. En particular, la obtención de estos polímeros a partir de recursos vegetales como la yuca, la papa y el maíz no solo ofrece una solución ecológica, sino que también abre nuevas oportunidades para el desarrollo empresarial y el fomento de prácticas agrícolas sostenibles. Sin embargo, es fundamental llevar a cabo un análisis detallado de estos recursos desde una perspectiva socioeconómica, para evaluar su viabilidad y el impacto que su producción podría tener en las comunidades locales y en la economía en general. Además, es crucial caracterizar los polímeros biodegradables derivados de estos recursos naturales, evaluando sus propiedades físicas y químicas para determinar su idoneidad en diversas aplicaciones.

Comparar estos polímeros con los plásticos tradicionales permitirá identificar sus ventajas y limitaciones, y establecer criterios claros para su uso eficiente en sectores específicos. En este sentido, los avances en la investigación y el desarrollo de polímeros biodegradables no solo buscan mitigar el daño ambiental causado por los plásticos convencionales, sino también promover una transición hacia una economía circular más sostenible, que aproveche los recursos naturales de manera responsable y contribuya al bienestar global. (Alarcón, 2014)

2.1.2 DEGRADACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS

Los biopolímeros son materiales que poseen la capacidad de ser descompuestos por diversos microorganismos, lo que les permite ser asimilados y degradados de manera natural. Debido a sus propiedades, se les conoce como biodegradables, ya que su descomposición ocurre en períodos de tiempo relativamente cortos, que van desde semanas hasta meses. Estos materiales se obtienen a partir de sistemas biológicos como plantas, animales y microorganismos, o mediante la síntesis química de materiales renovables. Además, se ha comprobado que los biopolímeros no presentan efectos tóxicos para el ser humano, lo que los convierte en materiales biocompatibles, aptos para su uso en diversas aplicaciones sin riesgo para la salud (Velázquez, 2015)

Existen varias vías de degradación de los polímeros, entre las cuales se destacan:

Degradación térmica: Este proceso ocurre cuando el polímero se expone a altas temperaturas, lo que provoca cambios químicos en su estructura. Comúnmente, la degradación térmica se presenta junto con la degradación oxidativa, especialmente cuando el material está en presencia de oxígeno. El aumento de temperatura provoca la ruptura de enlaces covalentes o de grupos funcionales dentro del polímero.



Figura 2 Degradación térmica

Degradación oxidativa: Este tipo de degradación suele ocurrir de manera simultánea con otros mecanismos, como la degradación térmica. En este proceso, el oxígeno activo ataca el polímero, generando radicales libres que inician reacciones de degradación secundaria.

Degradación hidrolítica: Similar a la degradación oxidativa, la degradación hidrolítica también se presenta junto con otros procesos de degradación, como la biodegradación. En este caso, el agua actúa como agente que rompe las cadenas del polímero.

Foto degradación: Este proceso implica los cambios físicos y químicos que experimenta un polímero al ser irradiado por diferentes tipos de luz dentro del espectro electromagnético, como los rayos ultravioletas (entre 280 y 400 nm), la luz visible (entre 400 y 700 nm), rayos X, rayos β o rayos γ . La radiación induce modificaciones que afectan tanto la estructura física como química del material.

Estas diversas formas de degradación son fundamentales para comprender cómo los biopolímeros pueden ser diseñados y gestionados de manera eficiente en aplicaciones donde la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental sean prioritarias.

2.1.3 POLI (ÁCIDO LÁCTICO) Y SUS APLICACIONES BIOMÉDICAS

El poli (ácido láctico) (PLA) es un biopolímero derivado del ácido láctico, que se obtiene principalmente a partir de fuentes renovables como el maíz y la caña de azúcar. Este polímero tiene características que lo hacen particularmente adecuado para aplicaciones biomédicas, ya que es biodegradable, biocompatible y puede ser degradado de manera controlada en el cuerpo humano. Gracias a estas propiedades, el PLA se ha convertido en un material clave en la fabricación de dispositivos médicos y en tratamientos relacionados con la salud.

Una de las aplicaciones más destacadas del PLA en el ámbito biomédico es su uso en la fabricación de implantes y dispositivos médicos biodegradables, como *stents*, placas y tornillos ortopédicos. Estos dispositivos, una vez implantados en el cuerpo, se degradan gradualmente sin necesidad de cirugía adicional para su retirada, lo que reduce el riesgo de infecciones y mejora la comodidad

del paciente. El PLA también se utiliza en la liberación controlada de fármacos, donde se emplea en la producción de microesferas y nanopartículas que permiten liberar medicamentos de forma sostenida y dirigida. Este sistema de liberación controlada es especialmente útil en el tratamiento de enfermedades crónicas y en terapias de quimioterapia, ya que mejora la eficacia del tratamiento y reduce efectos secundarios.

Otro campo relevante es el de las suturas y material de cierre de heridas. El PLA es ideal para producir suturas que se disuelven naturalmente en el cuerpo, evitando la necesidad de retirarlas, lo que facilita la recuperación del paciente y reduce el riesgo de complicaciones. Además, el PLA se utiliza en la ingeniería de tejidos, donde actúa como un andamiaje para el crecimiento celular. Los andamios hechos de PLA proporcionan un soporte temporal que permite a las células crecer y formar nuevos tejidos, lo que es esencial en la regeneración de órganos y tejidos dañados.

El uso de PLA en el campo biomédico ofrece una alternativa más sostenible y segura a los materiales plásticos tradicionales, especialmente por su capacidad de descomposición sin causar efectos adversos en el organismo. No obstante, aún existen retos, como el control de la velocidad de degradación y la optimización de sus propiedades mecánicas para aplicaciones específicas.

2.1.4 BIO-PLÁSTICO A PARTIR DE LA SEMILLA DEL AGUACATE

En el 2015 Scott Munguía de México propietario de la empresa Biofase alumno del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey saco un biopolímero no derivado del petróleo ni fuentes del maíz; sacado a partir de los residuos de la semilla del aguacate, tiene la función de cualquier otro plástico con la diferencia de que se regenera más rápido aproximadamente en doscientos cincuenta días. Este proyecto resulto siendo muy rentable por su propuesta innovadora ya que México es el principal cultivador de aguacate; a partir de este estudio se observó que en México son desechados 300 toneladas de aguacate arrojados al vertedero. “Primero es la extracción, luego un proceso que modifica químicamente el biopolímero y finalmente pasa por un proceso de transformación de biopolímero a plástico biodegradable”, explicó Scott Munguía (Bonilla, 2019)

2.1.5 SEMILLA DE AGUACATE

Alrededor del 15 al 18 % del peso total del aguacate equivalen a la semilla, el uso de semillas de aguacate como fuente de nuevos biopolímeros puede contribuir al conocimiento existente sobre el almidón de diferentes fuentes. En consecuencia, han existido investigaciones sobre el almidón de las semillas de aguacate debido a la abundancia de esta planta, su alto rendimiento de fruto, así como la caracterización y utilización de una nueva fuente de almidón a partir de este subproducto. caracterizaron el almidón de semilla de aguacate dando como resultado que la semilla de aguacate tiene alto potencial como fuente de almidón y pigmento, este contenido de almidón lo convierte en materia prima para la fabricación de bioplásticos (Chapuel et al., 2019).



Figura 1 Almidón de Aguacate

Tabla 2. Propiedades de la semilla de aguacate

Materia Prima	Almidón %	Amilosa %	Amilopectina%	Ceniza %
Semilla aguacate	67,695	32,473	35,320	1,013

Fuente:(Chapuel et al., 2019, p.7).

Realizado por: Armijos, Andrea, 2021.

2.1.6 PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO

ÁCIDO LÁCTICO

El ácido láctico tiene una larga historia en el uso de fermentación y preservación de alimentos, se descubrió en 1780 por el químico Scheele, quien inicialmente lo consideró como un componente de la leche, lo cual en 1789 Lavoisier lo llamó "acide lactique", posible origen de la actual terminología para ácido láctico. Pasteur descubrió que no es un componente de la leche, sino un

metabolito generado por la fermentación realizada por ciertos microorganismos, lo que llevó a Femy a producirlo mediante la fermentación de carbohidratos como la sacarosa, lactosa, manitol, almidón y dextrosa⁶ Para 1881, se comenzó la primera producción comercial de ácido láctico mediante un proceso microbiano en Estados Unidos de América (García, 2020)

El ácido láctico (ácido 2-hidroxiopropanóico), con fórmula $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$, es uno de los ácidos hidroxicarboxílicos más comunes. Este ácido carboxílico es producido por animales, plantas y microorganismos de dos formas ópticamente activas, como se observa en la (ilustración 2), la D(-) levorrotatoria y la L(+) dextrorrotatoria, ambos isómeros existen en los sistemas biológicos, generalmente el obtenido por fermentación es una mezcla racémica (formas D y L)⁹, Soccol et al.¹⁰ reportaron que el isómero más importante en la industria de los alimentos es el L(+), ya que sólo éste lo asimilan los humanos mediante la producción de la enzima L-lactato deshidrogenasa

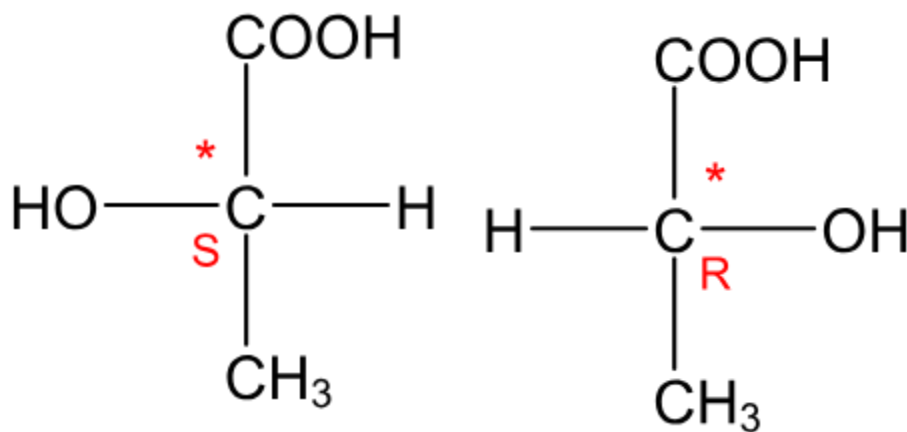


Figura 3. Ácido L(+) láctico a la izquierda y ácido D(-) láctico a la derecha. C es el carbono asimétrico de la molécula de ácido láctico.*

Existen tres métodos de polimerización para la obtención de PLA de alto peso molecular.

