



TECNOLOGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

**Uso de aloe vera para la fabricación de película
plástica biodegradable**

Proyecto de Investigación

**PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA
BRENDA CHÁVEZ MARTÍNEZ
201820029**

**AMBAR GARCÍA SAMANIEGO
201820397**

**ASESOR(A)
IBT. NOHEMI CASIANO SÁNCHEZ**

COACALCO DE BERRIOZÁBAL, MÉXICO, ENERO 2024.

Agradecimientos

“Agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida y culminar mis estudios satisfactoriamente.

A mis padres Margarita Martínez Rodríguez y Víctor T. Chávez Carmona, por ser mi mayor inspiración en la vida, por darme su apoyo y su amor incondicional, por creer en mí y sobre todo por ser el motor que me impulsa a seguir adelante.

A mi compañera y socia Ambar García Samaniego por su amistad, dedicación y esmero para cumplir esta gran meta de nuestras vidas.

A mi asesora I.BT. Nohemí Casiano Sánchez por sus consejos y la orientación brindada lo que permitió lograr nuestro objetivo.

A todas aquellas personas que de alguna manera u otra estuvieron a mi lado brindándome aliento hasta lograr la meta tan aspirada. Muchas gracias.”

Brenda Chávez Martínez

La mayor inspiración guiando cualquier avance en mi vida se la debo a quien me hizo sentir especial desde la infancia viendo en mí un potencial en la ciencia y tecnología mi abuelo Ignacio Samaniego Jiménez.

A mi mamá Elvira Samaniego Sosa que es el gran amor de mi vida, mi más grande inspiración alentando cada etapa de mi vida quien sé que nunca dejó de creer en mí.

A mi hermano Dante García Samaniego que se encuentra a mi lado en todo momento, que ve en mí el potencial, le debo la prueba de perder el miedo.

A nuestra asesora Nohemí Casiano Sánchez que nos alentó a buscar el éxito

Resumen

El objetivo principal de esta investigación fue obtener bioplástico a partir de la recolección de la planta de aloe vera y la evaluación de su biodegradación mediante factores ambientales. El procedimiento que se utilizó para obtener el bioplástico fue la experimentación con la técnica prueba y error. De este modo se logró realizar más de 40 tipos diferentes de biopolímeros. El resultado del proyecto es una película biodegradable, con propiedades físicas y mecánicas similares al plástico tradicional. Los bioplásticos en suelo y agua mostraron resultados favorables al descomponerse un 85% - 90% de su totalidad en solo 19 días de supervisión.

Finalmente, el mucilago de aloe vera posee características favorables para la producción de bioplástico que puede ser propuesto como sustituto de polímeros petroquímicos en diferentes sectores de la industria.

Índice

Agradecimientos	2
Resumen.....	3
CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	5
1.1 Introducción.....	6
1.2 Justificación	8
1.3 Problemática.....	9
1.4 Antecedentes.....	10
1.5 Objetivos.....	12
1.5.1 Objetivo General	12
1.5.2 Objetivos Específicos	12
CAPITULO II. MARCO TEORICO	13
2.1 Aloe vera.....	14
2.1.1 Etimología	14
2.1.2 Taxonomía.....	14
2.1.3 Descripción botánica	14
2.1.4 Composición química	15
2.1.5 Usos y aplicaciones.....	17
2.1.6 Producción en México	18
2.2 Glicerina.....	20
2.2.1 Estructura química.....	20
2.2.2 Propiedades.....	20
2.2.3 Usos y aplicaciones.....	22
2.2.4 Producción.....	23
2.3 Almidón.....	25
2.3.1 Estructura química.....	25
2.3.2 Propiedades.....	27
2.3.3 Usos y aplicaciones.....	29
2.3.4 Producción.....	30
2.4 Ácido acético.....	30

2.4.1	Estructura química.....	30
2.4.2	Propiedades.....	31
2.4.3	Usos y aplicaciones.....	32
2.4.4	Producción.....	33
2.5	Bioplástico	34
2.5.1	Definición.....	34
2.5.2	Conformación.....	34
2.5.3	Tipos	35
2.5.4	Normas	38
2.5.6	Ventajas y desventajas	39
2.5.7	Aplicaciones	40
2.5.8	Producción de bioplásticos.....	41
CAPITULO III. DESARROLLO.....		43
3.1	Materiales y descripción del proceso	44
3.2	Pruebas	45
3.2.1	Humedad.....	45
3.2.2	Dureza	45
3.2.3	Resistencia a la tracción	46
3.2.4	Biodegradabilidad	46
CAPITULO IV. RESULTADOS.....		48
4.1	Experimentación de bioplástico.....	49
4.2	Propiedades físicas del bioplástico	49
4.3	Prueba de humedad.....	51
4.5	Prueba de dureza.....	52
4.6	Prueba de resistencia a la tracción	54
4.7	Prueba de biodegradabilidad	56
CONCLUSIONES.....		62
REFERENCIAS		64
Referencias		65
ANEXOS.....		70

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Aloe vera	14
Tabla 2. Composición química del Aloe vera	15
Tabla 3. Participación de cultivo de sábila en América	19
Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de la glicerina.....	21
Tabla 5. Porcentaje de amilosa y amilopectina de las fuentes botánicas.....	26
Tabla 6. Propiedades de ácido acético	31
Tabla 7. Normas para la obtención y biodegradación del biopolímero	38
Tabla 8. Formulaciones	49
Tabla 9. Comparación de propiedades físicas de las muestras	49
Tabla 10. Prueba del % de humedad	51
Tabla 11. Resultados de dureza SHORE A	52
Tabla 12. Prueba de resistencia a la tracción.....	55
Tabla 13. Peso perdido de las muestras ensayadas	56
Tabla 14. Resultados de biodegradación en intemperie	57
Tabla 15. Resultados de biodegradación en agua	58
Tabla 16. Resultados de biodegradación en suelo.....	59

Índice de figuras y gráficos

Figura 1. Uso médico de Aloe vera	18
Figura 2. Estructura química del glicerol	20
Figura 3. Usos de la glicerina.....	22
Figura 4. Evolución de precio de la glicerina	24
Figura 5. Estructura química de la amilosa	25
Figura 6. Estructura química de la amilopectina.....	26
Figura 7. Representación esquemática de la estructura granular de almidón.....	27
Figura 8. Gelatinización del almidón	28
Figura 9. Estructura química del ácido acético	31
Figura 10. Clasificación de los bioplásticos	35

Figura 11. Biomasa para la producción de bioplásticos, biobasados, biodegradables	37
Figura 12. Uso del bioplástico a nivel mundial 2020	40
Figura 13. Producción global de bioplásticos	42
Figura 14. a. Muestra biopolímero 17; b. Muestra biopolímero 23	50
Figura 15. Resultados de % de Humedad.....	52
Figura 16. Dureza SHORE del ácido poliláctico	53
Figura 17. Antes, durante, después de someterse al ensayo mecánico	54
Figura 18. Gráfico Fuerza de tracción vs %Elongación.....	55
Figura 19. Resultados de la biodegradación en intemperie del bioplástico	57
Figura 20. Resultados de la biodegradación en agua del bioplástico.....	58
Figura 21. Resultados de la biodegradación en suelo del bioplástico	59
Figura 22. a. Experimentación muestra 17; b. Experimentación muestra 23; c. pH muestra 17 y 23.....	61

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El plástico proveniente de las industrias del petróleo y sus múltiples aplicaciones, propiedades y características, han provocado daños graves a nuestros ecosistemas por su mal uso y reciclaje. Desde el inicio de la producción del plástico hasta nuestros días se han generado 7.8 billones de toneladas de plástico y anualmente se producen 380 millones de toneladas las cuales terminan sumándose a la acumulación. (Buteler, 2019)

Desde la comercialización del plástico en el siglo pasado ha podido satisfacer las necesidades de los seres humanos supliendo al algodón, marfil, seda, madera, papel, vidrio, lana, entre otros. Los tipos de polímeros más comunes son el polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET). El plástico es el primer material más usado en envolturas, empaquetado, accesorios, objetos y demás, siendo el contaminante principal en el mundo y las bolsas de plástico son prueba de esto.

El problema radica mayormente en su desecho ya que estos no son degradables por microorganismos y tarda más de 100 años en su desintegración donde se encuentran en exposiciones al sol, agua y aire los cuales en contacto paulatino generan micropartículas y nanopartículas de plástico que se integran al ecosistema en el que se encuentren contaminándolo por completo.

La ONU estima que la producción de basura para el año 2050 alcance 671 mil toneladas cada día (Carranza Jimenez, 2017), con esta proyección crea la búsqueda de nuevas alternativas e investigaciones para la sustitución del plástico convencional reduciendo la actual problemática. En los últimos años se ha puesto interés en los bioplásticos o polímeros biodegradables, estos pueden generarse mediante componentes de fuentes renovables, se desintegran en un periodo no máximo a los 500 días sin generar un impacto negativo al medio ambiente. Esto se logra por su estructura química de grupos funcionales como aminoácidos, azúcares, lípidos, entre otros y su naturaleza hidrofílica, pueden hidrolizarse fácilmente en monómeros y oligómeros mediante diversos mecanismos de degradación

microbiana o factores ambientales, sirviendo como compostaje para cultivos o proporciona minerales que favorece al suelo.

Se han hecho múltiples pruebas con materias prima orgánicas como las elaboradas a base de almidón de papa, a partir de yuca para recubrimientos de frutas; también a base de crustáceos con plantas, al igual mezclas con nopal y de residuos agrícolas con el fin de darles un mayor aprovechamiento y dando nuevas soluciones de problemas ambientales.

El presente escrito aborda una innovadora propuesta en función a lo planteado, utilizando como materia prima principal la sábila. La planta de aloe vera tiene múltiples aplicaciones para la industria farmacéutica, alimentaria y médica, por sus componentes químicos naturales es útil para la producción de bioplástico con un costo viable, siguiendo la norma ASTM D6400 que especifica a un biopolímero capaz de desintegrarse en CO₂, metano, agua y biomasa, como consecuencia de la acción de microorganismos.

1.2 Justificación

La producción de polímeros biodegradables es una alternativa positiva para la disminución de energía no renovable además de la reducción de huella de carbono hasta 316 MTCO_{2e} al año si se sustituye el 65,8% de polímeros provenientes de industrias petroquímicas (Brizga, Hubacek, & Feng, 2020).

Por otro lado, se crea una alternativa óptima por el bajo costo de producción al aprovechar materiales orgánicos renovables comparándolo con los plásticos convencionales derivados de restos fósiles. Así mismo, en México aumentaría la productividad de siembra beneficiando al sector primario.

Se pretende elaborar bioplástico a partir de la extracción del mucilago del aloe vera, así como la determinación de su degradabilidad que proporciona minerales que favorecen al suelo, con base a técnicas de muestreo, evaluación y análisis de las muestras en búsqueda de resultados satisfactorios dándole al bioplástico características y propiedades similares al plástico.

Obteniendo los resultados deseados aportaremos al campo de los bioplásticos con una alternativa sustentable con avances de investigación y tecnología los cuales generaran mejoras en la producción de bioplásticos en nuestro país.

1.3 Problemática

Los plásticos provenientes de petróleo tienen un gran impacto en el comercio mundial por estructura química y la gran variedad de artículos en los que pueden ser empleados posteriormente a su polimerización. Debido a su bajo costo de fabricación se ha incrementado la producción de estos materiales sintéticos generando residuos plásticos, provocando un impacto negativo en el medio ambiente, ya que no pueden ser desintegrados por factores ambientales, tardando cientos de años, liberando gases de efecto invernadero provocando el aumento de temperatura en la tierra y amenazando la diversidad biológica. Por cada bolsa que se fabrica se emite cuatro gramos de dióxido de carbono (CO_2), llegando a originar 400 millones de toneladas anuales CO_2 si se llega a incinerar (Guerrero Benavidez, 2020).

Hoy por hoy el 14% de los residuos plásticos del mundo se recuperan para su reciclaje y solo el 2% se recicla en un circuito cerrado, quiere decir que el resto de los componentes plásticos quedan en vertederos, se incineran, o bien en nuestros ecosistemas marítimos y terrestres (García Quiles, 2021).

Por consiguiente, se han desarrollado una serie de materiales para la sustitución del plástico convencional, los biopolímeros. Estos son cadenas de monómeros con procedencia orgánica, biodegradables que pueden reemplazar fácilmente a los polímeros sintéticos.

1.4 Antecedentes

Para el progreso del proyecto se indagó en el tema de interés por medio de diferentes fuentes de investigación. En la revisión hecha por Alex David Pertuz Otero estudia en su informe “Biopolímeros a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), para uso de la industria alimentaria en Colombia” resaltó al almidón de papa como una alternativa viable, sin embargo, depende de las mezclas de otros plastificantes ya que el almidón posee un alto nivel de absorción en agua y repercute en la textura, por lo que es necesario añadir adictivos para mejorar la firmeza (Pertuz Otero, 2021).

Los autores Bernachea Rosales Sheyla y Dioses Velásquez Adilson David centran su investigación “Obtención de harina de la cáscara del limón para la elaboración del bioplástico y determinación de su biodegradabilidad, Lima 2019” para el desarrollo de esta investigación utilizaron glicerina, ácido acético, agua destilada, placa de vidrio, termómetro mortero, tamiz, estufa, mechero bunsen, equipo para pruebas de elongación y tracción donde se realizaron diferentes pruebas variando las proporciones de glicerina, harina de cascara de limón y ácido acético. De los resultados se concluye que se es posible obtener plástico biodegradable a partir de la harina de cascara de limón, la cantidad adecuada de la harina de cascara de limón es de 20 g. obteniendo una biodegradabilidad máxima de 32,89% a través de un control semanal en la pérdida de su peso por un periodo de 28 días bajo exposición en agua salada. Las propiedades físico-mecánicas del plástico obtenido, tales como: Fuerza de tracción y elongación donde se obtuvieron como resultado un esfuerzo máximo de 5.056 MPa. De igual modo, en las pruebas de elongación se obtuvo, una máxima de 27.597%. (Bernachea Rosales & Dioses Velasquez, 2019).

