

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**Elaboración y evaluación de un biocomposito a base de
polisuccinimida en diversos grados de hidrofiliidad**

POR

VASSTY LEON MARTINEZ

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2023

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Elaboración y evaluación de un biocomposito a base de polisuccinimida en
diversos grados de hidrofiliicidad.**

T E S I S

Presentada por

VASSTY LEON MARTINEZ

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

A P R O B A D A

A P R O B A D A

 _____ Dra. María Hernández González Presidente	 _____ Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández Vocal
 _____ M.C. Haydeé Yajaira López De la Peña Vocal	 _____ Dra. Francisco Hernández Centeno Vocal suplente
 _____ MC. Pedro Carrillo López Coordinador de la División de Ciencia Animal	

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2023

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Elaboración y evaluación de un biocomposito a base de polisuccinimida en
diversos grados de hidrofiliidad.**

T E S I S

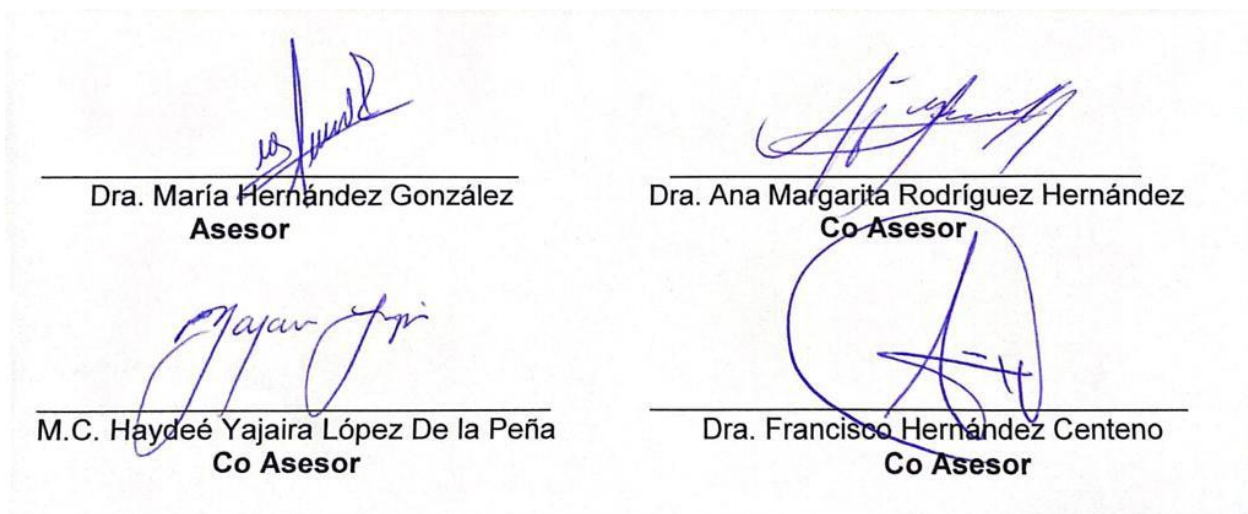
Presentada por

VASSTY LEON MARTINEZ

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité:



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2023

Declaración de no plagio

Declaración de no plagio. El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta decir la verdad, que son se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (copiado y pegado); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestado los datos o la tesis para presentarla como copia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente. En este sentido, lo anterior puede sr confirmado por el lector, estando consiente de que, en caso de comprobarse plagio en el texto, no respetar los derechos de autor, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizó de las consecuencias generadas en caso de existir cualquier tipo de plagio y declaro que este trabajo es original.

ATENTAMENTE

Vassty León M.

Vassty León Martínez

DEDICATORIAS

No tengo palabras para expresar el agradecimiento en mi corazón por poder concluir esta etapa en mi vida.

Primeramente, a Dios porque gracias a él me encuentro aquí. A mis padres Samuel León Carranza y Gabriela Josefina Martínez Bravo que son mi pilar, son mi fuerza, por ser los mejores padres. Este logro está a mi nombre, pero el logro es de ustedes papá y mamá. Gracias por su sacrificio, los amo.