- polimerización directa de condensación
- condensación deshidratante azeotrópica
- polimerización a través de la formación de láctica

A. Polimerización directa de condensación:

El ácido láctico es polimerizado mediante condensación debido a la presencia de grupos hidroxilo y carbonilo. Aunque es la vía más sencilla y económica, no tiene aplicación industrial ya que el PLA obtenido es de bajo peso molecular.

B. condensación deshidratante azeotrópica:

Mediante esta vía, se obtiene PLA de alto peso molecular sin la necesidad de emplear agentes de acoplamiento. Para ello, se emplean grandes cantidades de catalizador para aumentar la velocidad de reacción. Los residuos del catalizador, pueden ser un inconveniente ya que pueden causar problemas posteriores, como, por ejemplo: la degradación no deseada, velocidades incontroladas o incluso toxicidad que hace que no se pueda emplear para aplicaciones médicas. Para evitar estos problemas, se puede desactivar el catalizador mediante la adición de ácidos o por precipitación y filtración.

C. polimerización a través de la formación de láctica:

Podría decirse que es la vía que más se utiliza actualmente para producir PLA comercial de alto peso molecular. Este método, consiste en la despolimerización catalítica de PLA de bajo peso molecular intermedio en condiciones de baja presión en una mezcla de L-lactida, D-lactida y meso-lactida. El porcentaje de estereoisómeros de láctica formados depende del estereoisómero de ácido láctico obtenido en la fermentación de dextrosa, la temperatura y el catalizador.

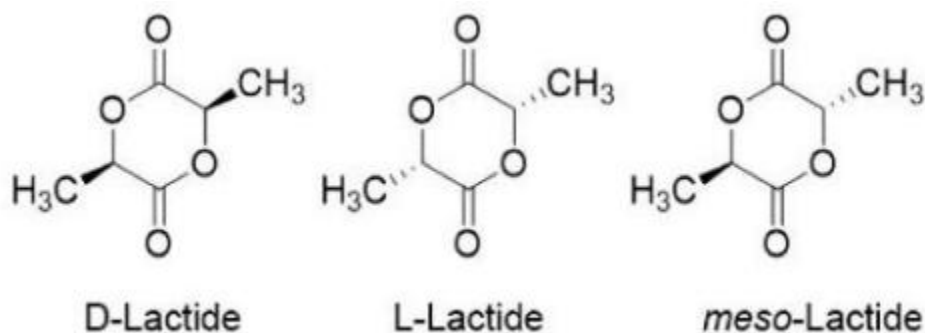


Figura 4. Esteros isómeros de lactida (Li et al., 2020)

Posteriormente, se obtiene PLA de alto peso molecular mediante la apertura del anillo de la lactida (ROP) por dos vías: de forma catiónica, si se inicia la polimerización bien con ácido trifluorometanosulfónico (ácido triflico) o con triflato de metilo; o de forma aniónica, si se inicia con bases como el benzoato de potasio. Los catalizadores comúnmente utilizados para la polimerización de lactida son sales metálicas de aluminio y estaño. La diferencia entre ambos reside en que los catalizadores basados en estaño son mejores catalizadores de transesterificación, más estables hidrolíticamente y más fáciles de usar en el proceso de polimerización. El proceso no genera agua y, por lo tanto, se puede lograr una amplia gama de pesos moleculares mediante el procedimiento. (Vijayakumar, 2020)

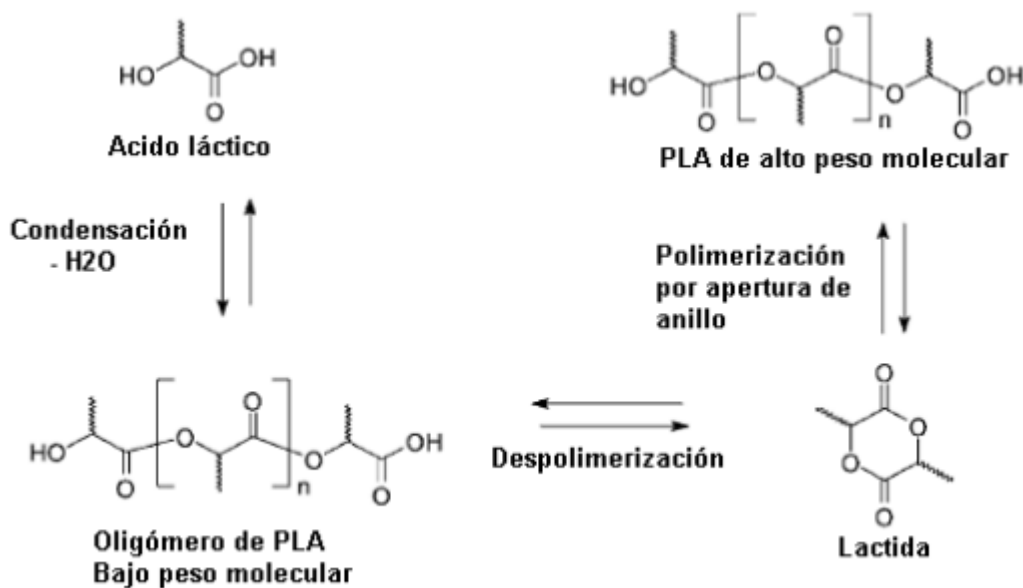


Figura 5 Reacción de polimerización de PLA mediante apertura de anillo (ROP)

2.1.7 FUENTES DE CARBONO PARA LA FERMENTACIÓN

El ácido poliláctico presenta muy buenas perspectivas de mercado y un valor comercial excelente, con una gama de aplicaciones que van desde un uso industrial hasta el civil. El interés de producir en masa dicho producto, se debe en parte a sus buenas propiedades. Posee buenas características en cuanto a brillo, transparencia, tacto, resistencia al calor (puede soportar temperaturas de 110°C) y un alto módulo de elasticidad y alta dureza.

Tiene suficiente estabilidad térmica para retardar la degradación (que depende del tiempo, la temperatura, las impurezas de bajo peso molecular y la concentración de catalizador) (Abdel-Rahman et al., 2013) y mantener el peso molecular y el rendimiento. A temperaturas superiores a 200 ° C, el ácido poliláctico sufre hidrólisis, recombinación de lactida, escisión oxidativa de la cadena principal y transesterificación intermolecular o intramolecular. Tanto las propiedades ópticas como las mecánicas del PLA van a depender de la relación y distribución de los isómeros, la temperatura de procesado, el tiempo de recocido y del peso molecular del polímero (R. Auras et al., 2020).

Propiedades: El PLA posee buenas propiedades mecánicas, transparencia y capacidad de biodegradación en condiciones adecuadas. Su temperatura de fusión está entre 150 y 180 °C, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones, incluyendo empaques, textiles y productos médicos.

Aplicaciones: Su uso se extiende a envases, productos desechables, componentes de ingeniería y aplicaciones en la medicina, como suturas y dispositivos de liberación controlada de fármacos.

Fuentes de Ácido Láctico

Producción: El ácido láctico se puede producir a través de la fermentación de azúcares por bacterias lácticas. Las semillas de aguacate son ricas en carbohidratos y compuestos fenólicos, lo que las convierte en una fuente potencial para la obtención de azúcares fermentables.

Semillas de Aguacate: Son un subproducto de la industria alimentaria, generalmente desechado, y contienen una cantidad significativa de almidón y otros compuestos que pueden ser fermentados para producir ácido láctico.

Proceso de Síntesis

Extracción de Azúcares: Se lleva a cabo la extracción de almidón y azúcares de las semillas de aguacate mediante tratamientos físicos y químicos, como la molienda, el calentamiento y el uso de enzimas (amilasas).

Fermentación: Los azúcares extraídos se someten a un proceso de fermentación utilizando cepas específicas de bacterias lácticas (por ejemplo, *Lactobacillus*) para producir ácido láctico.

Polimerización: El ácido láctico producido se puede polimerizar mediante varios métodos, como la polimerización por condensación o por anillo abierto, para formar PLA. En la polimerización por condensación, el ácido láctico se convierte en PLA mediante la eliminación de agua.