Lorena Vargas Rodríguez, Zeferino Gamiño Arroyo, Rosalba Fuentes Ramírez y David Contreras López en su investigación “Mucilago de nopal y su aplicación en la obtención de biopolímeros” elaboraron películas de biopolímero a base del mucilago obtenido de las pencas de nopal de las especies *Opuntia Ficus Indica* (OFI) y

Opuntia Tehuacana (OT), glicerol y agua variando la concentración de glicerol. Al material obtenido se le realizaron una serie de pruebas, los resultados y rendimientos de ambas especies son similares, el método de extracción elegido fue el correcto, sin embargo, les fue imposible obtener el mucílago en polvo seco, esto pudo ser por la propiedad hidrofílica del mucílago. La gran disimilitud que tuvieron las dos especies de nopal utilizadas se puede ver claramente en el espectro infrarrojo debido a que se encontraron algunos grupos funcionales diferentes. Para las películas el aumento en la concentración de glicerol provoca un incremento de permeabilidad de vapor de agua y contenido de humedad de estas, finalmente la película biopolimérica obtenida de la especie *OFI* y *OT* tienen características confiables (Contreras López, Vargas Rodriguez, Gamiño Arroyo, & Fuentes Ramirez, 2018)

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Elaborar un polímero biodegradable a partir de la extracción del mucilago de la planta de aloe vera a escala laboratorio.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Extraer el mucilago de la planta de aloe vera.
- Desarrollar formulación para el proceso del bioplástico.
- Seleccionar y optimizar la formulación mediante propiedades físico-mecánicas de los prototipos elaborados, tales como: resistencia a la tracción, elongación, humedad y dureza.
- Evaluar biodegradabilidad del bioplástico obtenido.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Aloe vera

2.1.1 Etimología

La palabra “*Aloe*” proviene del árabe “*Allaeh*” que significa “sustancias amargas brillantes” y “*Vera*” significa “verdadero”, también es comúnmente llamada sábila (Sánchez, González Burgos, Iglesias, & Gómez Serranillos, 2020).

2.1.2 Taxonomía

Es originaria de la región mediterránea, la Península Arábiga, India, China y África Occidental (Hes, Dziedzic, Gorecka, Jędrusek Golińska, & Gujska, 2019). Se han identificado alrededor de 430 especies diferentes de aloe (Nalimu, Oloro, Kahwa, & Engeu Ogwang, 2021), gracias a su adaptación en áreas tropicales y secas.

La clasificación taxonómica de Aloe vera se presenta en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Aloe vera

Reino	<i>Plantae</i>
Orden	<i>Asparagales</i>
División	<i>Spermatophyte</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Monocotyledoneae</i>
Familia	<i>Xanthorrhoeaceae</i>
Genero	<i>Aloe</i>
Especie	<i>Barbadensis miller</i>

Fuente: (Del Valle Veliz & Sánchez Silvestre, 2023)

2.1.3 Descripción botánica

Es una planta verde perenne, según (Pegu & Ankita, 2019) no tiene tallo o cuenta con un tallo corto de 25 cm de largo y se extiende en ramificaciones de 12 a 16 hojas en forma de roseta. Las hojas son triangulares y carnosas llegan a crecer

hasta 50 cm de largo, 7 cm de ancho y pesan 2 kg aproximadamente. En su borde posee puntas afiladas de color verde grisáceo de 2 mm de largo. Las flores brotan normalmente en verano, alcanzan una altura de 90 cm de forma tubular, con una corola amarilla o rojizo anaranjado.

Cada hoja posee en su interior un gel transparente y viscoso, que contiene más de 75 compuestos diferentes. De igual manera, Aloína que es una resina en estado líquido de color amarillo o marrón, ligeramente toxico y amargo, es comúnmente nombrado resina de aloe. (Sánchez, González Burgos, Iglesias, & Gómez Serranillos, 2020) (Hes, Dziedzic, Gorecka, Jędrusek Golińska, & Gujska, 2019).

2.1.4 Composición química

El gel de aloe vera se obtiene retirando la cutícula de la hoja, es incoloro con una consistencia gelatinosa. Está compuesto por un 96% agua, 4% de materia seca, que contiene proteína, bioactivos, minerales, enzimas, nutrientes, vitaminas y aminoácidos. Cabe destacar que las hojas de aloe vera también están compuestas del látex amarillo o mejor conocidos como resina de aloe (Hes, Dziedzic, Gorecka, Jędrusek Golińska, & Gujska, 2019) & (Del Valle Veliz & Sánchez Silvestre, 2023).

En la Tabla 2 se muestra la composición y componentes químicos del aloe vera.

Tabla 2. Composición química del Aloe vera

RESINA DE ALOE

Composición	Componentes
Glucósidos	Antraquinona, barbaloina Iso-barbaloina.
O-glucósidos	Aloinósidos de ácido crisofánico.
Antroglucósidos	Aloína.
GEL DE ALOE	

Composición	Componentes
<i>Aminoácidos esenciales y no esenciales</i>	Alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutámico, glicina, histidina, hidroxiprolina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, treonina, tirosina, valina.
<i>Proteínas</i>	Lectinas y sustancia similar a la lectina.
<i>Antraquinona y antrona</i>	Aloe-emodina, ácido aloético, antranol, aloína A y B (barbaloína), isobarbaloína, emodina, éster de ácido cinámico.
<i>Enzimas</i>	Fosfatasa alcalina, amilasa, carboxipeptidasa, ciclooxidasa, catalasa, ciclooxigenasa, lipasa, oxidasa, superóxido dismutasa, fosfoenolpiruvato carboxilasa, glutatión peroxidasa.
<i>Hormonas</i>	Auxinas y giberelinas.
<i>Compuesto inorgánico</i>	Calcio, cloro, cromo, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, fósforo, sodio y zinc.
<i>Sacáridos</i>	Manosa, glucosa, ramnosa.
<i>Carbohidrato</i>	Manano puro, manano acetilado, glucomanano acetilado, glucogalactomanano, galactogalacturano, arabinogalactano, celulosa, sustancia péctica, xilano.
<i>Vitaminas</i>	B1, B2, B6, B12, C, β -caroteno, ácido fólico, colina, α -tocoferol.

<i>Lípidos</i>	Ácido araquidónico, ácido γ -linolénico, esteroides (campesterol, colesterol, β -sitosterol), triglicéridos, triterpenoides, giberelinas.
<i>Otros compuestos</i>	Lignina, sorbato de potasio, ácido salicílico, ácido úrico.

Fuente: (Hes, Dziedzic, Gorecka, Jędrusek Golińska, & Gujska, 2019) & (Del Valle Veliz & Sánchez Silvestre, 2023)

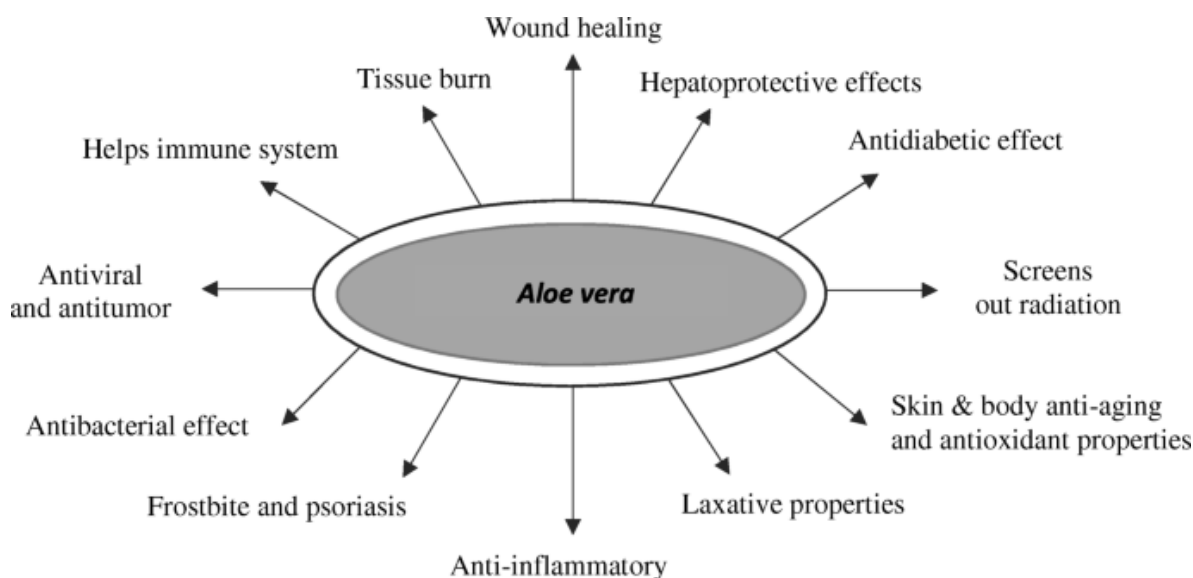
2.1.5 Usos y aplicaciones

El Aloe vera es altamente utilizado en industrias farmacéuticas, cosméticas y de alimentos. Muchos compuestos activos del Aloe están en el gel por lo que es el compuesto base para la comercialización de productos. Hace mención (Hes, Dziedzic, Gorecka, Jędrusek Golińska, & Gujska, 2019) “que desde hace tiempo es usada como planta medicinal, gracias a sus componentes bioactivos que resultan ser antiinflamatorios y ayudan al tratamiento de enfermedades gastrointestinales, al metabolismo de lípidos y carbohidratos, del mismo modo a la regeneración de piel quemada o congelada, entre otras cosas”.

(Nalimu, Oloro, Kahwa, & Engeu Ogowang , 2021) resalta en su estudio, que es posible crear fármacos de Aloe vera y Aloe ferox que ayuden a detener la propagación del virus SARS-CoV-2 debido a los diversos compuestos que contienen.

En la Figura 1 se muestran algunos otros usos médicos de la planta de Aloe vera.

Figura 1. Uso médico de Aloe vera



Fuente: (Hes, Dziedzic, Gorecka, Jędrusek Golińska, & Gujska, 2019)

Su uso como cosmético va en aumento con maquillajes, pañuelos, jabones, cremas, bloqueadores solares, champús que ayudan a humectar, evitar irritaciones, estimula el crecimiento del cabello y actúa como defensa contra rayos UV (Castillo Escañuela, García Chairez, Gándara Mireles, Quezada Gudiño, & Ibarra Piedra, 2019).

El gel de Aloe vera también es utilizado como ingrediente en algunas bebidas, yogures o alimentos que aportan beneficios ya antes mencionadas al cuerpo.

El cultivo de Aloe vera tiene un gran potencial industrial y económico, tiene propiedades funcionales como cohesión, retención y capacidad gelificante que ayudan a la producción de bioplásticos o recubrimientos mejorando sus propiedades químicas y físicas de estos (de Araújo Silva, y otros).

2.1.6 Producción en México

México ocupa el quinto lugar como mayor productor de sábila en el mundo, con 4,450 hectáreas de sembradío. En México empezó su cultivo en el año de 1986 y declaran a Nuevo León como el máximo productor, en 1987 se sumaron Zacatecas y Colima, para el año 1989 se unió San Luis Potosí; y en 1991 se incorporaron

Tamaulipas y Yucatán, que hoy en día son los principales productores del país. Simplemente en el año 2000 se cultivaron 48,694 toneladas de producto (Alcaraz López, Delfín Santos, Reyes Melchor, & García Jiménez, 2020).

En su informe (Andrade Liviapoma, Limo Lazo de la Vega, Lonzoy Jimenez, Santos Martínez, & Seminario Navarro, 2021) mencionan “que América es el máximo productor de Aloe vera a nivel mundial y los países que disponen con mayor cultivo son México, Republica dominicana y Venezuela”, tal como muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Participación de cultivo de sábila en América

País	2004-2011		2016	
	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje
<i>México</i>	14,000	48%	10,700	56%
<i>República Dominicana</i>	3,500	12%	3,500	18%
<i>Venezuela</i>	9,800	34%	3,400	18%
<i>Estados Unidos</i>	650	2%	649	3%

Fuente: (Andrade Liviapoma, Limo Lazo de la Vega, Lonzoy Jimenez, Santos Martínez, & Seminario Navarro, 2021)

México lidera la producción, comercialización y exportación de materias primas de Aloe vera en América, ya que posee una alta calidad, eficiencia y eficacia de sábila, aplicándola en diferentes ámbitos industriales. Aproximadamente se cultivan 160,000 toneladas, el 50% de las hectáreas se siembran bajo tratamiento de riego, mientras el 50% restante por temporada, siendo Tamaulipas el estado con la mayor producción agrícola, siguiéndole San Luis Potosí, Morelos, Yucatán y Puebla, según datos de (Andrade Liviapoma, Limo Lazo de la Vega, Lonzoy Jimenez, Santos Martínez, & Seminario Navarro, 2021).

Las especies que más se cultivan en México son: Aloe vera y Aloe ferox (Castillo Escañuela, García Chairez, Gándara Mireles, Quezada Gudiño, & Ibarra Piedra, 2019).

México tiene una importante participación en el mercado mundial, alcanzando grandes posiciones de producción agrícola, favoreciendo un sector de crecimiento y expansión.

2.2 Glicerina

2.2.1 Estructura química

La glicerina es el nombre comercial que se le asigna a una estructura química compuesta por glicoles. El glicerol está presente en todo tipo de células, aceites, grasas animales y vegetales, de forma combinada con otros triglicéridos. El glicerol es un compuesto químico obtenido como subproducto de la industria oleoquímica siendo derivado del jabón por la saponificación de grasas y de la transesterificación por la producción de biodiesel (Rangel Galicia, 2022; Tiscareño Ferrer, 2019).

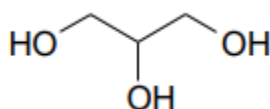
El glicerol es una cadena de 3 carbonos con un grupo hidroxilo (-OH) en cada carbón, como se puede ver en la Figura 2.