A mis hermanos Samuel León Martínez, Job Adonni León Martínez y Asenath León Martínez; por estar presentes en cada momento de mi vida y su apoyo incondicional.

El día que decidí entrar a esta maravillosa universidad, mi Alma Terra mater, tomé la mejor decisión de mi vida. Gracias mi Alma Terra Mater, por formarme profesionalmente y formarme también como persona, he aprendido mucho de ti. Una vez buitre, siempre buitre.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a Dios por darme sabiduría e inteligencia para culminar mi carrera, por guiarme a tomar las decisiones correctas y llegar hasta donde me encuentro ahora.

A mis padres Samuel León Carranza y Gabriela Josefina Martínez Bravo que son mi pilar, son mi fuerza, por su apoyo incondicional, por su amor, su cariño, por darme de sus fuerzas cuando creía ya no poder, por formarme como la persona que soy ahora, por enseñarme a siempre ir por más y nunca conformarme, por confiar en mí, por motivarme a siempre ir tras mis sueños, y ahora me encuentro aquí culminando uno de ellos, porque el camino es largo, pero ya he comenzado a escalarlo.

A mis hermanos Samuel León Martínez, Job Adonni León Martínez, Asenath León Martínez por ser mi motivación y su apoyo incondicional.

A mis abuelitos Alicia Carranza Vargas e Ismael León Torres, por su amor y palabras de aliento cada día.

A mi mejor amiga y compañera Astrid Carbajal Herrera por estar conmigo en esta etapa de mi vida, por brindarme su valiosa amistad, por su apoyo incondicional. Gracias amiga por darle sentido a la palabra amistad, te quiero mucho.

A mi compañera Ana Cristina Estrada Montero por su valioso apoyo en el presente proyecto y por su amistad.

A mi asesora; Dra. María Hernández González por guiarme en esta etapa profesional, por brindarme sus conocimientos, por su motivación, por ser un ejemplo para mí y su arduo trabajo en este proyecto.

A la Dra Haydeé Yajaira Lopez de la Peña por su ayuda y colaboración en la presente investigación siendo indispensable su aportación.

Al M.C. Francisco Hernández Centeno por compartir sus conocimientos y ser un gran profesor. Su aportación ha sido muy valiosa en la presente investigación.

Al Ing. Ignacio Antonio Hernández Pérez por su incondicional apoyo a lo largo de todo el proyecto, estuvo presente en cada etapa. Por compartir sus conocimientos, su paciencia, su esfuerzo y amor a este proyecto.

A la Dra. Ana Margarita Rodríguez por apoyarnos en el presente proyecto, por compartir sus conocimientos y apoyarnos.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por abrir sus puertas para poder llevar a cabo el proyecto de tesis en sus instalaciones.

CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
CONTENIDO.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE TABLAS.....	x
RESÚMEN.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. HIPÓTESIS.....	17
4. OBJETIVOS.....	18
a. General.....	18
b. Específicos.....	18
5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
1. Bioempaques.....	19
1.1 Definición, tipos y funciones.....	19
1.2. Funciones.....	24
1.3. Importancia.....	24
1.4. Condiciones actuales, demanda y comercialización.....	25
. 1.5. Ventajas y desventajas.....	26
2. Propiedades de los materiales de empaque.....	27
2.1. Propiedades mecánicas.....	27
2.2. Propiedades de barrera.....	28
3. Agentes plastificantes.....	31
3.1. Definición.....	31
3.2. Tipos y funciones.....	31
3.3 Criterios para la selección.....	32
3.4. Propiedades fisicoquímicas.....	33
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
6.1. Etapa 1. Obtención de materiales base.....	35
6.1.1. Obtención de Polisuccinimida (PSI)	35
6.1.2. Obtención de la microcelulosa	35