Sostenibilidad y Biodegradabilidad

Uno de los Beneficios Ambientales es la utilización de semillas de aguacate no solo ayuda a reducir residuos, sino que también promueve la economía circular al convertir un desecho en un material útil y biodegradable.

Biodegradación: El PLA es biodegradable en condiciones específicas (como en compostaje industrial), lo que representa una ventaja sobre los plásticos convencionales derivados del petróleo, que pueden tardar cientos de años en descomponerse.

2.1.8 PROPIEDADES FITOQUÍMICAS DEL ÁCIDO LÁCTICO

El ácido láctico tiene un carbono asimétrico lo cual da lugar a actividad óptica. Existen dos isómeros ópticos, el D(-) láctico y L(+) láctico y una forma racémica constituida por fracciones equimolares de las formas L(+) y D(-). Sin embargo a diferencia del isómero D(-), la configuración L(+) esta es metabolizada por el organismo humano. Tanto las dos formas ópticamente activas como la forma racémica se encuentran en estado líquido, siendo incoloros y solubles en agua. En estado puro son sólidos altamente higroscópicos de punto de fusión bajo, el cual es difícil de determinar debido a la extrema dificultad de producirlo anhidro; es por esta razón que se manejan rangos de 18- 33°C. El punto de ebullición del producto anhidro esta entre 125-140°C. Las formas isoméricas del ácido láctico pueden ser polimerizadas y se pueden producir polímeros con diferentes propiedades dependiendo de la composición. En la siguiente tabla podemos ver las propiedades fisicoquímicas del ácido láctico.

Tabla 3. Propiedades Fisicoquímicas Del Ácido láctico

Formula	C₃H₆O₃
Peso molecular	90,08
Índice de refracción	1,4414
Punto de fusión	L(+) y D(-): 52,8 a 54°C DL (según composición): 16,8 a 33°C
Punto de ebullición	125 –140°C
Gravedad específica	1206
Calor de combustión	3616 cal/g
Viscosidad	40,33 mNsm-2
Densidad	1,249
Constante dieléctrica	22 ε

2.1.9 PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

El ácido láctico suele ser obtenidas por vía química o biotecnológica. La producción química, está basada en la reacción de acetaldehído con ácido cianhídrico para dar lactonitrilo, el cual puede ser hidrolizado a ácido láctico. Sin embargo, tiene otro tipo de reacción que se basa en alta presión de acetaldehído con monóxido de carbono y agua en presencia de ácido sulfúrico como catalizador. La fermentación homoláctica puede además dar lugar a una mezcla de ácidos cuando existe una concentración de glucosa limitante, cuando se incrementa el pH, se aumenta la temperatura o se fermentan azúcares diferentes a la glucosa; en estos casos, la diferencia radica en el metabolismo del piruvato, el cual además de producir ácido láctico produce además formiato y acetil CoA por la enzima piruvato formiato liasa.

En la obtención comercial con bacterias lácticas, al sustrato puro se le adiciona una fuente de vitaminas y de cofactores, se utiliza una mezcla de 10 a 15 % de glucosa, cantidades menores de fosfato de amonio, extracto de levadura y 10% de neutralizante. Los neutralizantes que pueden ser utilizados son carbonato de calcio, hidróxido de calcio, carbonato de amonio, hidróxido de amonio

o hidróxido de sodio, aunque las mejores alternativas son el carbonato de amonio o de calcio que conducen a la formación de sulfato de amonio ó dióxido de carbono respectivamente

La fermentación dura entre 2 a 4 días y se termina cuando todo el azúcar es consumido, con el fin de facilitar la purificación. Al final de la fermentación el medio es ajustado a pH 10 y si se utiliza carbonato de calcio, el medio es calentado para solubilizar el lactato de calcio y coagular proteínas presentes. Posteriormente el medio se filtra para eliminar sustancias insolubles, así como biomasa.

2.1.10 RECUPERACIÓN Y PURIFICACIÓN

La separación, purificación y preconcentración del ácido láctico obtenido de los medios de fermentación es difícil debido a la alta afinidad del ácido por el agua y a su baja volatilidad. En la mayoría de los procesos, el ácido láctico es recuperado bajo la forma de lactato de calcio, y los tratamientos posteriores van a depender de la pureza deseada e incluyen: 1 tratamiento con carbón activado, 2 purificación con resinas de intercambio iónico, 3 extracción con solventes o esterificación con metanol seguido por destilación e hidrólisis.

2.1.11 ASPECTOS GENERALES

El ácido láctico o ácido hidroxipropionico es un líquido siruposo, incoloro, soluble en éter miscible con agua y alcohol e insoluble en cloroformo, éter de petróleo y disulfuro de carbono o un sólido de punto de fusión bajo en estado puro. Es una biomolécula presente en gran parte de los seres vivos y un componente normal en la sangre y los músculos de los animales.

El ácido láctico se purifica adicionando ácido sulfúrico al medio de fermentación, lo que genera un gran volumen de desechos de sales de sulfato de calcio. Un desarrollo tecnológico reciente plantea la producción combinada del ácido y sus derivados mediante los siguientes pasos: fermentación, purificación primaria, purificación secundaria y las diferentes tecnologías de polimerización o conversión química. El proceso de purificación primaria usa tecnologías de avanzada de desalinización y electrodiálisis que purifican el ácido láctico eficiente y económicamente sin la generación de la corriente de residuos de sales.

2.1.12 ESPECTROMETRÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADAS DE FOURIER (FTIR)

Es uno de los métodos directos más utilizados para el análisis aditivo en polímeros se basa en la espectroscopía infrarroja. No se requieren más de unos minutos para generar el espectro infrarrojo. Con la llegada de los espectrómetros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) y el desarrollo de sofisticados programas de software cuantitativos, el análisis directo in situ de antioxidantes es una técnica bien establecida. Espectroscopía infrarroja (FTIR), permite la obtención de un espectro de reflexión de las bandas de los grupos funcionales de las sustancias inorgánicas y orgánicas, por lo cual es posible realizar una identificación de los materiales, para detectar contaminantes comunes, subproductos de la degradación y aditivos.

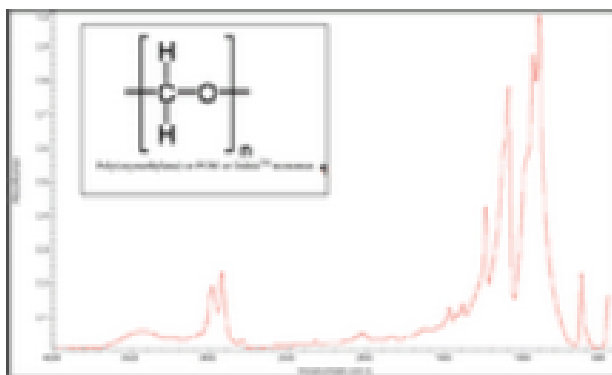


figura 6. Espectrometría Infrarroja Por FTIR

2.1.13 ESPECTROSCOPÍA MOLECULAR

El FTIR se basa en los principios de la espectroscopía molecular, por lo cual las moléculas absorben energía de la luz en longitudes de ondas específicas, conocidas como sus frecuencias de resonancia (vibración), representado por el símbolo cm^{-1} , es simplemente el inverso de la longitud de onda. El espectro vibracional de una molécula se considera una propiedad física única y por tanto característica de esta molécula. Sin embargo, la intensidad de la luz que transmite a través de la muestra a medida de cada número de onda lo que permite que la cantidad de la luz absorbida.

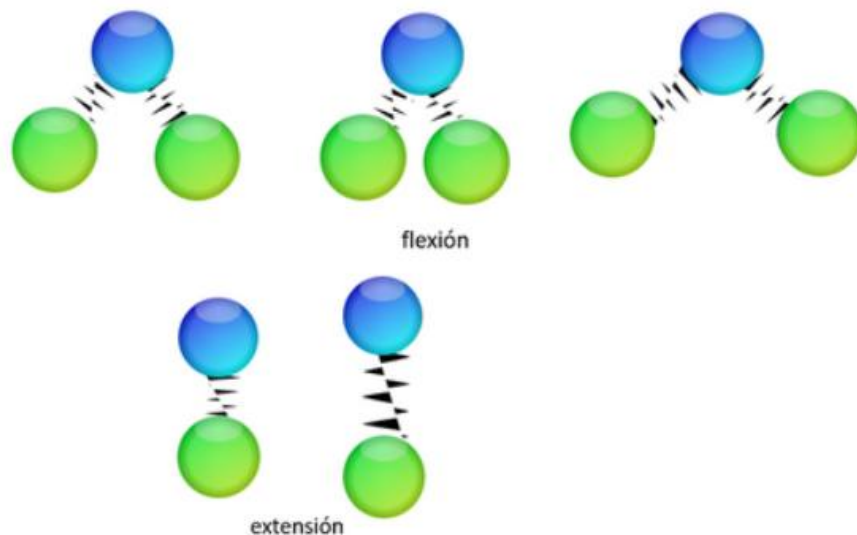


Figura 7 Espectro vibracional de una molécula

2.1.14 POLÍMEROS DEL ÁCIDO LÁCTICO

La polimerización del ácido láctico da lugar a polímeros de ácido poliláctico (PLA) que, con otras moléculas poliméricas naturales, permiten la obtención de productos reabsorbibles y biodegradables. Los polímeros de PLA son totalmente compatibles en las instalaciones existentes. Con equipamiento apropiado, se puede convertir de nuevo en monómero, que puede ser convertido nuevamente en polímero. Como alternativa, puede biodegradarse en agua, dióxido de carbono y material orgánico. Al final del ciclo de vida de un producto basado en PLA, éste puede descomponerse en sus partes más simples de manera que no quede ninguna señal del producto original.