Fórmula estructural: $C_3H_8O_3$

Fórmula semidesarrollada: $OHCH_2-CHOH-CH_2OH$

Nombre IUPAC: 1,2,3-Propanotriol

Figura 2. Estructura química del glicerol



Fuente: (Tiscareño Ferrer, 2019)

2.2.2 Propiedades

En la siguiente tabla (Tabla 4) se presentan las principales características, propiedades fisicoquímicas y toxicidad de la glicerina.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de la glicerina

<i>Propiedad</i>	<i>Especificación</i>	<i>Propiedad</i>	<i>Especificación</i>
<i>Apariencia</i>	Incoloro a marrón	<i>Densidad de vapor</i>	3,17 (aire=1)
<i>Solubilidad</i>	Soluble	<i>Punto de flash</i>	>160 °C
<i>Olor</i>	Incoloro a suave	<i>Punto de ebullición</i>	290 °C
<i>Gravedad específica</i>	1.26 (agua=1)	<i>Punto de fusión</i>	179 °C
<i>Presión de vapor</i>	0.0025 mmHg a 50°C	<i>Peso molecular</i>	92.1 g, mol ⁻¹
<i>Viscosidad (Pa·s)</i>	1.5	<i>Residuos de ignición</i>	<0.01% en peso
<i>Etilen glicol y dietilenglicol limite (mg/ml)</i>	≤0.050	<i>Sulfato</i>	≤0.002% en peso
<i>Metales pesados (μg/g)</i>	≤5	<i>Ácidos grasos y ésteres</i>	No más de 1ml de hidróxido de sodio es consumido a 0.5N
<i>Temperatura de auto ignición (°C)</i>	400	<i>Temperatura crítica (°C)</i>	492
<i>Presión critica (atm)</i>	42.5	<i>Constante dieléctrica (25°C)</i>	44.38

<i>Fusión de calor a 18.07 °C (cal/g)</i>	47.49	<i>Momento dipolar (30-50 °C)</i>	2.68
---	-------	---------------------------------------	------

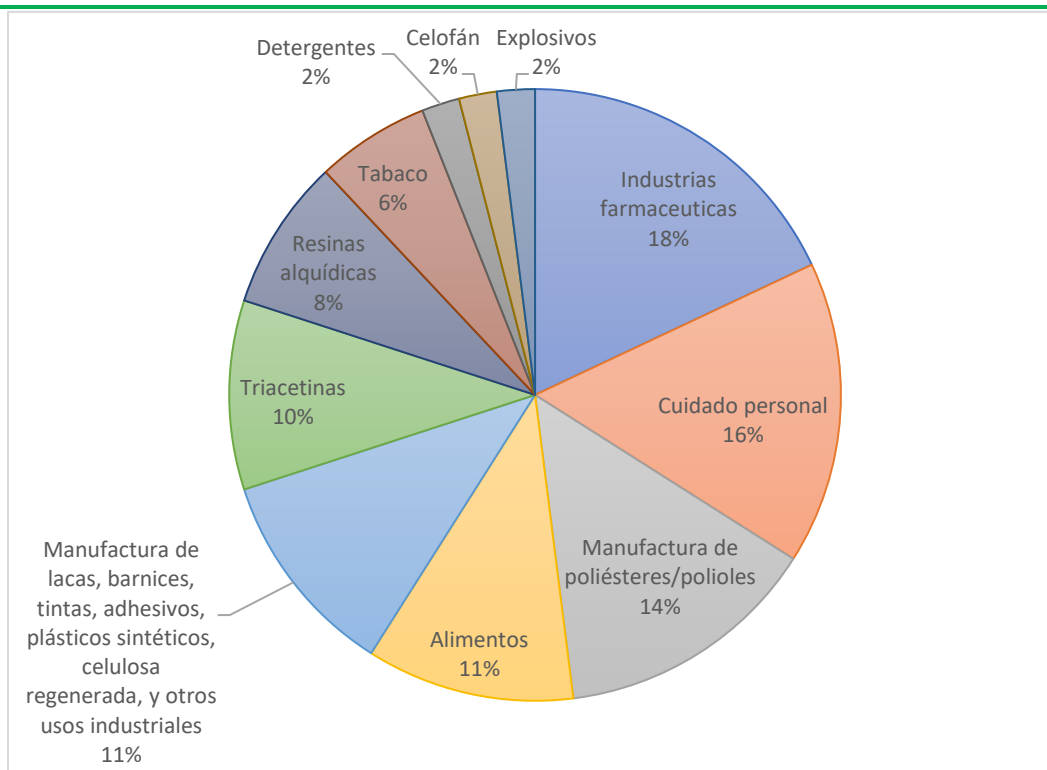
Fuente: (Tiscareño Ferrer, 2019)

2.2.3 Usos y aplicaciones

El glicerol tiene alrededor de 1,500 usos en diferentes tipos de industrias y áreas, a consecuencia de las características y propiedades fisicoquímicas que posee. Se ocupa en la elaboración de productos cosméticos (jabones), cuidado personal, productos alimenticios, en la industria de pinturas para la producción barnices, industria farmacéutica (medicamentos y laxantes); industria tabaquera (cigarros electrónicos), industria textil ya que proporciona elasticidad y suavidad a los tejidos, para la síntesis de trinitroglicerina, resinas alquílicas y poliuretanos, habitualmente usado como lubricante, anticongelante, cera, entre muchas cosas más (Flores Maldonado, 2019).

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de uso para cada sector industrial.

Figura 3. Usos de la glicerina



*Fuente: (Caicedo Jara & Moran Rodriguez, 2022).
Elaborado por: Los autores.*

La cantidad de glicerina usada en las diferentes aplicaciones es de aproximadamente 160,000 toneladas con una tasa de crecimiento anual del 2,8% (Caicedo Jara & Moran Rodriguez, 2022).

En la actualidad el glicerol es usado como plastificante para la elaboración de bioplásticos a partir de almidón, ya que incrementa la flexibilidad, disminuye la rigidez y mejora las propiedades mecánicas como la fuerza de tracción y alargamiento de ruptura del bioplástico. El glicerol rompe los enlaces glucosídicos del almidón y aumenta los espacios entre las cadenas de glucosa, modificando la solubilidad del almidón y retarda la retrogradación (Rivera Quiña & Vilchez Orellana, 2020).

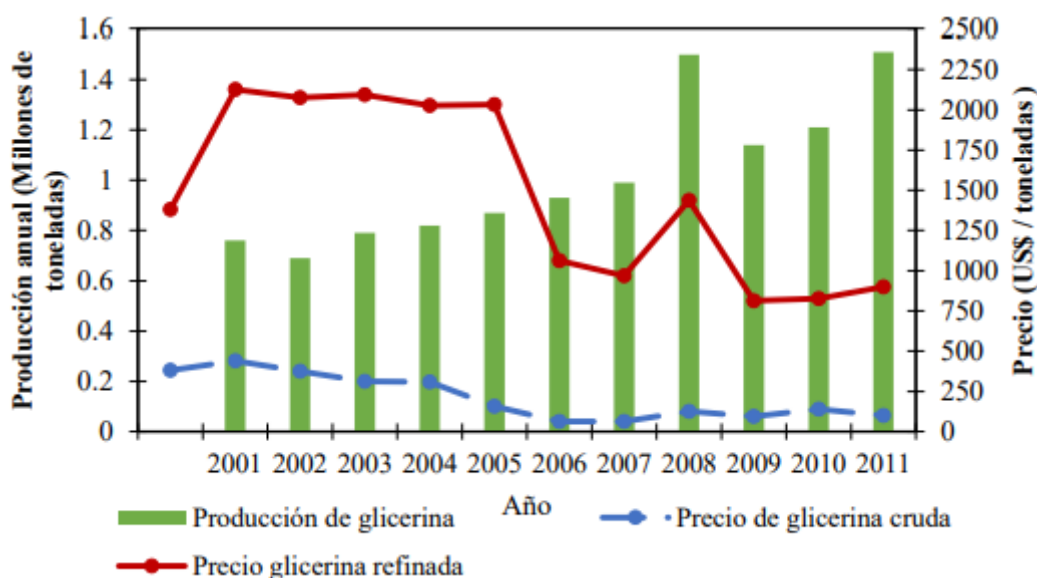
2.2.4 Producción

Mencionan en su investigación (Caicedo Jara & Moran Rodriguez, 2022) que, en el 2020, los países con más exportación de glicerina de mayor a menor fueron

Indonesia, Brasil, Alemania, Francia, EE. UU., Malasia, Polonia, Bélgica, Países Bajos y Tailandia.

Con el incremento de producción de glicerina ha causado una saturación en el mercado y esto conlleva al descenso en su precio al no haber un crecimiento lineal de la demanda en función de la producción. Desde el 2011 la elaboración de glicerina ha sido considerable por la técnica de transesterificación, se estima que por cada kilogramo de biodiesel se crean aproximadamente 0.1 kilogramos de glicerina cruda, pero contiene contaminantes como jabón, metanol y agua. En la Figura 4 se observa el incremento de producción de glicerina y la caída de su valor al mercado, en donde el precio de la glicerina refinada es mayor debido a que se somete a un proceso de purificación (Flores Maldonado, 2019; Tiscareño Ferrer, 2019).

Figura 4. Evolución de precio de la glicerina



Fuente: (Tiscareño Ferrer, 2019)

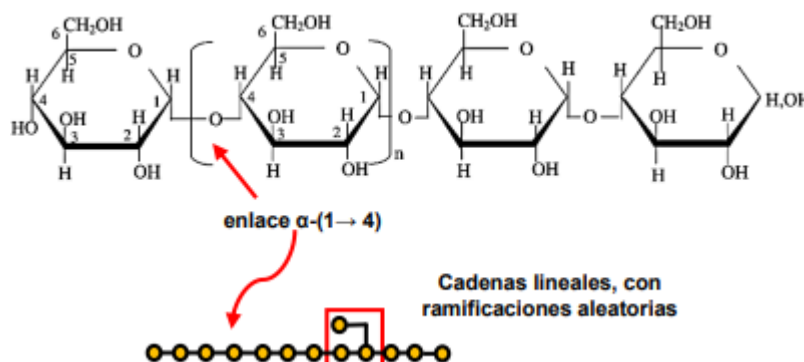
Resulta difícil un estudio basado en el precio de la glicerina debido a los tipos de glicerina existentes y formas de obtención, solo cabe destacar que en el 2018 el precio de la glicerina ronda los 0,9 €/kg (Flores Maldonado, 2019).

2.3 Almidón

2.3.1 Estructura química

El almidón es un polímero de origen natural, se halla en diferentes tejidos botánicos como tubérculos, hojas, frutos, semillas, raíces, tallos y granos de cereales (León Méndez, León Méndez, Monroy Arellano, De La Espriella Angarita, & Herrera Barros, 2020). Es un polisacárido que sirve como reserva de energía para las plantas y complemento fundamental en la dieta humana. El almidón está compuesto por dos polisacáridos principales: amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero con cadena lineal y ramificaciones cortas, su estructura es helicoidal, conformado por glucosas unidas mediante enlaces α -(1-4), con un grado de polimerización entre 1000 a 5000 y un peso molecular hasta de 1 millón de dáltones, (Lagunes Delgado, 2021) como se observa en la Figura 5.

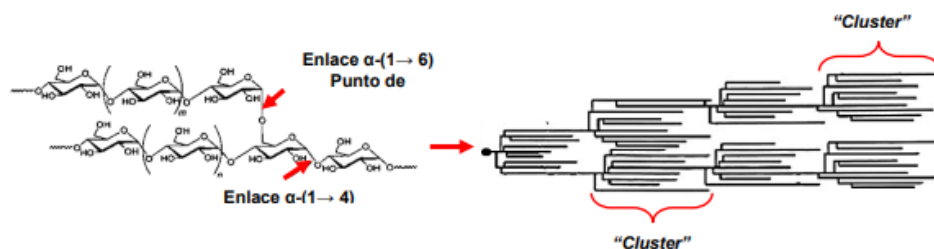
Figura 5. Estructura química de la amilosa



Fuente: (Lagunes Delgado, 2021)

La amilopectina a diferencia de la amilosa posee una estructura ramificada, las ramificaciones o “clusters” están unidas a la cadena principal en enlaces α -(1-6), a cada 15 a 25 unidades lineales de glucosa α -(1-4), en la Figura 6 se aprecia la estructura química de la amilopectina. Su peso molecular es muy alto, algunas fracciones pueden alcanzar hasta 200 millones de dáltones (Geronimo Betanzos, 2022).

Figura 6. Estructura química de la amilopectina



Fuente: (Lagunes Delgado, 2021)

El almidón varía sus cantidades presentes de acuerdo con su fuente de origen, a pesar de ello, el porcentaje de amilosa varía entre el 20 al 25% mientras que la amilopectina varía un 75 al 80% restante (Rivera Quiña & Vilchez Orellana, 2020), ambos constituyen el 99% en peso y menos del 1% lo componen proteínas, lípidos y minerales (León Méndez, León Méndez, Monroy Arellano, De La Espriella Angarita, & Herrera Barros, 2020). En la siguiente tabla (Tabla 5) se muestra el contenido de amilosa y amilopectina de diferentes fuentes botánicas:

Tabla 5. Porcentaje de amilosa y amilopectina de las fuentes botánicas

Fuente botánica	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Yuca	16-20	84-80
Maíz	28	72
Papa	23-31	77-69
Arroz	20-30	80-70
Trigo	30	70
Ñame	24-27	76-73
Durazno	12.4	66.6
Plátano	18.5	81.5

Fuente: (Rivera Quiña & Vilchez Orellana, 2020).
Elaborado por: Los autores.

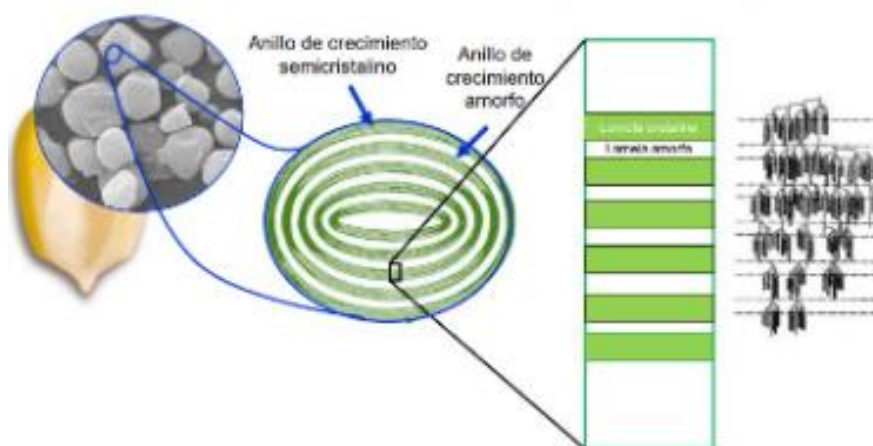
El almidón ha sido altamente estudiado a causa de su bajo costo, su biodegradabilidad y disponibilidad (León Méndez, León Méndez, Monroy Arellano, De La Espriella Angarita, & Herrera Barros, 2020).

2.3.2 Propiedades

Según datos extraídos de la investigación de (López Silva, 2019), el almidón está conformado por estructuras llamadas gránulos, dependiendo de la fuente botánica puede variar su tamaño, aproximadamente miden de 1-100 μm de diámetro. También, en una prueba de microscopía de barrido de electrones (MBE) utilizada para la caracterización morfológica del almidón, se pudo encontrar gránulos de forma ovalada, redonda, poligonal, esférica, lenticular e incluso formas irregulares.