6.1.3.	Obtención de Aceite esencial de Orégano	39
6.2.	Etapa No.2 Elaboración de las probetas	39
6.2.1.	Composición de las probetas	40
6.2.2	Extrusión.....	40
6.2.3	Termoconformado	40
6.3	Etapa No. 3 Caracterización química de los materiales base.....	41
6.3.1	Espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)	41
6.3.2	Grados de Sustitución de Microcelulosa(MC) Acetilada	41
6.4	Etapa No.4 Evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de los productos	42
6.4.1	Evaluación de las propiedades mecánicas	42
6.4.2	Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua de las probetas.....	42
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
7.1.	Etapa No.1 Obtención de materiales base.....	44
7.1.1	Polisuccinimida (PSI).....	44
7.1.2.	Microcelulosa acetilada.....	45
7.2.	Etapa No.2 Elaboración de las probetas	47
7.3.	Etapa No.3 Caracterización química de los materiales base.....	47
7.3.1.	Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)	47
7.3.2.	Grados de Sustitución de Microcelulosa(MC) Acetilada	48
7.4.	Etapa No.4 Evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de los productos	49
7.4.1.	Evaluación de las propiedades mecánicas	49
7.4.2.	Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua de las probetas.	50
8.	CONCLUSIONES	51
9.	LITERATURA CITADA.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro IR de la polisuccinimida formada durante la policondensación térmica del ácido aspártico.....	44
Figura 2. Espectro IR de cada acetilación (0H-Sin Acetilar, 1H-1 hr, 3H- 3 hrs, 5H-5 hrs).....	45
Figura 3. Espectros IR obtenidos de las probetas obtenidas.	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funciones de Bioempaques.....	24
Tabla 2. Propiedades de poliméros más utilizados. (Lebensmittelhyg & Gmbh, 2017)	30
Tabla 3. Acetilación de Microcelulosa a 1 hr, 3 hrs y 5 hrs.	38
Tabla 4. Composición de probetas.....	40
Tabla 5. Parámetros empleados para la Extrusión.....	40
Tabla 6. Parámetros empleados para proceso de Termoconformado.	41
Tabla 7. Parámetros de las pruebas mecánicas.	42
Tabla 8. Grados de sustitución y % de acetilación de la microcelulosa acetilada (media ± desviación estándar)	48
Tabla 9. Pruebas mecánicas de los diferentes tratamientos (media ± desviación estándar).....	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla 10. Permeabilidad al vapor de agua de probetas de polisuccinimida con celulosa a diferentes grados de sustitución (media ± desviación estándar).....	50

RESÚMEN

La producción mundial de plásticos (termoplásticos, termoestables, elastómeros, adhesivos, revestimientos y selladores) fue de aproximadamente 348 millones de toneladas en 2017 y alcanzó 359 millones de toneladas en 2018. Aproximadamente entre el 95% y el 99% del material plástico se fabrica a partir de fuentes no renovables en industrias petroquímicas. Sin embargo, el plástico no puede sufrir degradación física, química y biológica y, finalmente, conduce a un aumento de residuos. Esta problemática aunada al agotamiento de las fuentes del petróleo para sus diversos usos ha conducido a la búsqueda y el desarrollo de materiales de empaques provenientes de fuentes alternativas que resulten amigables con el medio ambiente. Múltiples estudios se han conducido en este sentido, teniendo como principal limitante para la sustitución de los polímeros derivados del petróleo, el que sus propiedades mecánicas y de barrera aún se encuentren muy por debajo del desempeño necesario para satisfacer los requerimientos que la industria del envasado alimentario requiere. En este sentido el presente trabajo tiene como objetivo el evaluar las propiedades mecánicas y de barrera que un material a base de polisuccinimida y almidón empleando diferentes tipos de agentes plastificantes.

Se elaboraron bioplásticos a base de polisuccinimida, almidón, microcelulosa en diferentes grados de acetilación y aceite esencial de orégano adicionando dos agentes plastificantes de diferente grado de hidrofiliidad (glicerol y polietilenglico). Las probetas fueron elaboradas mediante procesos de extrusión y termoconformado, posteriormente se caracterizaron químicamente mediante FTIR y se valoró su grado de sustitución. En base a su desempeño se realizaron estudios de propiedades mecánicas y respuesta a la permeabilidad al vapor de agua.