2.1.15 ESPECTROSCOPIA

Es que es una técnica análisis compleja lo cual se basa en la absorción de radiación por parte de moléculas, es un conjunto de métodos y técnicas instrumentales que son empleados por físicos y químicos para que se pueda estudiar la interacción entre la radiación electromagnética y la materia suele permitir la composición de una muestra de forma cuantitativa y cualitativa por medio del análisis espectral que detecta la absorción o emisión de radiaciones en una transición cuántica.

2.1.16 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN ELEMENTAL Y ESTRUCTURAL PARA POLÍMEROS

De acuerdo con Cheremisinoff, para la caracterización de polímeros se pueden emplear diferentes técnicas espectroscópicas como: Espectroscopía de absorción atómica (AA), Espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplada inductivamente (ICP), Espectroscopía de masas (MS y GC/MS), Espectroscopía de resonancia magnética nuclear (NMR), Infrarrojo de Transformada de Fourier (FTIR), Espectroscopía Infrarroja (IR), Espectroscopía Ultravioleta (UV), Espectroscopía Visible. Sin embargo, se fundamentan en la interacción de la materia con la radiación. Esta interacción provoca procesos como la absorción o la difusión.

Lo cual la técnica de espectroscopia infrarroja permite el análisis vibracional de los materiales poliméricos obteniendo información sobre ciertos parámetros estructurales, el análisis químico de los compuestos y el estado de orden de los polímeros.

CAPITULO 3 JUSTIFICACIÓN

El cuerpo humano es un sistema complejo de sistemas, órganos y diversas partes que cumplen varias y diferentes funciones, como el sistema digestivo, circulatorio, hígado, páncreas, brazos, piernas, sin embargo, accidentes o enfermedades degenerativas como la diabetes, conllevan a la pérdida de alguna parte del cuerpo. Como parte del tratamiento de estas situaciones, las prótesis son ampliamente utilizadas, las cuales son manufacturadas a partir de diferentes fuentes como el polipropileno y el polietileno, sin embargo, estos materiales son provenientes del petróleo, lo cual compromete su compatibilidad con el organismo humano o bien, su limitada obtención. El poli (ácido) láctico (PLA) es un material que puede ser obtenido a partir de residuos de alimentos, como las semillas de las frutas, y que, debido a sus propiedades como biocompatibilidad, lo hace seguro para estar en contacto con el cuerpo humano, y, por ende, lo hace adecuado para aplicaciones médicas externas, como prótesis, donde la seguridad es una prioridad y estos factores lo convierten en una opción atractiva para la creación de prótesis personalizadas y de alta calidad

El PLA se puede obtener de diferentes fuentes, como el procesado a partir del petróleo, o bien, sintetizado a partir de residuos de alimentos como las semillas de las frutas. Se deriva de recursos renovables como el almidón, lo que lo hace más sostenible en comparación con los plásticos derivados del petróleo. Esto es importante en el contexto de la creciente preocupación por la sostenibilidad y el impacto ambiental en la fabricación de dispositivos médicos. Permite obtener un buen acabado superficial, lo que es importante para la estética de las prótesis externas. Esto es relevante para los usuarios que buscan una prótesis que no solo sea funcional, sino que también tenga una apariencia atractiva y natural.

Por lo anterior, el objetivo del presente proyecto es obtener ácido láctico a partir de semillas de aguacate, el cual pudiera ser polimerizado a PLA para su posible aplicación en prótesis humanas.

3.1.1 ALCANCES Y LIMITACIONES.

ALCANCE DEL PROYECTO.

El alcance de este proyecto es obtener ácido láctico a partir de residuos agroindustriales y caracterizarlo fisicoquímicamente.

LIMITACIONES.

El tiempo para realizar un prototipo con posible aplicación de prótesis humanas externas.

4. HIPOTESIS

El extracto de almidón de las semillas de aguacate en su proceso de fermentación permitirá obtener ácido láctico.

5. OBJETIVO GENERAL

Sintetizar PLA a partir de semillas de aguacate

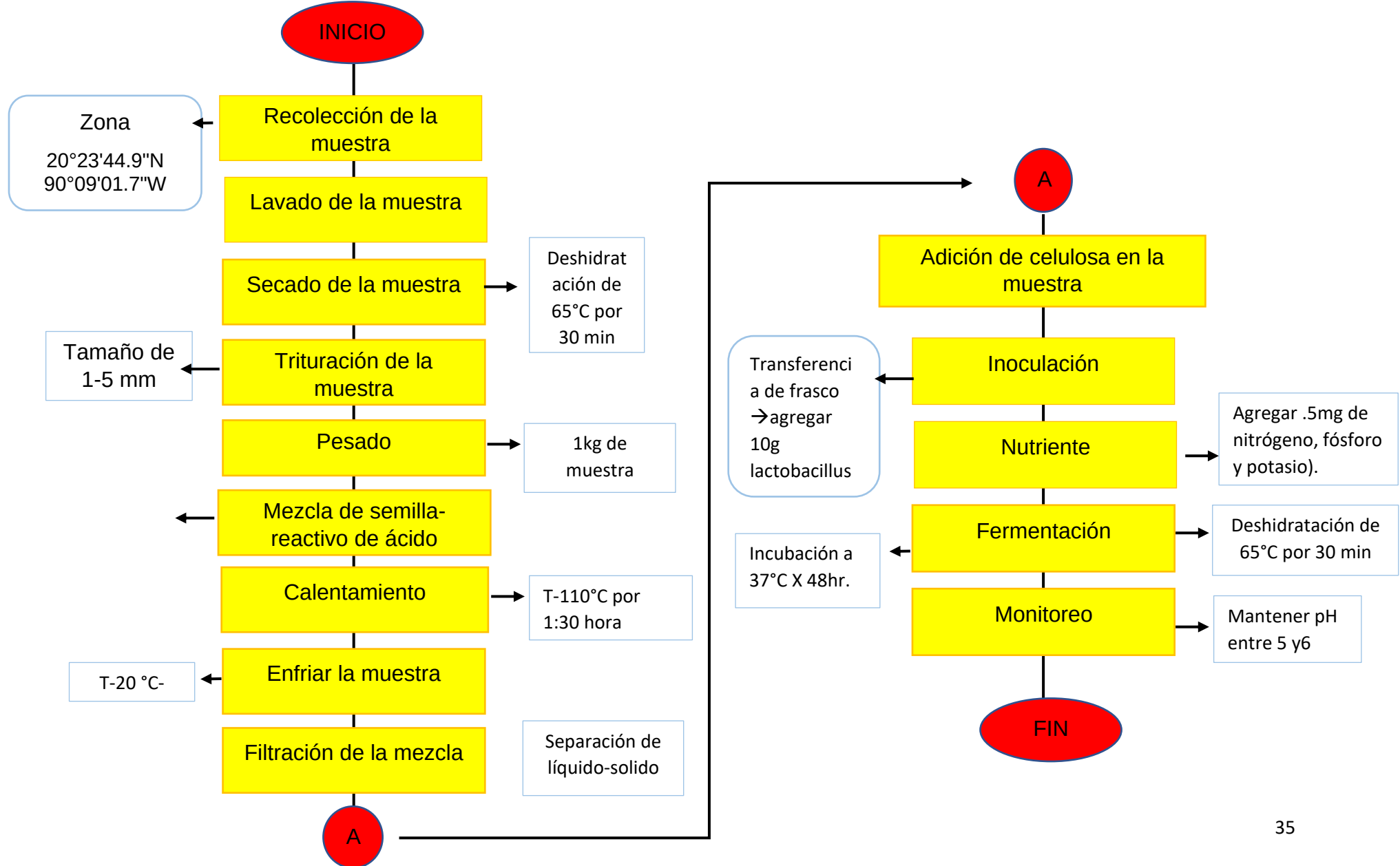
Caracterizar fisicoquímicamente el PLA sintetizado

CAPÍTULO 6 MATERIALES Y MÉTODOS

Materias y equipo	reactivos
• 1 charrola • Semillas de aguacate 1 kg • Guantes desechables de latex • Servilleta • Molino IKA • Horno • Placa de agitación • 3 vaso precipitado de 100ml • Vaso precipitado de 2000ml • Ácido clorhídrico H₂SO₄ • 1 probeta de 100ml • 1 pipeta • 1 perilla • Papel aluminio • 1 tamiz #200 • 1 barra magnética	Cellulase from <i>Aspergillus niger</i> ➤ No rating value Same page link. powder, ≥0.3 units/mg solid ➤ cloruro de calcio, aditivo para alimentos fenolfateína al 1%

Tabla 4 Materiales y Equipos

6.1.1 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL



6.1.2 MATERIA PRIMA

RECOLECCIÓN DE MUESTRA, SEMILLA DE AGUACATE (PERSEA AMERICANA)

- Se tomaron las muestras en la comunidad de Nunkiní, Campeche. Las muestras se recolectaron en la zona ubicada a 20°23'44.9"N de latitud Norte y 90°09'01.7"W de longitud Oeste, en San Isidro, Nunkiní.