Los gránulos de almidón son considerados como semicristalinos por presentar zonas amorfas y cristalinas como se muestra en la Figura 7, la amilopectina crea ramificaciones, los cuales se alinean perpendicularmente a la superficie del granulo y conectan intercaladamente con la amilosa, a su vez forma anillos de crecimiento, estos anillos crecen de forma radial (Geronimo Betanzos, 2022).

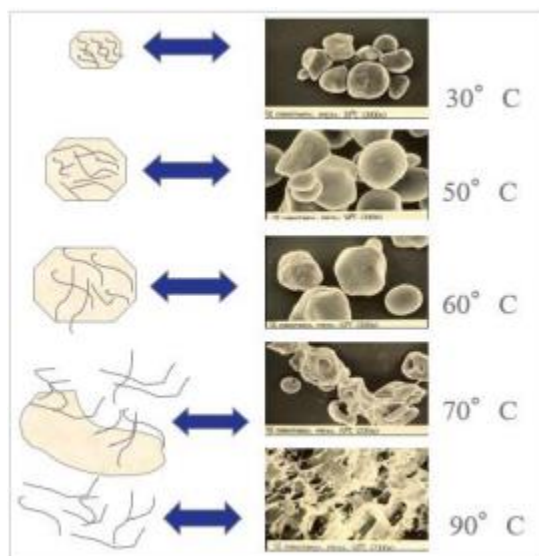
Figura 7. Representación esquemática de la estructura granular de almidón



Fuente: (Geronimo Betanzos, 2022)

El almidón es insoluble en agua fría, pero tiene la capacidad de ser un material termoplástico, al presentar múltiples grupos -OH en su estructura molecular, puede absorber agua cuando se pone en contacto caliente con este líquido. Cuando el almidón se calienta en un medio acuoso, los puentes de hidrogeno de las zonas amorfas se rompen y los gránulos se hinchan al absorber el agua, este proceso es denominado gelatinización (López Silva, 2019). La gelatinización es una propiedad física del almidón se produce a cierta temperatura (Figura 8), aumentando su tamaño que puede ser reversible, perdiendo su cristalinidad debido a la ruptura de enlaces amilosa y amilopectina, originando un gel viscoso (Rivera Quiña & Vilchez Orellana, 2020). La amilosa ayuda a la formación de una estructura gelificada mientras que la amilopectina aumenta la viscosidad de los líquidos (Santis Correa, 2022).

Figura 8. Gelatinización del almidón



Fuente: (Santis Correa, 2022)

La retrogradación se da cuando el almidón luego de ser gelatinizado se expone a temperaturas frías provocando la formación de nuevos enlaces entre el almidón y el agua para dar lugar a una estructura cristalina (Rivera Quiña & Vilchez Orellana, 2020).

El comportamiento térmico del almidón implica un proceso de gelatinización, fusión, transición vítrea, cristalización, cambio en su estructura cristalina, expansión de volumen, degradación molecular y movimiento de agua. Estos comportamientos dependen del contenido de agua, además que la porción de agua y almidón no son constantes (López Silva, 2019).

(León Méndez, León Méndez, Monroy Arellano, De La Espriella Angarita, & Herrera Barros, 2020) dice en su estudio “que el almidón en su estado nativo tiene limitaciones en la fragilidad, baja estabilidad térmica, tendencia a la retrogradación, daño en las propiedades mecánicas, alta viscosidad y en algunos casos incompatibilidad con algunos solventes y polímeros.”

2.3.3 Usos y aplicaciones

El almidón es utilizado en la industria farmacéutica, alimenticia, textil, cosmética y demás, por sus diversas propiedades y características son suficientes para la fabricación de varios productos. Es utilizado en la elaboración de tintas, usado como aglutinante, ligante, texturizaste y como agente de dispersión.

En la industria alimenticia sin duda es donde ocupa mayores aplicaciones, ya que es utilizado para mejorar la estabilidad de los alimentos durante su almacenamiento, es empleado como espesante, estabilizador coloidal y agente gelificante por lo cual se dispone como ingrediente en salsas, bebidas, embutidos y alimentos fermentados. (Geronimo Betanzos, 2022).

“En la industria papelera fortalece el producto final, ya que el almidón ayuda a la estructura de la celulosa, dando una mayor calidad” (Erazo Hidalgo, 2021).

Otras industrias donde se utiliza el almidón son como adictivo en cemento, este mejora el tiempo de curado de este, en la perforación de pozos petroleros proporciona viscosidad en los lodos, adictivo en enyesado, en elaboración de fertilizantes, envases y adhesivos (Alarcón Cañola & Caicedo Cañola, 2021).

En los últimos años se ha utilizado para atender una de las problemáticas más importantes del planeta: los plásticos. El almidón como componente del bioplástico genera un material homogéneo amorfo, con propiedades manejables, que permite el moldeo de una película o recubrimiento (Geronimo Betanzos, 2022).

La cantidad de amilosa presente en el almidón puede variar propiedades térmicas, morfológicas y mecánicas de los bioplásticos. La resistencia de tracción es una propiedad mecánica, que consiste en medir la fuerza sin que se dañe o se rompa el compuesto, este se encuentra relacionado con la amilosa, si hay mayor cantidad de amilosa en el almidón, mayor será la resistencia de tracción (Rivera Quiña & Vilchez Orellana, 2020).

2.3.4 Producción

“Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) su producción mundial en 2015 fue de cerca 85 millones de toneladas” (López Silva, 2019).

En el estudio de (Meneses Sanjuan, 2022) menciona que el mercado internacional del almidón estaba avaluado en el 2020 por 55,047.80 millones de dólares y se estima que para el año 2026 estará evaluado en 69,354.22 millones de dólares por su aplicación en el sector alimenticio, lo que registra una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 5.73%. Dice, que Norte América es la región con más dominio en el mercado, también que el almidón de maíz es el más comercial y se proyecta que para el año 2026 tenga un CAGR 5,17%.

2.4 Ácido acético

2.4.1 Estructura química

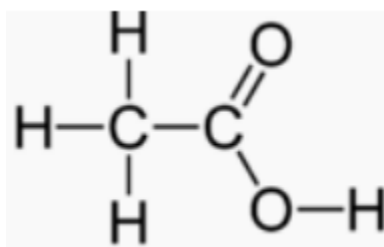
También nombrado como ácido metilencarboxílico o de acuerdo con la IUPAC ácido etanoico (Manosalva Chicoma, 2019), es un ácido diluido en agua con una concentración de 3-5%, en estas condiciones su estado es líquido (Erazo Hidalgo, 2021). En su forma cien por ciento pura se le denomina ácido acético glacial, es decir en ausencia de agua. (Manosalva Chicoma, 2019)

Está compuesto por un grupo metilo en un enlace simple junto con un grupo carboxílico el responsable de las propiedades acidas a la molécula, como se muestra en la Figura 9.

Fórmula semidesarrollada: $\text{CH}_3\text{-COOH}$

Fórmula estructural: $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$

Figura 9. Estructura química del ácido acético



Fuente: (Troya Soriano, 2019)

Es un ácido orgánico producido por bacterias *Gluconobacter* (Aldaz Veliz & Álvarez Castillo, 2021). También se forma cuando el etanol se combina con el oxígeno del aire, formando ácido etanoico y agua, lo que se le conoce como oxidación del etanol. Así mismo, se obtiene por carbonilación del metanol o de forma sintética a partir del acetaldehído (Delgado Sánchez, 2020; Aldaz Veliz & Álvarez Castillo, 2021).

2.4.2 Propiedades

Es un líquido incoloro, higroscópico de olor fuerte e irritante con sabor agrio. También puede ser un sólido similar al hielo a temperaturas inferiores a 17°C , mejor conocido como ácido acético glacial (Cáceres Espitia, Caycedo Lozano, & Trujillo Suárez, 2022), en la Tabla 6 se extraen las principales propiedades físicas del ácido acético.

Tabla 6. Propiedades de ácido acético

Propiedad	Valor
------------------	--------------

<i>Peso molecular (g/mol)</i>	60.02
<i>Punto de fusión (K)</i>	289.81
<i>Punto de ebullición (K)</i>	391.05
<i>Densidad (kg/m³)</i>	1049
<i>Temperatura crítica (K)</i>	591.95
<i>Presión crítica (bar)</i>	57.86

Fuente: (Troya Soriano, 2019)

Elaborado por: Autores

Es un compuesto volátil, inflamable, reacciona en ácidos o bases y a 16.7°C puede irritar la piel (Aldaz Veliz & Álvarez Castillo, 2021). En concentraciones muy altas corroe el metal y degrada plástico, así como también el caucho (Delgado Sánchez, 2020).

Es soluble en agua, alcohol, éter, glicerina, acetona, benceno y tetracloruro de carbono. Se disuelve en compuestos orgánicos e inorgánicos como azufre y fósforo, no obstante, es insoluble en sulfuro de carbono (Manosalva Chicoma, 2019).

En investigaciones previas se corrobora que posee una propiedad desinfectante, es apropiado para impedir el crecimiento de microorganismos, sin ocasionar daño al medio ambiente y su efecto se potencializa con la temperatura, concentración o pH.

La toxicidad del ácido acético en concentración ≤ 24.00 ppm, causa irritación en ojos y vías respiratorias. La administración accidental provoca regurgitaciones, hematemesis o ulceraciones (Aldaz Veliz & Álvarez Castillo, 2021). Es corrosivo con el metal, plástico, así como también el caucho o goma (Delgado Sánchez, 2020).

2.4.3 Usos y aplicaciones

Es el componente principal del vinagre blanco, cuenta con un 5 u 8% de concentración de ácido acético, proviene de la fermentación acética del vino. En la

industria alimentaria, en concentraciones bajas se usa como aditivo alimentario, saborizante y conservante. (Delgado Sánchez, 2020).

Recalca (Aldaz Veliz & Álvarez Castillo, 2021) en su investigación, que el ácido acético glacial tiene pocas aplicaciones en la industria alimenticia, sin embargo, es usado en la acidificación y saborizante de fruta, verdura, aderezos de ensaladas, salchichas y repostería.

Se utiliza en la industria química como reactivo químico, para la elaboración de productos como tintes, pigmentos y adictivos de pinturas, artículos de plástico como botellas y materiales sintéticos, en la impresión sobre tela, como disolvente limpiador, detergentes e insecticidas. En la industria petrolera es utilizado para revestir y tratar superficies de automóviles, se asocia como un ingrediente del pegamento de madera y otros selladores.

En la rama médica, se usa como bactericida y se adiciona en soluciones para la producción de fármacos como, gotas para los oídos, soluciones para eliminar verrugas, o en concentraciones bajas para el tratamiento de heridas e infección de hongos. (Delgado Sánchez, 2020).

(Cáceres Espitia, Caycedo Lozano, & Trujillo Suárez, 2022) menciona en su artículo, que por su alto grado de acidez del ácido acético es efectivo para detener un crecimiento de microorganismos como el *Staphylococcus aureus* y para *E. coli*.

En los últimos tiempos el ácido acético tiene un nuevo campo de aplicación para la elaboración de bioplásticos, ya que descompone la amilopectina de los almidones, para que el almidón disponga de largas cadenas rectas que permiten obtener un plástico con mejores propiedades (Erazo Hidalgo, 2021).

2.4.4 Producción

Según en un informe realizado por (Grand View Research, 2022) en el año 2022, el mercado mundial del ácido acético se valoró en 21,39 mil millones de dólares. Se conjetura entre 2022 y 2030 una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del

4.9%, se estima una previsión de ingresos en el 2030 de 31,9 mil millones de dólares.

Asia-Pacífico dominó el mercado en 2021 con ingresos del 48.8%, por demanda del ácido acético en la aplicación de industrias como la construcción, farmacéutica, automotriz y textil. Se pronostica una alta demanda del mercado de ácido acético en África y Medio oriente, por la industria farmacéutica en busca de medicamentos y en ámbito de países como Estados Unidos, Canadá, México Alemania, Bélgica, Países Bajos, Polonia, India, Japón, Corea del sur Brasil, Argentina, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Qatar y Baréin.

En Norte América, el mercado de ácido acético va en aumento por su alta demanda en la industria de alimentos y bebidas, pinturas, revestimientos y en la industria cárnica posicionándose en uno de los principales mercados de aplicación de la región. El crecimiento del ácido acético se les atribuye a las múltiples aplicaciones para la fabricación de productos, es comercialmente barato y fácil usar.

2.5 Bioplástico

2.5.1 Definición

(Alucho Pasto, Ramos Naranjo, & Saltos Segura, 2021) señalan que los biopolímeros son materiales poliméricos sintetizadas por procesos biológicos o por vía química a partir de monómeros naturales o idénticos, son asimilables por varias especies (biodegradables) por lo que no tienen un efecto toxico al entorno (biocompatible). La creación de estos productos ayuda a reducir el impacto que tiene sobre el medio ambiente debido a la degradación rápida en comparación con los plásticos de procedencia fósil. (López Calvopiña, 2022).

2.5.2 Conformación

Los bioplásticos parten de residuos vegetales, animales y cultivos de microorganismos pueden dar origen a la materia prima de los biopolímeros, no obstante, estos biomateriales son mezclados con compuestos sintéticos u orgánicos

(plastificantes, adictivos y/o fibras) para mejorar las propiedades físicas y perfeccionar su calidad (López Calvopiña, 2022).

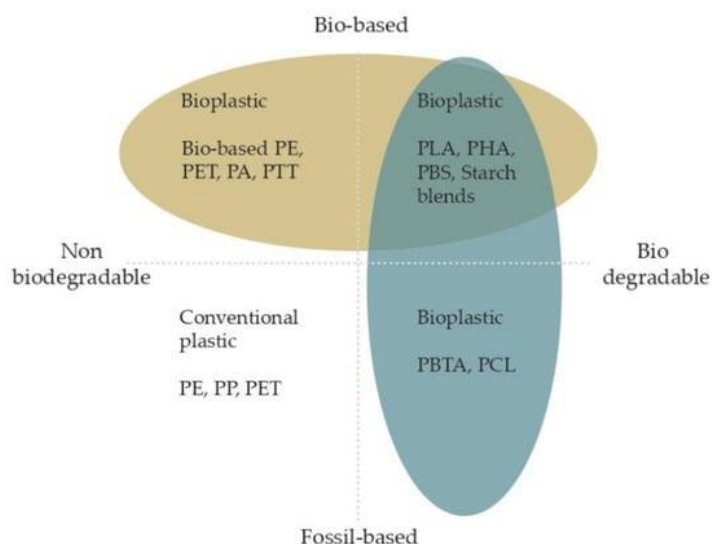
Los plastificantes más usados son los polioles, como el glicerol, manitol o sorbitol. Los bioplásticos semirrígidos se refuerzan con fibras naturales para mejorar la resistencia del material como el fiquel, sisal, lino, bambú, yute, etc.