De la caracterización química se apreciaron las bandas representativas de los materiales base utilizados, destacándose la banda cercana a los 3200 cm^{-1} representativa de los grupos hidroxilo, la cual presentó ensanchamientos y corrimientos atribuibles a la interacción de los constituyentes del biocomposito mediante la formación de puentes de hidrógeno, así como una señal de baja intensidad a los 1717 cm^{-1} que evidencia la presencia de grupos acetilo presentes en la muestra. En cuanto a las propiedades de barrera, la permeabilidad al vapor de agua se redujo significativamente en la muestra que contiene microcelulosa a 1 y 3 h de acetilación alcanzando valores de $6.054 \cdot 10^{-5}$ (g/s m Pa) con respecto al testigo sin acetilar. Respecto a las propiedades mecánicas se reportó

una tensión a la ruptura de 0.0845 Mpa, con un módulo de elasticidad de 0.0284 MPa, para la muestra y un porcentaje de elongación de 1.6000%, para la muestra de 5 h de acetilación.

Palabras clave: polisuccinimida, almidón, aceite esencial, polietilenglicol, hidrofiliidad, propiedad mecánica, propiedad de barrera.

1. INTRODUCCIÓN

El área de los biomateriales actualmente se encuentra en tendencia, ya que se requiere materiales biobasados por agentes reforzados a partir de productos naturales, sostenibles, biodegradables y aprovechando las fibras ecológicas. Existe la demanda actual de materiales que se desintegran e incorporen en el suelo sin cambiar propiedades. Los compósitos son formados por una matriz polimérica y un material reforzante. Estos refuerzos son materiales en los cuales un tipo de fibra es sintetizada a partir de un material y es incorporada a dicha matriz.(Ángel, 2019)

No obstante, el uso de polímeros biodegradables se limita un poco debido a problemas que se relacionan con tratamiento, rendimiento (barrera de gas y humedad son muy pobres) y costosos. Mediante la aplicación de nanotecnología se abren nuevas posibilidades para mejorar no sólo las propiedades del material sino también la relación costo-precio-eficiencia.

El uso de los bioplásticos tiene como fin imitar el ciclo de vida de la biomasa conservando los recursos fósiles y produciendo agua y dióxido de carbono. Un nanobiocompuesto es un material híbrido que consiste en una matriz biopolimérica reforzado con una fibra, una plaqueta o partícula que tiene una dimensión en la escala nanométrica. Debido a las partículas de tamaño nanométrico y dispersas en la matriz biopolimérica, estos nanobiocompuestos exhiben una notable mejora en las propiedades mecánicas, térmicas, ópticas y fisicoquímicas en comparación con el polímero puro o los convencionales (microscópico). Esas mejoras incluyen, por ejemplo, el aumento de módulos de elasticidad, fuerza y resistencia al calor, y la disminución de la permeabilidad a los gases y a la inflamabilidad.

Mediante nuevas tecnologías que se complementan con la nanotecnología y materiales sostenibles, se puede desarrollar empaques activos y bioactivos. Por lo tanto, la combinación adecuada de estos tres pilares tecnológicos proporcionará la innovación en el sector de empaque de alimentos en los próximos años.(Camacho et al., 2011)

En la presente investigación, se desarrolló un biocomposito a base de polisuccinimida, microcelulosa (obtenida de Fibra de Lechuguilla), Almidón, Polientilenglicol; como plastificantes y Aceite esencial de Orégano como un agente funcionalizante. Evaluando sus propiedades de mecánicas, químicas y de barrera.

Es importante mencionar, que el almidón es un recurso renovable, abundante y económico, sin embargo, es difícil de usar como un material de empaque debido principalmente a sus propiedades mecánicas pobres (Carácter quebradizo) y su naturaleza hidrófila. Por lo cual se modifica mecánica, física o químicamente, combinándose con un material nanocompuesto, plastificantes y un aditivo. (Roosnik, 2011)