Figura 9. Ubicación



Figura 10. Recolección de materia

6.1.3 PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA Y EQUIPO

Pretratamiento de equipo

El prelimpiado del equipo es un procedimiento esencial para garantizar la eliminación de residuos, contaminantes y microorganismos que puedan afectar el rendimiento y la precisión de los procesos. Antes de iniciar cualquier operación, se lleva a cabo una limpieza inicial que consiste en la remoción de partículas gruesas y restos de materiales previos.

Este proceso incluye el enjuague con agua brocha, para eliminar suciedad visible, seguido de la aplicación de detergentes o agentes desinfectantes adecuados para nuestro equipo y los residuos presentes. En este caso, se requirió el desmontaje de componentes para asegurar una limpieza profunda en áreas de difícil acceso.

No solo previene la contaminación cruzada, sino que también prolonga la vida útil del equipo y optimiza su funcionamiento. Posterior a esta etapa, se procede con una limpieza más detallada y, si es necesario, con un proceso de desinfección o esterilización para cumplir con los estándares de higiene y seguridad requeridos.

6.1.4 LAVADO

Se realiza un enjuague inicial para retirar el exceso de piel de la semilla, lo que permite una desinfección adecuada y minimiza el riesgo de contaminación que podría afectar los resultados de las muestras. Este proceso ayuda a eliminar impurezas superficiales, restos de compuestos inhibidores y posibles microorganismos presentes en la superficie, asegurando así un entorno más estéril para la continuidad de nuestros análisis posteriores. Además, un enjuague adecuado favorece la homogeneidad de las muestras, mejorando la reproducibilidad y fiabilidad de los resultados experimentales.

6.1.5 SECADO

Las muestras se someten a un proceso de secado en un horno a una temperatura de 65 °C. Este proceso se lleva a cabo durante aproximadamente 30 minutos, hasta que se observa que la parte exterior de la semilla está completamente seca. El secado es un paso crucial, ya que permite reducir la humedad superficial, evitando la proliferación de microorganismos y posibles alteraciones en las propiedades fisicoquímicas de la muestra. Además, este procedimiento contribuye a mejorar la estabilidad y conservación de las semillas, facilitando su posterior manipulación y análisis sin comprometer la integridad de los compuestos de interés.



Figura 11 secado de las semillas en horno de secado de la marca Novatech, NOT-HS35-AID

6.1.6 PRETRATAMIENTO DE EQUIPO

El prelimpiado del equipo es un procedimiento esencial para garantizar la eliminación de residuos, contaminantes y microorganismos que puedan afectar el rendimiento y la precisión de los procesos. Antes de iniciar cualquier operación, se lleva a cabo una limpieza inicial que consiste en la remoción de partículas gruesas y restos de materiales previos.

Este proceso incluye el enjuague con agua brocha, para eliminar suciedad visible, seguido de la aplicación de detergentes o agentes desinfectantes adecuados para nuestro equipo y los residuos presentes (**figura 12**). En este caso, se requirió el desmontaje de componentes para asegurar una limpieza profunda en áreas de difícil acceso.



Figura 12 desmontaje y lavado de equipo de trituración

No solo previene la contaminación cruzada, sino que también prolonga la vida útil del equipo y optimiza su funcionamiento. Posterior a esta etapa, se procede con una limpieza más detallada y, si es necesario, con un proceso de desinfección o esterilización para cumplir con los estándares de higiene y seguridad requeridos.

6.1.7 TRITURADO

La cáscara de la semilla de aguacate procedió al proceso de trituración hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 1-5 mm (Figura 13). Este tamaño permite obtener pequeñas partículas que facilitarán las etapas posteriores del proceso, optimizando la superficie de contacto para reacciones químicas o procesos de extracción. Además, una reducción uniforme del tamaño de partícula mejora la eficiencia en la manipulación, secado y tratamiento posterior, permitiendo una mayor homogeneidad en los análisis y asegurando la reproducibilidad de los resultados experimentales.



Figura 13 demoledora (trituration de semilla) partícula de aproximadamente 1-5 mm.

6.1.8 PESADO

Se procede a pesar las cantidades finales obtenidas del proceso de molienda, registrando el peso exacto para su uso en las etapas siguientes. Este paso es fundamental para garantizar la precisión y reproducibilidad del procedimiento, permitiendo un control riguroso sobre la cantidad de material procesado. Además, el registro detallado del peso facilita la trazabilidad del experimento y la optimización de los recursos, asegurando que cada muestra cumpla con los requisitos establecidos para los análisis posteriores. Cualquier desviación en el peso es evaluada para identificar posibles pérdidas de material o inconsistencias en el proceso de molienda.^{3.3} Cepas bacterianas y condiciones de fermentación.

6.1.9 MEZCLADO

- Las cáscaras trituradas se mezclan con una solución de ácido sulfúrico (1-2%) en una proporción de 1:10 (material). La preparación de la solución consiste en:
 - Disolución de agua (H₂O): 980 mL
 - Ácido sulfúrico (ACS H₂SO₄): 20 mL

- Cáscara triturada: 100 g

Una vez preparada la solución, las cáscaras trituradas se sumergen completamente y se agitan de manera uniforme para garantizar una distribución homogénea del ácido sobre la superficie del material. Este proceso favorece la reacción química requerida, optimizando la extracción o modificación de los compuestos presentes en la cáscara. La mezcla se mantiene en agitación constante durante un tiempo determinado para asegurar un contacto adecuado entre los componentes antes de proceder a las siguientes etapas del tratamiento.



Figura 14 proceso de disoluciones

6.1.10 CALENTAMIENTO

La solución se mantiene a una temperatura de 100-120 °C durante un período de 1-2 horas, asegurando que la reacción química se lleve a cabo adecuadamente. Este control de temperatura es fundamental para favorecer la descomposición de estructuras complejas presentes en el material y permitir la liberación de los compuestos de interés. Durante este tiempo, se monitorea constantemente la temperatura y se agita la mezcla de manera uniforme por medio de la placa para evitar la formación de depósitos o reacciones no deseadas. Además, el mantenimiento de estas condiciones garantiza una eficiencia óptima en el proceso, maximizando el rendimiento de los productos obtenidos y minimizando posibles pérdidas de material.



Figura 15 proceso de calentamiento por medio de placa y mosquita

6.1.11 ENFRIAMIENTO

Una vez completado el calentamiento, se deja enfriar la solución a temperatura ambiente de manera controlada para evitar daños en el material durante el siguiente proceso. Este enfriamiento gradual es esencial para prevenir choques térmicos que podrían alterar la estructura química del material o afecte nuestra eficiencia del proceso. Además, se recomienda agitar ocasionalmente la solución durante este período para mantener una distribución homogénea de los componentes y evitar la formación de precipitados no deseados.

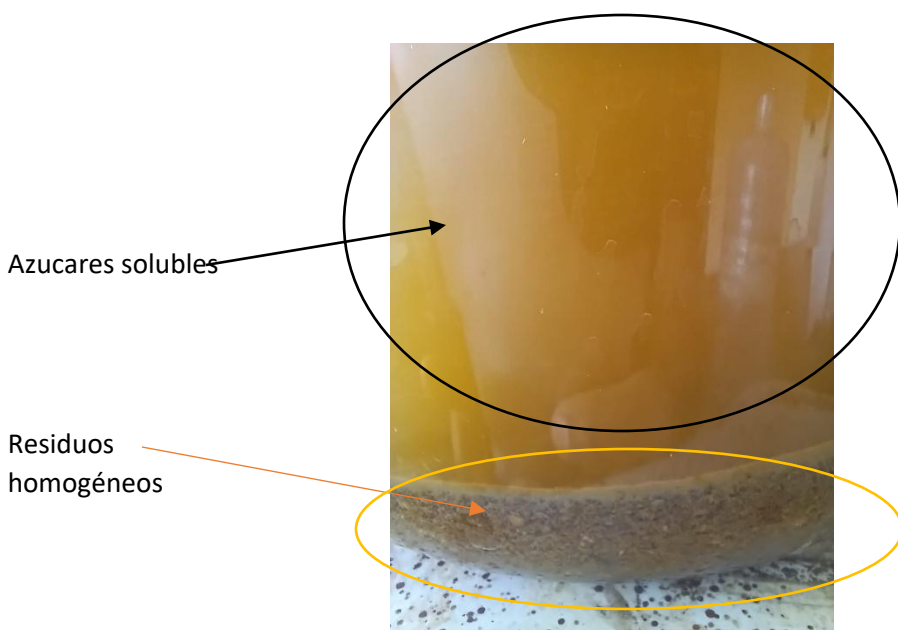


Figura 16 separación de suero y residuos homogénea

6.1.12 FILTRACIÓN

Se filtra la mezcla, utilizando una malla #200 con el fin de separar el líquido del sólido. El líquido obtenido contiene los azúcares solubles y otros compuestos de interés, mientras que el sólido está compuesto por residuos no solubles (figura11) que pueden ser descartados y ser utilizados en el siguiente proceso. Este paso es crucial, ya que permite la obtención de una muestra líquida libre de partículas indeseadas, lo que facilita un análisis más preciso y confiable de los compuestos presentes. Además, el uso de una malla de esta especificación garantiza una filtración eficiente, reteniendo las impurezas sin afectar la composición química del líquido extraído.