El interés de los bioplásticos se ha centrado en materiales con extensa disponibilidad, características homogéneas y bajo costo, entre los cuales se han estudiado subproductos agrícolas o de actividades pesqueras (Galeano León, 2021).

2.5.3 Tipos

Los bioplásticos se clasifican a partir de su proceso de elaboración, por lo antes mencionado se dividen en 3 grandes grupos. La clasificación sigue la definición dada por European Bioplastics que distingue los polímeros de base biológica, biodegradables o ambos. Cabe resaltar que la palabra “Bio-based” no es sinónimo de “biodegradable”, si no, hace referencia a un material que se degrada como consecuencia de la acción de determinados microorganismos (Oberti & Paciello, 2022), como se muestra en la siguiente figura (Figura 10).

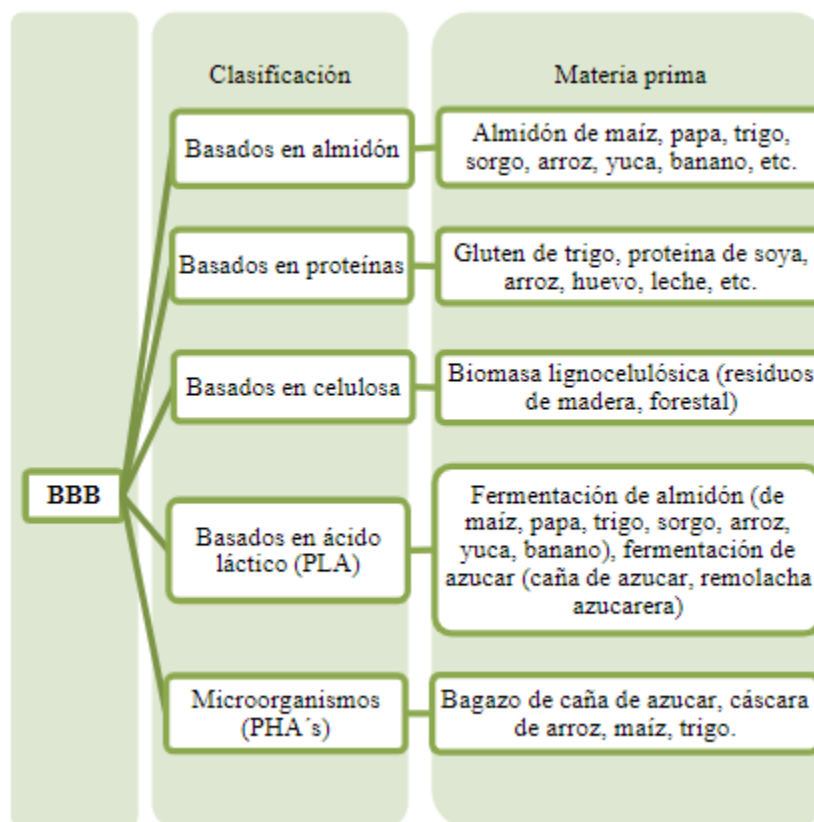
Figura 10. Clasificación de los bioplásticos



Los bioplásticos, por tanto, son:

- De base biológica, derivado de materias prima naturales renovales;
 - Biodegradable, de origen sintético, pero se degrada rápidamente;
 - Bio-basado y biodegradable, posee propiedades de origen natural y se degrada rápidamente.
- I. Plásticos de base biológica: Son polímeros originados a partir de biomasa vegetal, producto de la fermentación microbiana y polímeros de origen animal para repetir el ciclo de vida de la biomasa (Holguin Castañeda, 2021). Los bioplásticos biobasados biodegradables (BBB) corresponden a los basados en almidón, proteína, celulosa, ácido poliláctico (PLA) y los producidos por microorganismos (PHA's) como se indica en la Figura 10. (Vargas García, Pazmiño Sánchez, & Dávila Rincón, 2021)

Figura 11. Biomasa para la producción de bioplásticos, biobasados, biodegradables



Fuente: (Vargas García, Pazmiño Sánchez, & Dávila Rincón, 2021)

- I. Plástico biodegradable de origen fósil: Proviene del petróleo que se descompone por la acción de elementos naturales rápidamente, por ejemplo, el polietileno (PE) que se disuelve en agua, tereftalato de adipato de polibutileno (PBAT) que se degradan biológicamente en el suelo, asimismo succinato de polibutileno (PBS), policaprolactona (PCL), ácido poliglicólico (PGA) y alcohol polivinílico (PVOH); poliésteres aromáticos como tereftalato de polibutileno, etc.
- II. Plásticos biodegradables de base biológica: Son sintetizados por bacterias o productos derivados total de biomasa orgánica y son biodegradables como el ácido poliláctico (PLA), los polihidroxialcanoatos (PHA's), el polibutileno succinato (PBS) y mezclas de almidón (Oberti & Paciello, 2022).

2.5.4 Normas

Las normas consideradas para la obtención, degradación y pruebas fisicoquímicas del bioplástico a partir del mucilago del Aloe vera se describen en el siguiente cuadro:

Tabla 7. Normas para la obtención y biodegradación del biopolímero

<i>Norma</i>	<i>Título</i>
<i>ASTM D6400-22</i>	“Especificación estándar para el etiquetado de plásticos diseñados para compostaje aeróbico en instalaciones municipales o industriales”
<i>ISO 14855-2:2018</i>	“Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje-Método mediante el análisis de dióxido de carbono producido Parte 2: medición gravimétrica de dióxido de carbono desprendido en una prueba a escala de laboratorio.”
<i>ASTM D2240-15</i>	“Este método de prueba se basa en la penetración de un tipo específico de indentador cuando se fuerza en el material bajo condiciones específicas.”
<i>ASTM D638</i>	“Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos.”
<i>ASTM D5338-15</i>	“Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas, incorporando temperaturas termófilas.”

UNE-EN ISO1666	“Almidones y féculas. Determinación del contenido en humedad. Método de desecación en estufa. (ISO 1666:1996).”
-----------------------	---

Fuente: Autores

- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- Normalización Española (UNE-EN)
- International Standards Organization (ISO)

2.5.5 Biodegradación

La biodegradación es provocada por la acción enzimática de microorganismos (hongos, bacterias, entre otros), también llamado mineralización. Estos microorganismos convierten cadenas complejas en moléculas más simples o componentes menores como en dióxido de carbono (CO₂), metano, agua y biomasa (Frank Junior, 2021; López Calvopiña, 2022). El grado de biodegradabilidad depende de los factores ambientales, como la humedad, la presión parcial del oxígeno, temperatura, pH del suelo, y composición de la flora microbiana (Rimac León, 2019).

2.5.6 Ventajas y desventajas

Ventajas

- Tienen una degradación al 100%.
- Son moldeables, impermeables y de baja densidad.
- Ayudan con la contaminación ambiental, no generan residuos.
- Preserva fuentes de energía no renovables.
- Poseen características similares a los plásticos convencionales, por ser termoplásticos.
- Son creados a partir de recursos renovables.
- Para su producción, no es necesario un alta cantidad de agua.

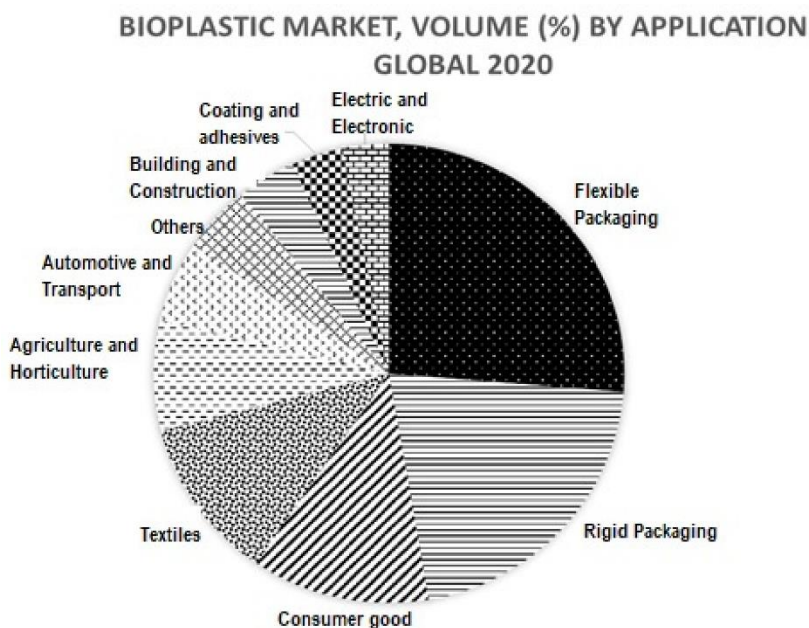
Desventaja

- Los costos de producción y precio, suelen ser mayores que los plásticos derivados de industrias petroquímicas, pero el uso de bioplásticos aumentará por las ventajas competitivas.

2.5.7 Aplicaciones

El uso de bioplásticos abarca desde empaques, alimentos, electrónica, cosméticos, vehículos, agricultura, juguetes, textiles, entre otras cosas como se muestra en la Figura 12. Sin embargo, desde el 2020 el uso de bioplásticos en la industria del embalaje se reconoce como el mercado más grande, con el 47% de participación poco más o menos de 1 millón de toneladas del total de bioplásticos producidos (Nanda, Patra, Patel, Bakos, & Dalai, 2022). Los bioplásticos tienen aplicaciones de empaque protegiendo y preservando la calidad de los productos. En aplicación de envases son producidos sobre todo en la industria alimenticia para el envasado de alimentos y bebidas, pero también para cosméticos, salud, etc., garantiza un transporte seguro de productos y de bajo costo.

Figura 12. Uso del bioplástico a nivel mundial 2020



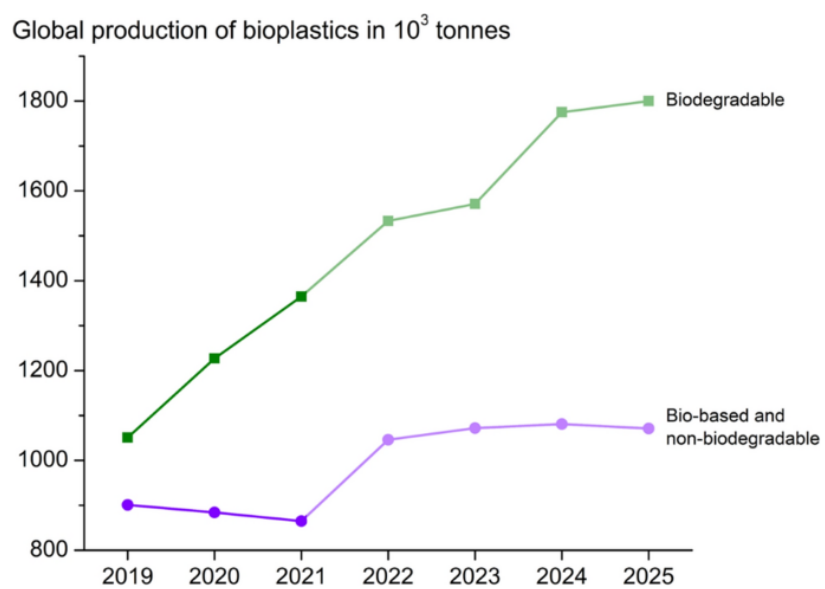
Fuente: (Ibrahim, y otros, 2021)

2.5.8 Producción de bioplásticos

Según un estudio por European Bioplastics (2021), se considera un crecimiento del mercado global de bioplásticos día con día con una proyección de 20 millones de dólares para 2026. La producción global de bioplásticos en 2020 fue más de 2,1 millones de toneladas y se calcula que aumente a 2.9 millones para el año 2025. Asia es el mayor productor de bioplásticos con el 46% del total producidos a nivel mundial, seguido de Europa con el 26%, América del Norte el 17% y América del Sur con el 10% de la producción total (Nanda, Patra, Patel, Bakos, & Dalai, 2022).

En Europa, los bioplásticos representan el 1% de los 320 millones de toneladas de plástico que se fabrica al año, a pesar de que se ha demostrado que pueden cubrir necesidades de productos básicos. Se ha comprobado que la industria de bioplásticos es un sector joven e innovador. Se estima que el ácido poliláctico (PLA), las mezclas de almidón y los polihidroxialcanoatos (PHA) son los principales productos utilizados para la fabricación de biopolímeros en 2020 a 2025 (Ibrahim, y otros, 2021). Desde el 2019 se conjetura que la producción mundial de los plásticos biodegradables aumente relativamente a la de los plásticos no biodegradables y continúe en los próximos años, como se observa en la Figura 13 (Nanda, Patra, Patel, Bakos, & Dalai, 2022).

Figura 13. Producción global de bioplásticos



Fuente: (Nanda, Patra, Patel, Bakos, & Dalai, 2022)

CAPITULO III. DESARROLLO

La metodología para el desarrollo de este proyecto se basó en la experimentación y se determinó como consecuencia de la investigación documental realizada. Las fuentes analizadas provinieron de una serie de investigaciones científicas halladas en *Google Académico*. Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Usos Múltiples del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, la técnica principal de la experimentación fue prueba y error. Se realizaron más de 40 pruebas en el laboratorio, las cuales sirvieron para mejorar las pruebas finales, teniendo como objetivo llegar a la muestra de bioplástico deseable.

3.1 Materiales y descripción del proceso

Para la recolección de la sábila se cortó el extremo inferior de la hoja de forma vertical, posteriormente se introdujo la penca en la cubeta con agua destilada, de forma que la parte del corte de la hoja quedo en el fondo y la mitad de la penca quedo cubierta de agua, se dejó reposar por 24 horas, con la finalidad de eliminar el yodo de la sábila.

De la penca de sábila se extrajo el mucilago, con el cuchillo se cortó la parte de los bordes duros y cutícula de la hoja. Después, se raspo la cutícula con el cuchillo para extraer la mayor cantidad de mucilago, luego en un vaso precipitado de 250 ml. se pesó.

En un vaso precipitado de 100 ml. se mezcló la glicerina, el ácido acético glacial y almidón. Seguidamente, se agregó la mezcla a la licuadora junto con el mucilago pesado y se trituro hasta obtener una mezcla totalmente homogénea. Después se pasó la mezcla a un vaso precipitado de 1 litro y se dejó reposar por unos 10 minutos, hasta deshacer la espuma hecha por la licuadora.