Este biocomposito es elaborado a base de polisuccinimida, esta es un polímero biodegradable, no tóxico e insoluble en agua, pero soluble en disolventes apróticos. Pertenece a la familia de los poliméros sintéticos; se utiliza como reemplazo de materiales naturales celulósicos, con el objetivo de reducir los problemas ambientales.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, el área de los biomateriales se encuentra en tendencia y es parte integral de la vida cotidiana debido a sus amplias propiedades y su facilidad de producción. La producción mundial de plásticos (termoplásticos, termoestables, elastómeros, adhesivos, revestimientos y selladores, y fibras de PP) fue de aproximadamente 348 millones de toneladas en 2017 y alcanzó 359 millones de toneladas en 2018. Aproximadamente entre el 95% y el 99% del material plástico se fabrica a partir de fuentes no renovables en industrias petroquímicas. Sin embargo, el plástico no puede sufrir degradación física, química y biológica, y como consecuencia de esto, nos conduce a un aumento de residuos.

Los polímeros biodegradables han surgido como un enfoque alternativo para muchas aplicaciones industriales para controlar el riesgo causado por el plástico no biodegradable. A pesar de que la tecnología de empaques ha estado en constante evolución, sigue de manera creciente el uso de polímeros de origen petroquímico.

Los biopolímeros son macromoléculas que pueden ser empleadas para reemplazar a los polímeros de origen petroquímico. Un punto de suma importancia; concientizar a las personas del uso de materiales biodegradables.

El uso de bioempaques garantiza la calidad del alimento, ayuda a disminuir la huella ecológica y contribuye al cuidado del medio ambiente.

Por lo anterior expuesto el desarrollo y la evaluación de nuevos biomateriales para el desarrollo de empaques 100 % biodegradable a base de polímeros de origen vegetal.

3. HIPÓTESIS

H₀: Los agentes plastificantes y reforzantes tendrán un mínimo impacto en las propiedades de hidrofiliidad de un biocomposito orientado a la elaboración de empaques alimentarios.

H_a: Los agentes plastificantes y reforzantes influirán en las propiedades de hidrofiliidad de un biocomposito orientado a la elaboración de empaques alimentarios.

4. OBJETIVOS

a. General.

Establecer las condiciones para el acoplamiento de biocompositos a base de polisuccinimida reforzados con microcelulosa, variando plastificantes y evaluar sus propiedades de barrera.

b. Específicos.

- i. Establecer las condiciones para el acoplamiento de un biocomposito variando el contenido y el tipo de agente reforzante (MC) y plastificante (Gli-PEG)
- ii. Evaluar fisicoquímicamente las probetas obtenidas (FTIR, grosor, grados de sustitución, propiedades mecánicas)
- iii. Evaluar la propiedad de barrera (permeabilidad al vapor de agua de las diferentes probetas obtenidas)

5. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Bioempaques

1.1 Definición, tipos y funciones

1.1.1. Definición

Los empaques biodegradables o bioempaques tienen como objetivo el cuidado del medio ambiente y son elaborados a partir de biopolímeros. Están diseñados con el objetivo de proteger productos o alimentos para su posterior comercialización y no afectar los ecosistemas, al momento de su desecho debido que se transforman en biomasa. (Franco-Aguirre et al., 2022)

Es importante, conocer también el concepto de biomateriales (biopolímeros) son polímeros producidos a partir de fuentes renovables. Los biopolímeros se fabrican a partir de materias primas vegetales, en primer lugar, pero últimamente de origen animal. Su principal característica es su biodegradabilidad. (Lebensmittelhyg & GmbH, 2017)

1.1.2. Tipos

Actualmente, los bioempaques se dividen en tres categorías principales según el origen y los métodos de producción:

I. POLIMEROS EXTRAÍDOS/AISLADOS DIRECTAMENTE DE BIOMASA.

Esta categoría de biopolímeros es la más presente en el mercado. Los polímeros de esta categoría se obtienen de plantas, animales marinos y domésticos. Ejemplos son los polisacáridos, tales como celulosa, quitina y almidón, proteína de suero, caseína, colágeno, proteína de soja, proteínas miofibrilares de músculo animal, etc., que pueden usarse solos o en mezcla con poliésteres sintéticos como el ácido poliláctico (PLA).