Figura 17 filtración con malla #200 y Bomba de vacío

6.1.13 ADICIÓN DE CELULOSA EN LA MUESTRA

Se estableció una equivalencia para la preparación de la solución, realizando cálculos basados en una muestra de 100 g de semilla de aguacate por litro. Para esta preparación específica, se utilizarán 10 g de muestra. Asimismo, en el caso de la enzima celulasa, cuya proporción es de 1 g por litro, se emplearán 100 mg.

100 Mtra en 1 litro	—————→	10 gr en 100ml
1 gramo de enzima	—————→	100mg de enzima
60°C X 24 h. con agitación		

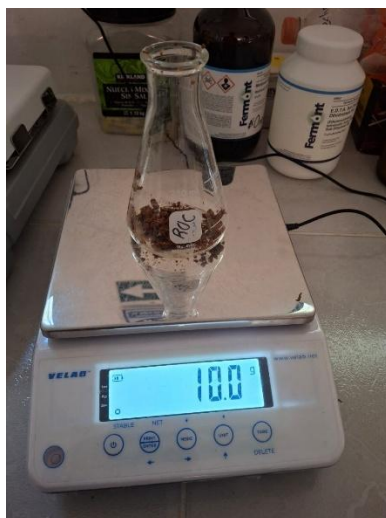


Figura 18 muestra de aguacate

El proceso se llevó a cabo bajo condiciones controladas, con una agitación constante de 60 rpm y a una temperatura de 50 °C, garantizando una adecuada activación enzimática y homogeneización de la mezcla.



Figura 19 La fermentación se realizó por triplicado para cada cepa en una incubadora con agitación Zhicheng ZHWY-200B a (t) inicial de 36.8 °C con una agitación de 60 rpm.

La celulasa es una enzima responsable de la degradación de la celulosa, un polisacárido estructural que forma parte de la pared celular de las plantas, incluida la semilla de aguacate. Al añadir celulasa a la muestra de semilla de aguacate, se inicia un proceso de hidrólisis enzimática,

en el cual la celulosa se descompone en moléculas más pequeñas, como oligosacáridos y glucosa, facilitando su aprovechamiento en diversos procesos biotecnológicos.



Figura 20 proceso de hidrolisis



Figura 21 Proceso de filtración por medio de bomba de vacío para obtener suero y separar los residuos homogéneo

6.1.14 ESTERILIZACIÓN

En este proceso es asegurado de que el líquido filtrado esté completamente libre de impurezas y microorganismos no deseados. Este paso es crucial para garantizar que las levaduras *Lactobacillus spp.* tengan un ambiente propicio para crecer y fermentar sin competencia. Se utilizó un frasco de fermentación limpio y esterilizado (figura 13) para evitar la contaminación. De igual

manera que se cuidó el líquido filtrado en el frasco, dejando suficiente espacio en la parte superior para permitir la expansión de gases durante la fermentación.



Figura 22 Desinfección por medio de autoclave

2.15 INOCULACION

Se introduce 10 g de levaduras *Lactobacillus spp* (figura20). en el líquido contenido en el frasco, manteniéndolo a una temperatura controlada de 50 °C y a una agitación constante de 60 rpm durante un periodo de 24 horas. Estas levaduras desempeñan un papel fundamental en el proceso de fermentación, ya que metabolizan los azúcares presentes en el líquido, transformándolos en ácido láctico. Este compuesto no solo contribuye al desarrollo de un perfil sensorial característico, mejorando el sabor y la textura del producto final, sino que también actúa como un conservante natural, al inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables. Además, la temperatura y la velocidad de agitación empleadas en este proceso favorecen la actividad metabólica de las levaduras, asegurando una fermentación eficiente y homogénea. Se lleva a resguardar las muestras en el congelador.



Figura 23 vertido y resguardo de la muestra

6.1.16 NUTRIENTES

Para garantizar un crecimiento óptimo de las levaduras, fue esencial la adición de nutrientes clave. Se incorporaron 0.5 g/L de nitrógeno, fósforo y potasio, elementos fundamentales para el metabolismo celular. Estos nutrientes desempeñan un papel crucial en la síntesis de proteínas, la producción de energía y la regulación de procesos enzimáticos, permitiendo que las levaduras realicen sus funciones de manera eficiente y asegurando una fermentación óptima.

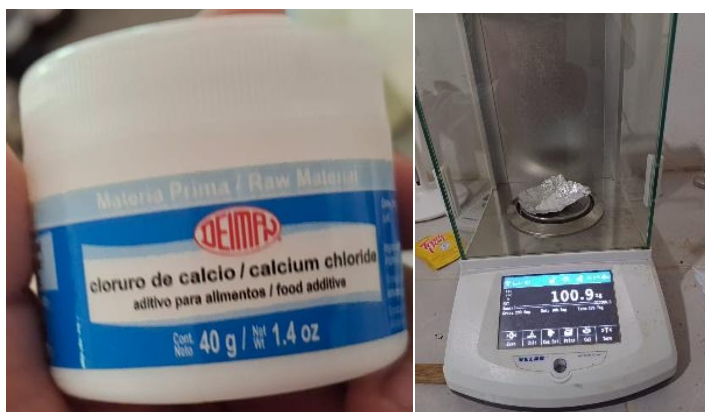


Figura 24 Pesado del Estabilizador para mejorar la textura y calidad de los productos

6.1.17 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ÁCIDO LÁCTICO

CONDICIONES DE FERMENTACIÓN

Se colocó el frasco en un ambiente controlado a una temperatura de 37 °C x 75 rpm durante 48hr. Esta temperatura es ideal para el crecimiento de *Lactobacillus* spp., favoreciendo la producción de ácido láctico y asegurando una fermentación eficiente.

6.1.18 ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Con el objetivo de caracterizar y verificar los grupos funcionales en la extracción del LA, se realizó el análisis de espectroscopia FTIR. Para los especímenes se prepararon pastillas de 100 mg de KBr, a las que se les depositó una gota del LA, y luego se prensó la mezcla en una tableta. El espectro FTIR de las muestras se midió a temperatura ambiente usando un espectrómetro ThermoNicolet (Nexus 670-FTIR) en el intervalo de 4000 a 400 cm^{-1} , y 100 barridos. El análisis se hizo por triplicado



Figura 25 Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

6.1.19 MONITOREO DEL PROCESO

Durante las 48 horas de fermentación, se llevó a cabo un monitoreo periódico de las condiciones del proceso. Esto incluyó la observación del burbujeo y la evaluación del olor, ya que cualquier cambio en estos factores puede indicar la actividad de las levaduras y el desarrollo adecuado de la fermentación. Además, se registraron posibles variaciones de temperatura y otros parámetros relevantes para garantizar un entorno óptimo para el crecimiento y metabolismo de los microorganismos.

Una vez finalizado el proceso de fermentación, se realizó un control del pH, asegurando que se mantuviera dentro del rango de 5 a 6. Este monitoreo es fundamental, ya que un pH adecuado no solo favorece la actividad de las levaduras, sino que también ayuda a prevenir la proliferación de microorganismos no deseados que podrían comprometer la calidad y estabilidad del producto final. Además, se consideró la posibilidad de ajustes en caso de desviaciones, a fin de mantener las condiciones óptimas para el proceso.

MAGEN			
MUETRA (M)	M ¹	M ²	M ³
pH	5.45	5.46	5.65

Tabla 5 Monitoreo de pH

6.1.20 ACIDEZ TITULABLE

En el siguiente proceso de determinación de acidez titulable, se procede a medir las tres muestras con el objetivo de evaluar su nivel de acidificación. Para ello, se emplea una solución de

fenolftaleína al 1 % como indicador de pH, junto con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) como agente neutralizante.

Durante la titulación, se añade cuidadosamente el NaOH a cada muestra mientras se observa el cambio de color de la fenolftaleína, lo que indica el punto final de la reacción. Este procedimiento permite cuantificar la acidez presente en la muestra y analizar la evolución del proceso de fermentación. La medición de la acidez titulable es un factor clave para garantizar la calidad del producto final, ya que un nivel de acidez adecuado puede influir en el sabor, la estabilidad y la seguridad microbiológica del producto.

$$\% \text{ acides} = \frac{(V = \text{ML DE NaOH})(N)(0.090 \text{ Milliequivalente de acido lactico})}{M = \text{Volumen de muestra}} \times 100$$

Figura 26 Formula general de acides

Esta fórmula permite calcular el porcentaje de acidez en función del volumen de base consumido durante la titulación. La acidez titulable es un parámetro clave en la evaluación del proceso de fermentación, ya que indica la cantidad de ácidos orgánicos presentes en la muestra, influenciando directamente la calidad y estabilidad del producto final.