Luego la mezcla se colocó sobre la parrilla de agitación con calefacción a temperatura de 80°C y 1000 rpm por 10 minutos. Se retiró la mezcla de la parrilla de calentamiento al obtener una masa consistente, homogénea y maleable de color blanquecino opaco, misma que se dejó reposar por 10 minutos.

Finalmente se vertió la masa de mezclado en un recipiente de aluminio con papel encerado y se esparció con ayuda de una espátula de silicón de la manera más uniforme posible (método casting). Se dejó secar por aproximadamente 24 horas y al final se obtuvo un bioplástico. (Anexo A)

3.2 Pruebas

3.2.1 Humedad

Para la determinación de la humedad del biopolímero se basó en la Norma UNE-EN ISO1666, el porcentaje de humedad se determinó por gravimetría.

Se pesaron muestras de bioplástico, las cuales tenían un tamaño de 5 cm x 5 cm, se colocaron en crisoles de porcelana previamente secados y pesados, luego se introdujeron en la estufa, para eliminar la humedad hasta peso constante a temperatura de 105°C

Los crisoles se retiraron de la estufa y se dejaron enfriar en desecador. Cada crisol fue destinado a distintos tiempos. Luego de esto, el cálculo se realizó en porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{(P_i - P_f)}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

Donde: P_i = Peso del crisol + Peso de muestra húmeda

P_f = Peso del crisol + Peso de muestra seca

3.2.2 Dureza

Basado en la Norma ASTM D2240 donde cubre la determinación de las propiedades mecánicas de los plásticos rígidos reforzado y no reforzados, la prueba fue medida con un dispositivo llamado durómetro.

Se cortaron piezas de 2 cm x 2 cm de muestra de biopolímero y se sometió a penetración por parte del punzón del durómetro hasta que las fibras interiores de la muestra se fragmentaron. Apuntar la lectura que marca el durómetro. La prueba se

repitió dos veces a cada formulación de bioplástico a una fuerza constante de 50gf durante 15 segundos.

3.2.3 Resistencia a la tracción

Se llevó a cabo en una maquina universal con índices de tracción que varían de 1 a 500 kN hasta que la probeta de muestra falla (ruptura). Siguiendo la norma ASTM D638 que mide una gran variedad de propiedades de tracción distintas, se determinó la resistencia a la tracción y elongación.

Las muestras evaluadas tenían las siguientes dimensiones; 21 cm de largo, 2.5 cm de ancho y 0.7 cm de grosor. Las muestras se colocaron en mordazas lisas y se ajustaron firmemente para evitar el deslizamiento de la muestra. Por último, se registró la extensión en el momento de ruptura.

3.2.4 Biodegradabilidad

Siguiendo la norma ISO 14.855 y la norma ASTM D5338 se determinó el criterio de biodegradabilidad del biopolímero.

Para la realización de las pruebas de biodegradación se realizó el estudio en tres factores ambientales, agua, aire y suelo, la descomposición en medio aerobio y anaerobio fue valorada durante 60 días. En la determinación de la biodegradación se utilizaron recipientes de aluminio para cada tipo de prueba que fue realizada. El bioplástico consto de medidas de 3 cm x 3 cm, que fue debidamente pesada en una balanza analítica.

Para la prueba en suelo, el recipiente fue llenado al menos 2 centímetros de suelo como base, se colocó la muestra a la capa añadida y se cubrió con más cantidad de suelo para enterrar en su totalidad, hasta cubrir aproximadamente 6 cm del recipiente. En la prueba de agua, el bioplástico fue sumergido por al menos 7 centímetros del recipiente de aluminio. El suelo utilizado fue previamente estudiado dando un pH de 7.

Para determinar el área perdida de la muestra, se calculó mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Degradación} = \frac{P - P_f}{P} \times 100$$

Donde: P= Peso inicial de la lamina del bioplastico

P_f= Peso final de la lamina del bioplastico

CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Experimentación de bioplástico

Se realizaron 45 formulaciones diferentes, las cuales permitieron mejorar la calidad del bioplástico para próximas experimentaciones a realizar. Dichas formulaciones consistieron en la variación de cantidades en las sustancias y equipos.

Se eligieron 2 de las mejores biopelículas con formulaciones diferentes (Tabla 8).

Tabla 8. Formulaciones

Sustancia	Muestra 17	Muestra 23
Mucilago	47.5%	70%
Agua	25%	-
Glicerina	10%	15%
Ácido acético	10%	7.5%
Almidón	7.5%	7.5%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.2 Propiedades físicas del bioplástico

La mezcla fue homogenizada y se colocó en moldes de acero inoxidable para permitir que se solidifique. Una vez solidificado, se observó y se determinaron las propiedades físicas de las muestras obtenidas (Tabla 9).

Tabla 9. Comparación de propiedades físicas de las muestras

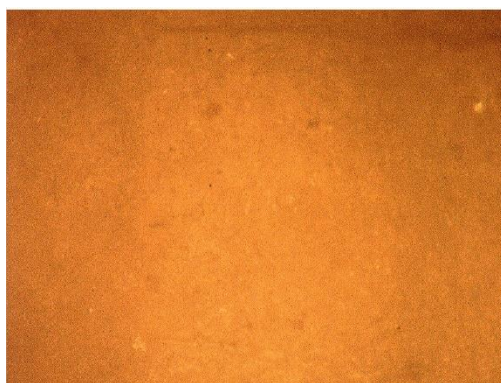
Propiedades	Muestra 17	Muestra 23
Color	Ligero color verde transparentoso	Ligero color verde transparentoso
Olor	Ligero aroma a ácido acético	Sin aroma

Textura	Suave, uniforme, flexible similar a la silicona	Similar a las bolsas de plástico, lisa y flexible
Imagen		

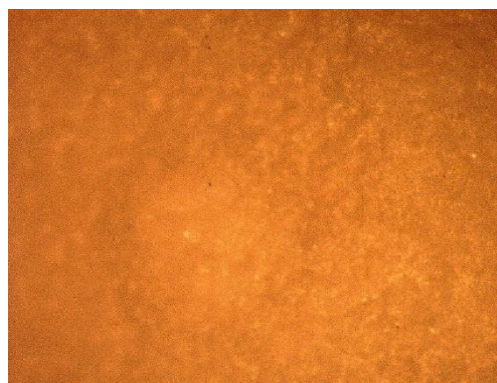
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Dichos bioplásticos fueron vistos bajo un microscopio a 10x. (Figura 14)

Figura 14. a. Muestra biopolímero 17; b. Muestra biopolímero 23



a)



b)

La muestra 17 tiene una aparecía homogénea, mientras que la muestra 23 presenta algunos detalles de textura, esto se debe a la homogenización en la licuadora. Sin

embargo, la muestra 23 indico mejores resultados a los deseados observando una mejor resistencia y rigidez a las demás.

4.3 Prueba de humedad

En la tabla 10 muestra el análisis de humedad del bioplástico:

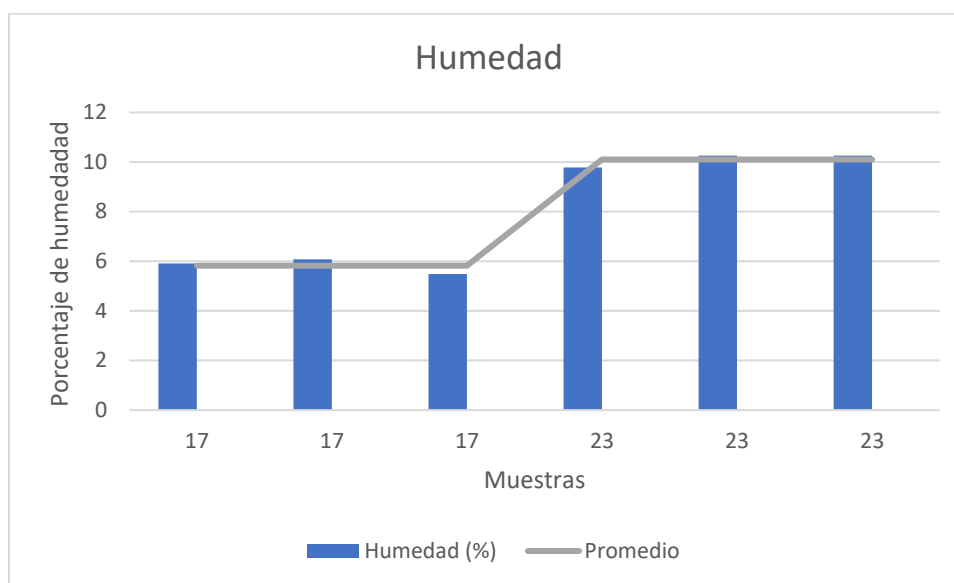
Tabla 10. Prueba del % de humedad

Muestra	Peso de la muestra húmeda (gr)	Peso de crisoles + muestra húmeda (gr)	Tiempo en la estufa (min)	Peso de crisoles + muestra seca (gr)	% Humedad	Promedio % Humedad
17	0.79	43.62	30	43.58	5.91	5.82
	0.82	43.17	60	43.12	6.07	
	0.69	43.50	90	43.46	5.48	
23	1.54	41.12	30	40.97	9.78	10.10
	2.00	45.93	60	45.73	10.26	
	1.53	40.97	90	40.81	10.25	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la tabla anterior, se muestra que el mayor porcentaje de humedad es la muestra 23 con un 10.10% con gran diferencia de la muestra 17 con 5.82% respectivamente. Estos datos son importantes con respecto a la biodegradación, ya que mayor humedad la biodegradación será más rápida (Reyes Oré, 2020).

Figura 15. Resultados de % de Humedad



Fuente: Elaboración propia, 2023.

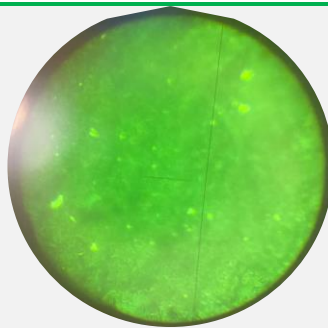
En la Figura 15, se muestra la gráfica de determinación de humedad de los bioplásticos elaborados con el mucilago de la planta de aloe vera.

4.5 Prueba de dureza

La escala a la que se evaluó es Shore A ya que se utiliza habitualmente para plásticos blandos como es el biopolímero obtenido, en la siguiente tabla (Tabla 11) se muestran los resultados de la prueba de dureza.

Tabla 11. Resultados de dureza SHORE A

Muestra	Dureza por penetración (Dureza SHORE A)	Penetración
17	22.3	

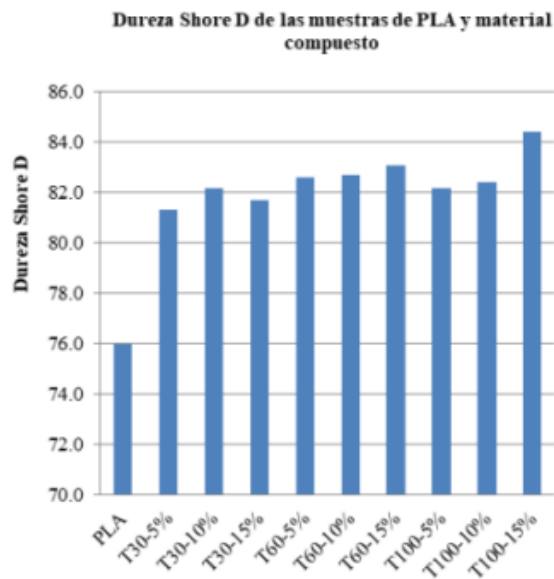
	22.0	
23	22.8	
	23.4	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Los valores entre 0-30 representan un material muy suave y los valores mayores a 90 son los valores que son más difíciles de penetrar, por lo tanto, el bioplástico obtenido en este estudio es un material de una dureza baja y puede ser comparado con la dureza de una plantilla y un caucho de goma.

El bioplástico de mucilago de aloe vera en comparación del ácido poliláctico (PLA) es mucho más débil; el ácido poliláctico tiene una dureza SHORE de 76.0 y se caracteriza por ser un bioplástico de uso comercial, duro y resistente (Ruiz Galiano, 2022), tal como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Dureza SHORE del ácido poliláctico



Fuente: (Ruiz Galiano, 2022).

4.6 Prueba de resistencia a la tracción

A continuación, en la Figura 17, se muestra el resultado de la lámina antes de someterse al ensayo mecánico, durante y después de este.

Figura 17. Antes, durante, después de someterse al ensayo mecánico



En la tabla 12, se observan los resultados arrojados en la prueba de resistencia a la tracción de cada biopelícula, la prueba se repitió 2 veces a cada formulación.

Tabla 12. Prueba de resistencia a la tracción

Muestra	Fuerza (N)	Elongación (%)
17	50	5.14
	45	7.08
23	65.7	2.87
	11.7	16.29

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La muestra 23 obtuvo la fuerza máxima soportada durante el ensayo de 65.7N y una máxima elongación del 16.29%. Así mismo, obtuvo la menor carga de fuerza (11.7N) y elongación (2.87%). Mientras que la muestra 17 obtuvo resultados promedios, con poca diferencia con respecto a sus dos pruebas.

En la siguiente grafica (Figura 18), se representa el comportamiento de las biopelículas en la prueba de resistencia a la tensión de los cuatro ensayos, mediante un gráfico fuerza de tracción contra %elongación.

Figura 18. Gráfico Fuerza de tracción vs %Elongación



Fuente: Elaboración propia, 2023.

De acuerdo con lo expuesto, las muestras 17(1) y 23(1) sometidas a ensayos mecánicos reflejan un módulo de elasticidad competitivo en comparación al PLA, dado que, el PLA tiene 47N por su distribución de partículas que hace que con el aumento de carga este aumente la resistencia a la ruptura (Ruiz Galiano, 2022).