La categoría más frecuente que se utiliza en el envasado de alimentos es el papel a base de celulosa. Aparece también película de celulosa regenerada (papel celofán) y acetato de celulosa.

La hemicelulosa, el segundo polímero vegetal más abundante en el mundo, se encuentra en sus inicios como biomaterial de investigación para el envasado de alimentos.

Almidón, procedente de materias primas renovables anualmente, los más utilizados son los basados en almidón. Las plantas verdes como la patata, el maíz, el trigo y el

arroz son las materias primas para la producción de biopolímeros. El cual, como componente principal, es potencialmente el material polimérico biodegradable más aceptable debido a su bajo costo, disponibilidad y porque se produce a partir de fuentes renovables. Como no es un material termoplástico, se utiliza en mezclas con polímeros no biodegradables y materiales biodegradables. La naturaleza de los granos cristalinos en forma de 15-100 micras de diámetro después de la extracción, la estructura cristalina se distorsiona al presionarlo, calentarlo, trabajarlo mecánicamente y utilizar plastificantes como agua, glicerol y otros polioles para fabricar el almidón termoplástico.

El almidón recubierto de plástico (conocido como almidón termoplástico o TPS) generalmente se obtiene destruyendo o recubriendo con plástico el almidón nativo con agua utilizando energía termomecánica en un proceso de extrusión continuo.

El TPS se puede fabricar de la misma manera que los plásticos tradicionales, pero la sensibilidad al vapor de agua y sus bajas propiedades mecánicas lo hacen inútil para muchas aplicaciones. TPS alcanza propiedades de equilibrio después de unas pocas semanas. La mezcla de almidón con poliésteres alifáticos mejora su trabajabilidad y biodegradación. La combinación de almidón con un polímero soluble en agua como el cloruro de polivinilo (PVC) se utiliza para la producción de películas de almidón. Esta generación de plásticos elaborados a partir de almidón es completamente biodegradable. A partir de plásticos biodegradables a base de almidón se elaboran diferentes bolsas y sacos, envases rígidos como bandejas y contenedores conformados en caliente, así como productos para rellenar huecos en los envases. Este material reemplaza exitosamente al poliestireno y al polietileno en muchas aplicaciones.

Quitina y quitosano, la quitina es el segundo polisacárido más abundante después de la celulosa y se diferencia de ella sólo por el grupo OH. El más abundante en las paredes celulares de la piel de los insectos, el caparazón de mariscos e insectos, y se puede encontrar en las paredes celulares de algunos hongos.

El quitosano es en realidad un derivado desacetilado de la quitina. Ambos se aplican para producir diversas películas biodegradables para envases, y las más grandes se

utilizan como recubrimiento comestible para prolongar la vida útil de frutas y verduras. El quitosano tiene unas propiedades mecánicas y de resistencia al agua muy pobres. Más recientemente se han utilizado películas compuestas formadas mezclando quitosano y almidón que muestran buenas propiedades en cuanto a vapor de agua y propiedades mecánicas. La quitina y el quitosano tienen buenas propiedades antimicrobianas para una variedad de hongos, levaduras y bacterias que se encuentran en los alimentos y, por lo tanto, permiten un buen uso como materiales que producen envases biodegradables para envases de alimentos, en particular, son importantes para prolongar la vida útil de los alimentos. (Lebensmittelhyg & Gmbh, 2017)

II. PRODUCIDOS POR SINTESIS QUÍMICA CLASICA Y BIOMONOMEROS.

Es posible obtener una amplia gama de biopoliésteres mediante síntesis química. En teoría, todos los materiales de embalaje anteriores pueden ser reemplazados por nuevos tipos derivados de monómeros renovables, pero la cuestión de la viabilidad económica.

El biopolímero más famoso de estos grupos es el ácido poliláctico (PLA-polilactida). El PLA es un poliéster lineal termoplástico biodegradable, por sus propiedades similares al poliestireno. La materia prima para la obtención del ácido láctico se obtiene por fermentación de glucosa o almidón de otra fuente. Como fuente de carbohidratos se puede utilizar maíz, trigo o alternativamente suero y melaza.