Datos:

V = cm³ de hidróxido de sodio 0.1 N gastados en la titulación

N = Normalidad de la solución de hidróxido de sodio

M = Volumen de la muestra tomada

0.09 = Miliequivalente del ácido láctico

A continuación, se presentan los datos obtenidos en la titulación de las tres muestras analizadas, incluyendo el peso de la muestra, el volumen de NaOH consumido y la normalidad de la solución utilizada:

Tabla 6. Cantidades de las muestras analizadas

Nombre	Gramos de muestra	mL de NaOH	Normalidad

Muestra #1	5.015	1.50ml	1N
Muestra #2	5.065	1.25ml	1N
Muestra #3	5.025	1.40ml	1N

CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En la metodología se empleó fermentar anaeróbicamente el ácido láctico del almidón de las semillas de aguacate, donde se analizaron tres muestras por lo tanto se obtuvo un rendimiento 30% y un desperdicio del 70% en la extracción de las muestras, en este proceso llevo a cabo el monitoreo de pruebas de pH donde equivalentemente estuvieron en un rango de 4 a 5 de acidez lo cual esta estándar a un resultado viable para que las levaduras tengan actividad en la fermentación.

Durante el proceso de las muestras extraídas se sometieron a un análisis de titulación donde mostraba que cada muestra tenía una variabilidad de acides pero que se encontraban en el rango estándar.

Para la caracterización del ácido láctico obtenido se llevó a prueba en el estudio de espectroscopia FTIR, donde la comparación entre los espectros infrarrojos de las muestras obtuvo una notable similitud en las bandas de absorción los que indico las estructuras químicas comunes.

En este protocolo se realizó el 22-29 de sep/2024.

Tabla 7. Proceso de muestra (temperatura y tiempo) (b)

Temperatura	Tiempo
Mantén la solución a 110°C	1:30 h
Enfriar a temperatura ambiente 20-25°C	1:00 h

Al combinar estos componentes, se forma una mezcla homogénea que se calienta para facilitar la reacción química, permitiendo la extracción efectiva de azúcares y otros compuestos solubles.

En este protocolo se realizó el 22-29 de sep/2024.

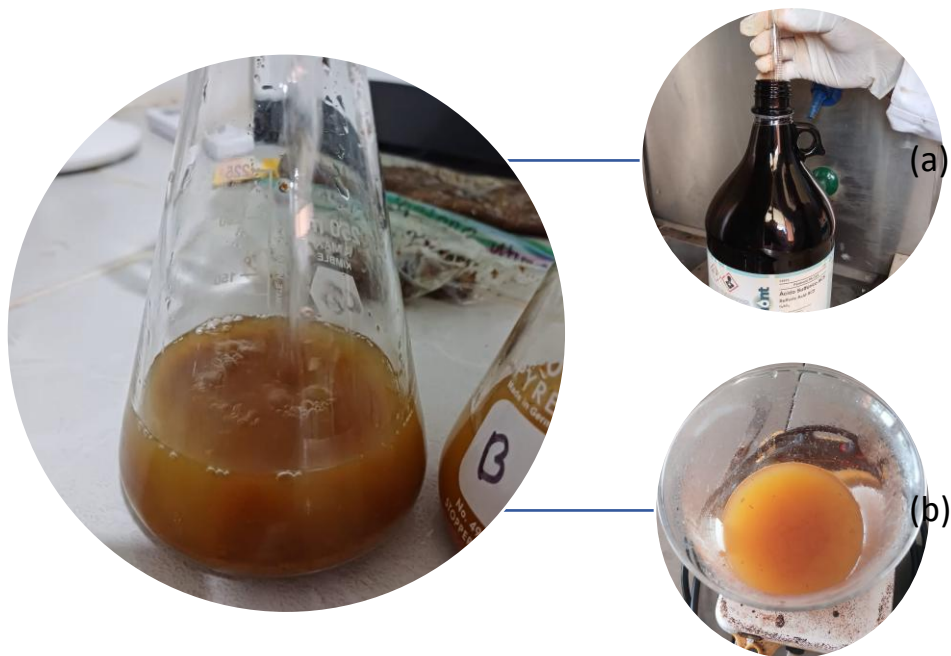


Figura 27 Deshidratación de la materia

En el inciso (b) Como resultado del trabajo que se realizó en el entorno de laboratorio, se obtuvo la deshidratación de las semillas de aguacate con el ácido sulfúrico (a) lo cual este fue eliminando rápidamente el contenido de agua presente en las semillas. Esto provocó que los compuestos orgánicos se concentren y se descompongan. Durante este proceso se logró observar como la materia, los componentes orgánicos, como azúcares y proteínas, comienzan a descomponerse y a carbonizarse. Esto genera una masa negra, rica en carbono, que es el resultado de la descomposición térmica de los materiales orgánicos. Al finalizar la reacción, se logró obtener residuo sólido, que consisten principalmente en carbono y subproductos.



Tabla 8 proceso de incubación

Incubación	Tiempo
50°C a 75 rpm	24 h
37°C a 75 rpm	48 h

El proceso de inoculación de las levaduras *Lactobacillus* spp. se llevó a cabo con éxito, asegurando que el líquido filtrado estuviera libre de impurezas y microorganismos no deseados. Se utilizó un frasco de fermentación esterilizado, y se introdujeron 10 g de levaduras a una temperatura de 50 °C durante 24 horas. Posteriormente, se añadieron nutrientes esenciales (0.5 g/L de nitrógeno, fósforo y potasio) para fomentar un crecimiento óptimo. La fermentación se realizó a 37 °C durante 48 horas, manteniendo un pH entre 5 y 6, lo que favoreció la producción de ácido láctico.

Ecuación 1 formula para la obtener de acides láctica

$$\% \text{ acides} = \frac{(V = \text{ML DE NaOH})(N)(0.090 \text{ Milliequivalente de acido lactico})}{M = \text{Volumen de muestra}} \times 100$$

Ecuación 2 resultado de muestra de acides # 1

$$\% \text{ acides} = \frac{((1.5)(1N)(0.090))}{5.015\text{ml}} \times 100$$

$$\% \text{ acides} = 2.691$$

Ecuación 3 resultado de muestra de acides # 2

$$\% \text{ acides} = \frac{((1.25)(1N)(0.090))}{5.065\text{ml}} \times 100$$

$$\% \text{ acides} = 2.221$$

Ecuación 4 resultado de muestra de acides # 3

$$\% \text{ acides} = \frac{((1.40)(1N)(0.090))}{5.025\text{ml}} \times 100$$

$$\% \text{ acides} = 2.507$$

Tabla 9 Resultado de obtención de pH y acides láctica

Nombre	pH	Gramos de muestra	mL de NaOH	Normalidad	Acides
Muestra #1	5.45	5.015	1.50ml	1N	2.691
Muestra #2	5.46	5.065	1.25ml	1N	2.221

7.1.1 ESPECTROSCOPIA FTIR

Del proceso de extracción del ácido láctico, se tomó una gota que se aplicó a una pastilla de KBr para poder realizar la caracterización mediante FTIR (Figura 25). En el espectro se puede observar el pico a 3430 cm^{-1} , el cual pudiera ser atribuido a la tensión del enlace -OH. La banda a 1652 cm^{-1} puede ser atribuida al enlace -C = O. La vibración de tensión asimétrica del enlace -COO en 1598 cm^{-1} ; también se puede observar la tensión de los enlaces -C-H y -CH₃ presentes en la molécula en el número de onda en 2940 cm^{-1} . En el pico a 1250 cm^{-1} así como la deformación de los enlaces -OH

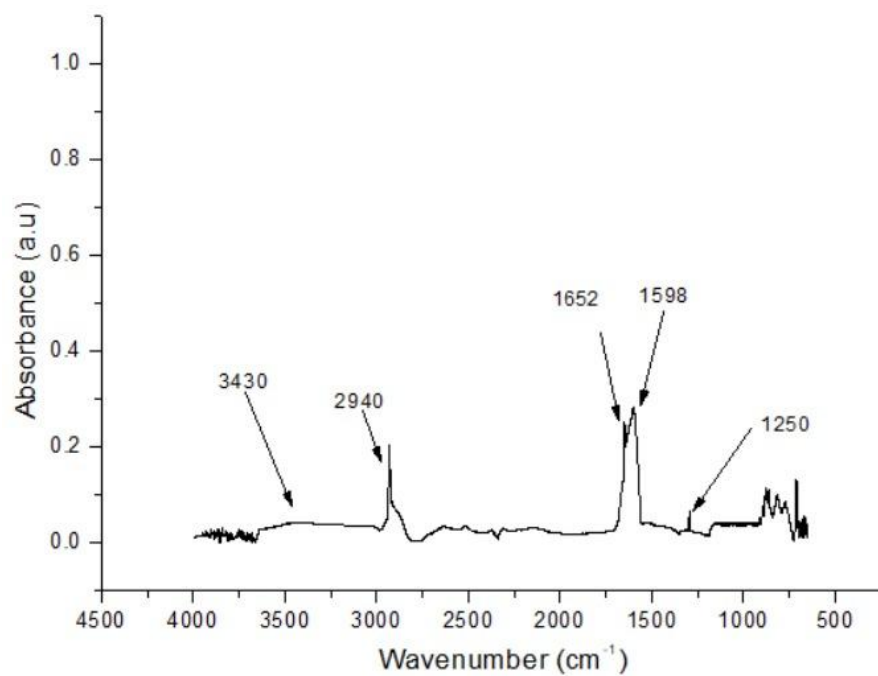


Figura 28 FTIR spectrum for lactic acid standard (A) and FTIR spectra for media (B)

CONCLUSIONES

El poli (ácido láctico) se perfila como una alternativa innovadora y sostenible en la fabricación de prótesis externas, gracias a su biocompatibilidad, personalización y biodegradabilidad. Su producción a partir de recursos renovables, como las semillas de aguacate, no solo reduce residuos agroindustriales, sino que también ofrece una opción ecológica frente a plásticos convencionales. Además, el uso de técnicas como la impresión 3D permite adaptar las prótesis a las necesidades individuales de los pacientes, mejorando su calidad de vida.