4.7 Prueba de biodegradabilidad

La Tabla 13 indica la pérdida de peso de las diferentes muestras relacionadas con los resultados obtenidos en el ensayo de biodegradación

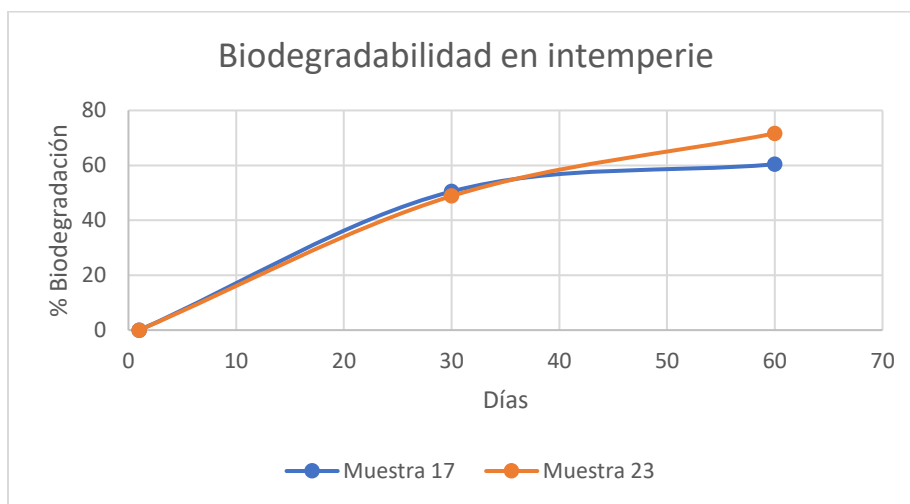
Tabla 13. Peso perdido de las muestras ensayadas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final 30 días (g)	%	Peso final 60 días (g)	%
Intemperie					
17	0.20	0.10	50.49	0.08	60.39
23	0.34	0.17	48.83	0.09	71.63
Agua					
17	0.33	0.14	58.70	-	100
23	0.30	0.12	59.27	-	100
Suelo					
17	0.34	0.27	36.73	0.17	50.43
23	0.34	0.19	44.60	0.10	69.38

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En el siguiente grafico (Figura 19) se determina la variación de biodegradación en aire para los dos bioplásticos, existiendo mayor descomposición de la muestra 23.

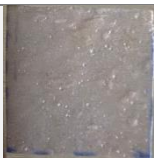
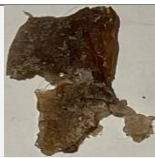
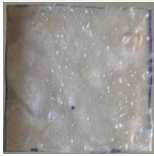
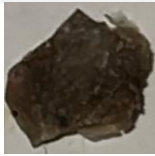
Figura 19. Resultados de la biodegradación en intemperie del bioplástico



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La siguiente tabla (Tabla 14) muestra el cambio que se obtuvo de la biodegradación en intemperie por 30 y 60 días.

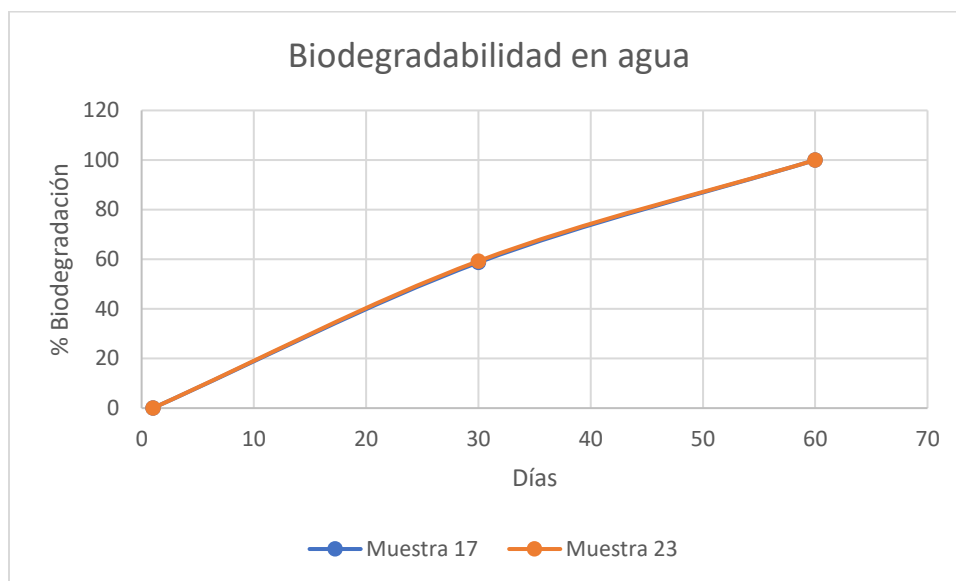
Tabla 14. Resultados de biodegradación en intemperie

Muestra	Día 1	Día 30	Día 60
17			
23			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

El siguiente grafico (Figura17) determina que la biodegradación en agua resultó muy buena para ambos bioplásticos, así como se puede observar.

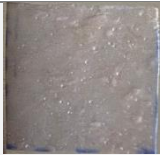
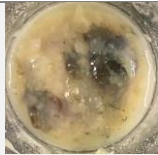
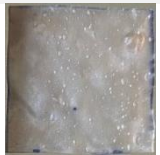
Figura 20. Resultados de la biodegradación en agua del bioplástico



Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la Tabla 15 se visualiza el cambio que se obtuvo a consecuencia de la biodegradación en agua por 30 y 60 días.

Tabla 15. Resultados de biodegradación en agua

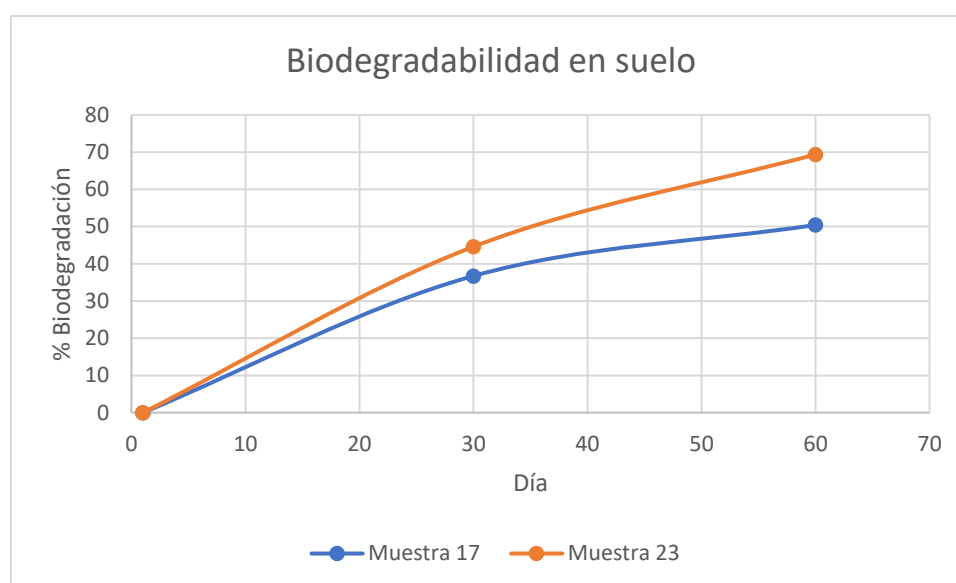
Muestra	Día 1	Día 30	Día 60
17			
23			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

A los 60 días ya no existían partículas de bioplástico, el agua estaba infestada en su totalidad de microorganismos y hongos que ayudaron a desintegrarlo completamente.

En la Figura 21 se visualiza que la biodegradación es mayor en la muestra 23, ya que corresponde a más del 50% de su tamaño original, mientras que en la muestra 17 su descomposición a los 60 días corresponde a un 50%.

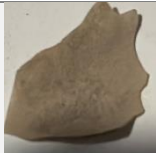
Figura 21. Resultados de la biodegradación en suelo del bioplástico



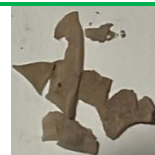
Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la siguiente tabla (Tabla 16) se visualiza el cambio que se desarrolló de la biodegradación en suelo por 30 días y 60 días.

Tabla 16. Resultados de biodegradación en suelo.

Muestra	Día 1	Día 30	Día 60
17			

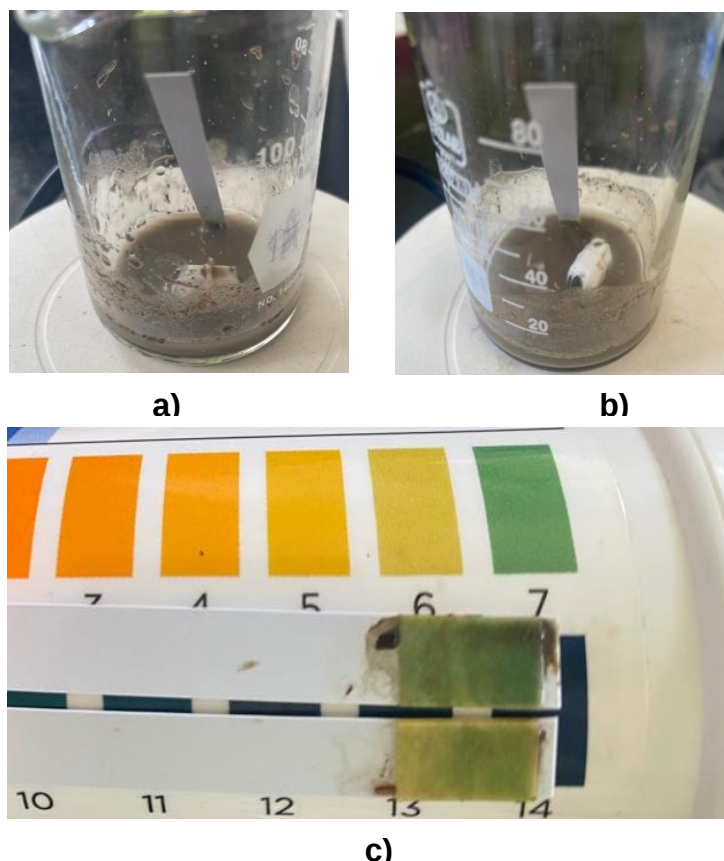
23



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Después de 60 días de ensayo de biodegradación, el suelo de ambas muestras fue estudiado nuevamente para destacar alguna alteración en la misma. Se midió de nueva cuenta el pH, mismo proceso que se realizó antes de ser experimentado con el bioplástico. Para la prueba se pesaron 2 gramos de suelo y 5 mililitros de agua destilada, se agito la mezcla en vasos precipitados de 100 mililitros por 5 minutos. Por último, se sumergieron tiras de pH la cual nos indicaron que el suelo permanecía con pH neutro (Figura 22).

Figura 22. a. Experimentación muestra 17; b. Experimentación muestra 23; c. pH muestra 17 y 23



Finalmente, con los resultados satisfactorios en el desarrollo del bioplástico a base del mucilago de la planta de aloe vera, se ha logrado participar exitosamente en eventos nacionales: Festival de Innovación y Tecnología (CINTEC) 2022, Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) EDOMEX 2023 en la convocatoria Jóvenes Emprendedores e Innovadores, Reconocimiento al Mérito Ambiental 2023 en la categoría Académico o Investigación Juvenil (Anexo B).

CONCLUSIONES

Es posible obtener un bioplástico a partir del mucilago de aloe vera a nivel laboratorio, la extracción de mucilago resultó ser eficiente presentando como ventaja adicional la falta de uso de agua y por ende menor impacto ambiental durante su procesamiento. Las películas biodegradables de aloe vera se caracterizan resistentes, estables, con transparencia y biodegradables. Biopolímero que cumple con los parámetros de la norma ASTM D6400 para la utilización en la síntesis de bioplásticos.

Se determinaron las propiedades físicas del bioplástico evaluando su humedad, la cual tuvo un mayor registro en la muestra 23 con 10.10% y menos humedad en la muestra 17 con 5.82%. El análisis mecánico, como la dureza SHORE A fue mayor en ambos ensayos de la muestra 23 con 22.8 y 23.4; mientras que los ensayos de la muestra 17 reportaron 22.3 y 22.0 respectivamente. Las películas de bioplástico presentan una resistencia a la tracción de 50N y 45N en el caso de la muestra 17; 65.7N y 11.7N para la muestra 23; así mismo, se evaluó el porcentaje de elongación la muestra 17 obtuvo: 5.14% y 7.08%; y la muestra 23: 2.87% y 16.29%. Podemos decir que el bioplástico tiene resistencia, sin embargo, no tiene elasticidad. Esto se debe al contenido de almidón presente en la muestra, para mayor dureza y resistencia a la tensión se debe añadir una mayor cantidad de almidón a la formulación. Esto dependerá de la función comercial que se le asigne en la industria.

El bioplástico presentado en el estudio, arrojó resultados positivos en su biodegradación. El área superficial de los seis ensayos se redujo un 50% en solo 30 días de estar en condiciones ambientales extremas, considerando que la descomposición en medio acuoso fue más eficiente ya que las láminas se degradan al 100% de su estructura en 60 días. De acuerdo con la evaluación fisicoquímica y mecánica de los bioplásticos se establece que la formulación 23 tuvo mejores resultados. En cambio, el PLA tarda alrededor de 80 años en desintegrarse convirtiéndose en microplástico que contribuye a la contaminación ambiental.

REFERENCIAS

Referencias

- Alcaraz López, V. V., Delfín Santos, M., Reyes Melchor, J., & García Jiménez, J. (2020). POTENCIAL DEL Aloe vera COMO AGENTE CICATRIZANTE. *RD-ICUAP*, 1, 235-250.
- Alarcón Cañola, A. E., & Caicedo Cañola, M. (2021). OBTENCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN PRESENTE EN LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*). *Trabajo de titulación*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Aldaz Veliz, J. D., & Álvarez Castillo, G. P. (2021). ESTUDIO COMPARATIVO DEL ÁCIDO PERACÉTICO Y ÁCIDO ACÉTICO EN MICROORGANISMO PATÓGENOS PRESENTES EN *Lactuca sativa*. *Trabajo de Titulación*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Alucho Pasto, J., Ramos Naranjo, S., & Saltos Segura, D. (2021). Tecnologías para el desarrollo de biopolímeros, como una alternativa en la sustitución del plástico (pet). *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 28(1), 94-100.
- Andrade Liviapoma, C. A., Limo Lazo de la Vega, E. M., Lonzoy Jimenez, C. A., Santos Martínez, L. I., & Seminario Navarro, D. J. (2021). *Diseño del proceso productivo de Aloe vera snacks en la ciudad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Bernachea Rosales, S., & Dioses Velasquez, A. D. (2019). Obtención de harina de la cáscara del limón para la elaboración del bioplástico y determinación de su biodegradabilidad, Lima 2019. *Trabajo de investigación*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Brizga, J., Hubacek, K., & Feng, K. (23 de 10 de 2020). Los efectos secundarios no deseados de los bioplásticos: huellas de carbono, tierra y agua. *One Earth*, 3(4), 515-516.
- Buteler, M. (2019). ¿Qué es la contaminación del plástico y por qué nos afecta a todos? *DESDE LA PATAGONIA DIFUNDIENDO SABERES*, 16(28), 56-60.
- Cáceres Espitia, J., Caycedo Lozano, L., & Trujillo Suárez, D. M. (2022). Efecto bactericida del ácido acético presente en el vinagre, una alternativa a desinfectantes sintéticos o químicos. Revisión sistemática. *Revista Boletín Redipe*, 11(1), 440-451.
- Caicedo Jara, L. E., & Moran Rodriguez, E. S. (2022). OBTENCIÓN DE GLICERINA A PARTIR DE ACEITE ALIMENTARIO USADO A TRAVÉS DE UN PROCESO BAJO PRESIÓN CONTROLADA. *Trabajo de Titulación*. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, Guayaquil.
- Carranza Jimenez, D. C. (23 de Noviembre de 2017). *ONU: aumenta la generación de basuras en Latinoamérica y el Caribe*. Obtenido de AA: <https://www.aa.com.tr/es/mundo/onu-aumenta-la-generaci%C3%B3n-de-basuras-en-latinoam%C3%A9rica-y-el-caribe/974785>
- Castillo Escañuela, B., García Chairez, P. E., Gándara Mireles, J. A., Quezada Gudiño, E. A., & Ibarra Piedra, J. P. (2019). PRUEBAS DE IRRITABILIDAD DE UN SHAMPOO ORGÁNICO, A BASE DE

PLANTAS NATURALES TALES COMO ALOE VERA (SÁBILA) Y JATROPHA DIOICA (SANGRE DE DRAGO). *REVISTA CIENCIA ADMINISTRATIVA*, 110-129.