Por otro lado, el pH es un factor crítico en el proceso de fermentación, ya que influye en la actividad de levaduras como *Lactobacillus spp.* Mantener un pH adecuado entre 5 y 6 es esencial para optimizar la fermentación y garantizar la calidad del producto final. Un monitoreo constante del pH durante este proceso es crucial para asegurar la eficiencia y el éxito en la obtención de bioplásticos a partir de recursos renovables.

Este trabajo, no solo resalta la viabilidad del uso de residuos agroindustriales como materia prima para la producción de bioplásticos, sino que también subraya la importancia de optimizar las condiciones de temperatura y tiempo para maximizar la eficiencia del proceso. Los resultados obtenidos abren nuevas oportunidades para el aprovechamiento sostenible de las semillas de aguacate, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de desechos en la industria.

RECOMENDACIONES

Una de las recomendaciones que se debe aplicar durante la deshidratación de las semillas debemos tomar en cuenta que al añadir el agua al ácido sulfúrico causa una reacción que puede ser exotérmica (libera calor), lo que puede provocar salpicaduras peligrosas y nos puede causar accidentes o quemaduras en nuestro cuerpo. Por ello es muy importante saber el orden de cómo se ira colocando cada sustancia o reactivo, en este caso la manera correcta de realizar la mezcla es añadir el ácido sulfúrico al agua, se asegura una dilución más controlada y uniforme, lo que permite que el ácido se disperse adecuadamente en el agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ASTM E7-03(2009) Standard Terminology Relating to Metallography. American Society for Testing and materials. Philadelphia, 2020
- Maraveas, C. (2020). Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste. *Polymers*, 12(5), 1127.
- Mathew, S. A. (2023, 1 mayo). SYNTHESIS of BIO BASED MATERIAL FROM FRUIT WASTE OF ORANGE PEEL.
- Yao K., Tang C. Polimerización controlada de monómeros renovables de próxima generación y más allá. *Macromoléculas*. 2013; 46 : 1689-1712. doi: 10.1021 / ma3019574.
- Krishnamurthy, A., & Amritkumar, P. (2019). Synthesis and characterization of eco-friendly bioplastic from low-cost plant resources. *SN Applied Sciences*, 1(11).
- Bassani, A., Montes, S., Jubete, E., Palenzuela, J., Sanjuan, A. P., & Spigno, G. (2019). Incorporation of Waste Orange Peels Extracts Into Pla Films. *Chemical Engineering Transactions*, 74, 1063-1068.
- Kumar, A., Singh, R., & Sharma, S. (2019). Utilización del suero de leche para la producción de plásticos biodegradables. *Waste Management*, 95, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.002>
- Cheng, Y., Zhang, L. y Wang, Z. (2022). Liberación controlada de fármacos a partir de sistemas basados en ácido poliláctico: una revisión. *Journal of Controlled Release*, 350, 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.04.002>
- F. Aeschelmann, M. Carus. Bio-based Building Blocks and Polymers in the WorldCapacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020. [En línea] 2015.
<http://bio-based.eu/markets/>.
- Biopolymers as viable alternatives to common plastic materials. (2000) Galactic Laboratories. (Sitio web de Galactic Laboratories: www.lactic.com) (www.nf2000.org/secure/Fair/S1264.htm)
- García, M., López, J., y Pérez, A. (2020). Polímeros biodegradables a partir de recursos (Bassani, 2019)renovables: una revisión. *Materials Today*, 34, 45-56.
<https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.06.010>

- Abdel-Rahman MA, Tashiro Y., Sonomoto K. Avances recientes en la producción de ácido láctico mediante procesos de fermentación microbiana. *Biotechnol. Adv.* 2013; 31 : 877–902. doi: 10.1016 / j.biotechadv.2013.04.002.
- Patil, S., Kadam, S., Bastawde, K., Khire, J. y Gokhale, D. 2020. Production of lactic acid and fructose from media with cane sugar using mutant of *Lactobacillus delbrueckii* NCIM 2365. *Letters in Applied Microbiology* 43 (1): 53-7.
- Vijayakumar, J., Aravindan, R. y Viruthagiric, T. 2008. Recent Trends in the Production, Purification and Application of Lactic Acid. *Chemical and Biochemical Engenniering* 22(2): 245-264.
- ACOSTA, J., GOMAJOA, H., BENAVIDES, Y., CHARFUECLAN, A., & VALENZUELA, F. “Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico”. *Bionatura Conference Series* [en línea]. 2018, (Perú), 1(1). [Consulta: 23 enero de 2021], ISSN 1810-634X. Disponible en: <http://revistabionatura.com/cs-2018.01.01.2.html>
- AMORIM SANTOS, Taline. Desarrollo y caracterización de bioplásticos basados de almidón de jaca con incorporación de lisozima. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad estatal del suroeste de Bahía – UESB, Bahía, Brasil. 2015. pp.30-54. [Consulta: 2021-03-05]. Disponible en: https://hugepdf.com/download/desenvolvimento-e-caracterizaao-de-bioplaticosa-base-de-5b0b793784bd2_pdf
- Obtención de un conservante natural a partir de la semilla de aguacate variedad Hass (*Persea Americana* Mill.). [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Fundación Universidad De América, Bogotá, Colombia, 2019. [Consulta: 2021-03-11]. Disponible en:
- Park S., Kang K., Park H., Park J., Heo S., Kim H. An Evaluation of Poly(L-Lactic Acid) Plate and Screw System for Fixation of Mandible Fracture in Rabbit Model. *Tissue Eng Regen Med* [Internet]. 2011;8(4):398–405. Available from: <http://gateway.isiknowledge.com/gateway/Gateway.cgi?GWVersion=2&SrcAuth=AegeanSoftware&SrcApp=NoteExpress&DestLinkType=FullRecord&DestApp=WOS&KeyUT=000293490400007>
- Lu, Q.-Y., Arteaga, J. R., Zhang, Q., Huerta, S., Go, V. L. W., & Heber, D. (2005). 509 Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid510 soluble bioactive substances. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16, 23–30.

- Tango, J. S., Carvalho, C. R. L., & Soares, N. B. (2004). Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(1), 17-23.
- Gondim, J. A. M.; Moura, M. D. F. V.; Dantas, A. S.; Medeiros, R. L. S.; Santos, K. M. Composição Centesimal E De Minerais Em Cascas De Frutas. *Ciência E Tecnol. Aliment.* 2005, 25(4), 825–827.
- Garavito, J., C.P. Peña-Venegas, and D.A. Castellanos, *Production of Starch-Based Flexible Food Packaging in Developing Countries: Analysis of the Processes, Challenges, and Requirements*. *Foods*, 2024. **13**(24): p. 4096.
- Tesfaye, T., et al., *A techno-economic feasibility of a process for extraction of starch from waste avocado seeds*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2021. **23**: p. 581-595.
- Bangar, S.P., M. Kumar, and W.S. Whiteside, *Mango seed starch: A sustainable and eco-friendly alternative to increasing industrial requirements*. *International journal of biological macromolecules*, 2021. **183**: p. 1807-1817.
- Gabriel, A.A., A.F. Solikhah, and A.Y. Rahmawati. *Tensile strength and elongation testing for starch-based bioplastics using melt intercalation method: a review*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. IOP Publishing.
- DGCC, C., *Calabaza Castilla (Cucurbita Argyrosperma)*. 2020, CONABIO: Enciclovida.
- Gao, L., et al., *Edible film preparation by anthocyanin extract addition into acetylated cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose matrix for oxidation inhibition of pumpkin seeds*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024. **267**: p. 131439.
- Sajama, J.N., et al., *REVALORIZACIÓN DE UN RESIDUO ALIMENTARIO PARA LA EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE: SEMILLA DE CALABAZA (CUCURBITA MAXIMA DUCHESNE EX LAM)*. *MLS -HEALTH & NUTRITION RESEARCH*, 2023. **2**: p. 67-82.
- Duarte, M.B., *nálisis del sistema intercalado de nopal (Opuntia ficus-indica L. Miller), con seis cultivos precolombinos y saberes ancestrales, en Evaluación agroecosistema nopal (opuntia ficusindica L. Miller), en asocio con seis cultivos precolombinos y documentación de saberes ancestrales comunitarios, en dos localidades de Carazo, Nicaragua 2013-2*, in *FACULTAD DE AGRONOMÍA*. 2021, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA.
- DGCC, C., *Calabaza (Cucurbita pepo)*. 2020, CONABIO: Enciclovida.

López, A.F.P., *EVALUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN APROVECHANDO LOS RESIDUOS DE MANGO (Mangifera Indica L. PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO*, in *FACULTAD DE INGENIERÍAS*. 2021, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. p. 155.

QUISPE, Y.E.F., *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE TEMPERATURA PARA LA ELABORACION DE ACEITE ESENCIAL POR ARRASTRE DE VAPOR EN LA PLANTA DE DESTILACION GOLD PUMA DESTILLERY SAC*, in *FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA*.