Contreras López, D., Vargas Rodriguez, L., Gamiño Arroyo, Z., & Fuentes Ramirez, R. (2018).

Mucilago de nopal y su aplicación en la obtención de biopolímeros. *Naturaleza y tecnología*(1), 24-34.

de Araújo Silva, L., Dias Souza, T., Gonçalves Lima, C. M., Zazini Benedito, L., Ferreira Santana, R., & Rodrigues Pinto Júnio, W. (s.f.). Protótipo de canudo biodegradável à base de amido e gel de Aloe vera: caracterização e análise da integridade. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 404-416.

Del Valle Veliz, N. S., & Sánchez Silvestre, K. N. (2023). *ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO COMPARATIVO DE LA ACCIÓN ANTIINFLAMATORIA Y CICATRIZANTE DE EXTRACTOS DE ALOE VERA Y CALÉNDULA OFFICINALIS EN AFECCIONES CUTÁNEAS*. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, GUAYAQUIL.

Delgado Sánchez, P. A. (2020). Efecto erosivo en tres ionómeros de vidrio de restauración de fotopolimerización sometidos al ácido acético, láctico y cítrico. Estudio in vitro. *Trabajo de titulación*. Universidad Central de Ecuador, Quito.

Erazo Hidalgo, H. M. (2021). FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ MORADO (Zea Mays L) PARA EL EMBALAJE DE ALIMENTOS. *Proyecto de investigación*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

Flores Maldonado, A. (2019). Análisis tecnoeconómico de la producción de propilenglicol a partir de glicerina. *Trabajo de fin de grado*. Universidad de Sevilla, Sevilla.

Frank Junior, N. L. (2021). Potencialidades en la región Piura para la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas. *Tesis*. Universidad Nacional de Piura, Piura.

Galeano León, D. C. (2021). Elaboración de un plan de negocios para la producción y comercialización de bioplástico, obtenido a partir de residuos orgánicos en la localidad de Puente Aranda. *Proyecto de Titulación*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

García Quiles, L. (2021). Desarrollo e implementación de estrategias de mejora de las propiedades estéticas de biopolímeros. *Tesis Doctoral*. Universidad de Zaragoza.

Geronimo Betanzos, K. I. (2022). Caracterización estructural y morfológica del almidón de paterna para evaluar su potencial alimenticio. *TESIS*. UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, Tuxtla Gutiérrez.

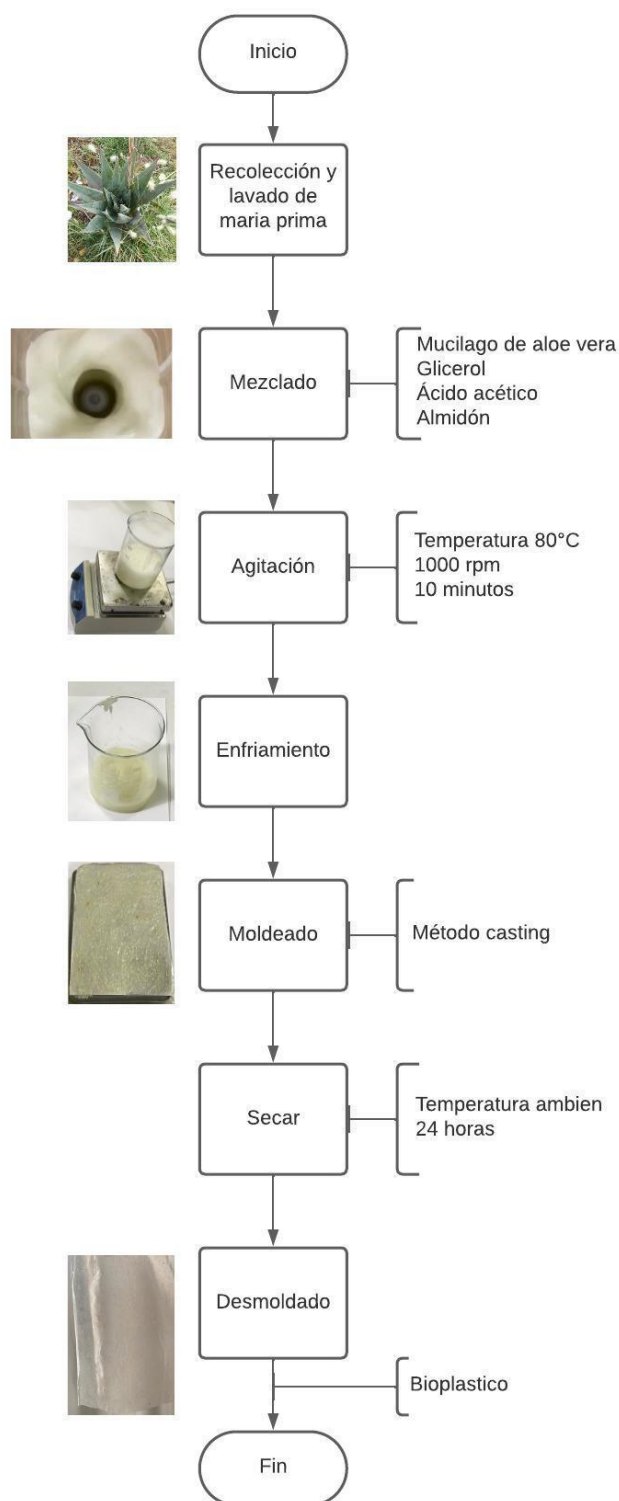
- Grand View Research. (2022). *Acetic Acid Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Vinyl Acetate Monomer, Acetic Anhydride, Acetate Esters, Ethanol), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030*. EE. UU.
- Guerrero Benavidez, L. (2020). Revisión sistemática: Uso de los residuos vegetales en la elaboración de bioplástico. *TESIS*. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Hes, M., Dziedzic, K., Gorecka, D., Jędrusek Golińska, A., & Gujska, E. (18 de Junio de 2019). Aloe vera (L.) Webb.: fuentes naturales de antioxidantes: una revisión. *Alimentos vegetales Hum Nutr*, 77(74), 255–265. doi:<https://doi.org/10.1007/s11130-019-00747-5>
- Holguin Castañeda, L. Y. (2021). Procesos de obtención de bioplásticos a partir de microalgas y materiales que contienen almidón, para su posible aplicación en Colombia. *Trabajo de investigación*. Universidad de Pamplona, Pamplona.
- Ibrahim, N. I., Shahar, F. S., Sultan, M. T., Shah, A. U., Safri, S. N., & Mat Yazik, M. H. (2021). Overview of Bioplastic Introduction and Its Applications in Product Packaging. *Coatings*, 11(11), 1423.
- Lagunes Delgado, C. (2021). Almidón de mango aislado por un método alternativo: relación estructura-función. *TESIS*. Instituto Politécnico Nacional, Yautepec de Zaragoza, Morelos.
- León Méndez, G., León Méndez, D., Monroy Arellano, M. R., De La Espriella Angarita, S., & Herrera Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620-629.
- López Calvopiña, L. A. (2022). Evaluación de las características de fundas biodegradables elaboradas con celulosa-almidón de las hojas y zuros de maíz. *Proyecto de Investigación*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- López Silva, M. (2019). Efecto del contenido de amilosa en la esterificación del almidón de maíz. *TESIS*. Instituto Politécnico Nacional, Yautepec de Zaragoza, Morelos.
- Manosalva Chicoma, F. M. (2019). DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ADSORBENTES DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE LA CASCARA Y SEMILLA DE MORINGA (Moringa Oleífera). *TESIS*. UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO, Lambayeque.
- Meneses Sanjuan, J. D. (2022). Estudio para planificación del almidón de papa: proceso, estructura y propiedades. *Proyecto de grado*. Universidad de los Andes, Bogotá.
- Nalimu, F., Oloro, J., Kahwa, I., & Engeu Ogwang, P. (2021). Revisión sobre los perfiles fitoquímicos y toxicológicos del Aloe vera y Aloe ferox. 7(145).

- Nanda, S., Patra, B. R., Patel, R., Bakos, J., & Dalai, A. K. (29 de Noviembre de 2022). Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: a review. *Environ Chem Lett*, 20, 379-395.
- Oberti, I., & Paciello, A. (2022). Bioplastic as a Substitute for Plastic in Construction Industry. *Encyclopedia*, 2(3), 1408-1420.
- Pegu, A., & Ankita, S. (2019). Review on Aloe Vera. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 3(4), 35-40.
- Pertuz Otero, A. D. (2021). Biopolímeros a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), para uso de la industria alimentaria en Colombia. *Trabajo de grado como requisito para optar al título de: Ingeniero de Alimentos*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia.
- Rangel Galicia, A. G. (2022). ESTUDIO DE LA RECUPERACIÓN MEJORADA DEL CRUDO CON GLICERIA. *TESIS*. Instituto Politecnico Nacional, México.
- Reyes Oré, K. D. (2020). Elaboración de bioplástico a partir de leña menor (lentejas de agua). *TESIS*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Rimac León, A. C. (2019). Bioplásticos. *Trabajo de Investigación*. Universidad Científica del Sur, Lima.
- Rivera Quiña, Y. D., & Vilchez Orellana, V. A. (2020). Revisión sistemática: Análisis de las propiedades de los bioplásticos a base de almidón. *TESIS*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Ruiz Galiano, C. (2022). Obtención de bioplástico a partir de la extracción de almidón de los residuos de papa capiro. *Proyecto de Titulación*. Fundación Universidad de América, Bogotá.
- Sánchez, M., González Burgos, E., Iglesias, I., & Gómez Serranillos, M. P. (2020). Actualización Farmacológica Propiedades del Aloe Vera y sus Principales Constituyentes Activos. 25(6).
- Santis Correa, W. L. (2022). Sustitución del almidón de maíz en la formulación del adhesivo usado en la industria cartonera. *TESIS*. Universidad de Antioquia, Medellín.
- Tiscareño Ferrer, A. (2019). Desarrollo de un proceso de valorización de la glicerina obtenida como subproducto de la tecnología IPN-GBD-1000 de producción de biodiésel. *TESIS*. Instituto Politecnico Nacional, México.
- Troya Soriano, M. (2019). Trabajo Fin de Máster: Diseño y simulación de una planta de producción de ácido acético de 75.000 t/año y pureza del 99,5%. *Trabajo Fin de Máster*. Escuela Politécnica Superior de Jaén, Jaén.

Vargas García, Y., Pazmiño Sánchez, J., & Dávila Rincón, J. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión. *Revista Politécnica*, 48(4), 7-20.

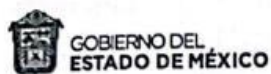
ANEXOS

Anexo A: Elaboración del bioplástico.



Anexo B: Participación exitosa en ferias nacionales.





**El Gobierno del Estado de México, a través del
Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología,**

otorga la presente constancia a:

**BRENDA CHÁVEZ MARTÍNEZ
Y
AMBAR GARCÍA SAMANIEGO**

como beneficiarias del **Programa Jóvenes
Emprendedores e Innovadores COMECYT –
EDOMEX, Convocatoria 2023**

Toluca, Estado de México, marzo de 2023



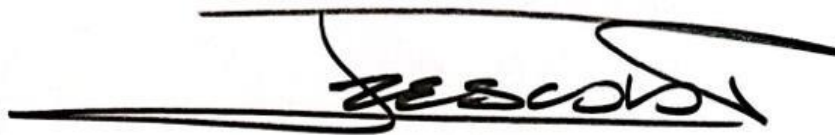
El Gobierno del Estado de México,
a través de la Secretaría del Medio Ambiente,
otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a

BRENDA CHÁVEZ MARTÍNEZ

Por ser la ganadora en la categoría Académico o Investigación Juvenil
del Reconocimiento al Mérito Ambiental 2023.



JORGE RESCALA PÉREZ
Secretario del Medio Ambiente del Estado de México



Escaneado con CamScanner
Verificado: Estado de México, julio de 2023.



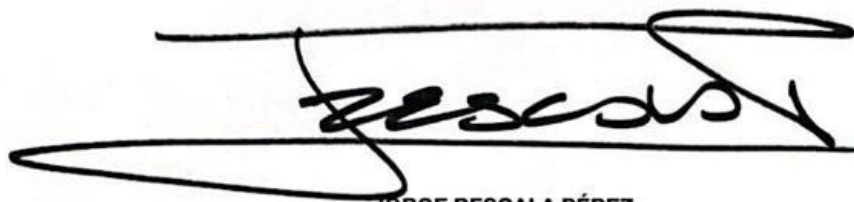
El Gobierno del Estado de México,
a través de la Secretaría del Medio Ambiente,
otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a

AMBAR GARCÍA SAMANIEGO

Por ser la ganadora en la categoría Académico o Investigación Juvenil
del Reconocimiento al Mérito Ambiental 2023.



JÓRGE RESCALA PÉREZ
Secretario del Medio Ambiente del Estado de México



Escaneado con CamScanner
Matlapec, Estado de México, julio de 2023.