Hay varias rutas para obtener PLA industrial útil (o de alto peso molecular).

Existen dos monómeros principales, el ácido láctico y la lactida. La forma más común de obtener PLA es una polimerización con apertura de anillo de lactida con varios catalizadores metálicos (típicamente hexanoato de etilo (II)) en solución o suspensión. El catalizador metálico de reacción a menudo provoca la racemización del PLA, lo que reduce la estereoespecificidad con respecto al material de partida.

La segunda vez que el PLA es una condensación directa de monómero de ácido láctico. Este procedimiento debe realizarse a una temperatura inferior a 200 °C porque por encima de esta temperatura se forman materiales de bajo peso molecular. La condensación directa se lleva a cabo en etapas, donde el ácido láctico en la primera oligomeriza los oligómeros de PLA. Posteriormente, la policondensación se lleva a cabo en solución o en fusión donde las unidades oligoméricas cortas se combinan

para dar una cadena polimérica de alto peso molecular. La eliminación del agua mediante vacío o destilación azeotrópica favorece la policondensación durante la transesterificación. Se puede obtener un peso molecular aún mayor mediante una cristalización cuidadosa del polímero bruto de la masa fundida. Los ácidos carboxílicos y los alcoholes, cuyo último grupo se concentran en la zona amorfa del polímero sólido, pueden reaccionar.

La polimerización de la mezcla de L- y D-lactida conduce típicamente a la síntesis de poli-DL-lactida (PDLLA), que es amorfa. El uso de un catalizador puede hacer que el PLA presente cristalinidad. Además del ácido láctico y la lactida, se utiliza el ácido láctico O-karoboksihidrid (Kricheldorf et al, 1983). En condiciones aeróbicas, el ácido láctico se degrada completamente en agua y dióxido de carbono, y la biodegradación se produce en condiciones favorables durante 3 a 4 semanas (Mahalik y Nambiar, 2010).

El PLA se procesa principalmente en almohadillas y contenedores termoformados para envasar y servir alimentos, películas, transparencias y botellas y otros envases soplados, pero también se mezcla con otros materiales para mejorarlos. PLA excelente permeabilidad al vapor de agua, lo cual es importante en el envasado de alimentos frescos, ya que es necesario para que el vapor de agua se evapore rápidamente y reduzca la alteración del envase. Se procesa en gran medida en almohadillas y recipientes termoformados para envasar y servir alimentos, películas, transparencias y botellas y otros envases soplados, pero también se mezcla con otros materiales para mejorarlos. (Lebensmittelhyg & Gmbh, 2017)

III. POLIMEROS OBTENIDOS DIRECTAMENTE DE ORGANISMOS NATURALES O GENETICAMENTE MODIFICADOS.

Muchas bacterias acumulan estos polímeros como fuente de energía y como reserva de carbono. Este grupo incluye polihidroxicanoatos (PHA) y celulosa bacteriana. Los PHA son poliésteres que forman parte de la estructura viva de la organizama, hidrofóbicos e insolubles en agua.

Sus características están más asociadas con las propiedades de los bloques de construcción monómeros de los cuales se puede sintetizar una amplia variedad de biopolímeros diferentes mediante fermentación microbiana. La enzima PHA-

polimerasa cataliza la reacción de polimerización del HA en el PHA dentro de la célula. La vía bioquímica general de síntesis se lleva a cabo en la célula en una serie de reacciones enzimáticas. El PHA, que sintetiza el tipo *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Halobacterium*, *Rhizobium* y muchos otros microorganismos, se puede producir en grandes cantidades de forma biotecnológica, sustrato renovable, mediante fermentación y procesos físicos y químicos conocidos, extraídos de la biomasa después de la producción. Dependiendo de las bacterias y la fuente de carbono, el polihidroxialcanoato se puede fabricar desde un polímero rígido, quebradizo, hasta plástico o similar al caucho. Tienen propiedades similares como el propileno y el polietileno, elásticos y termoplásticos (retenidos al enfriarse).

El más común es el uso de un derivado de polihidroxibutirato marcado como PHB. PHB es un poliéster lineal biodegradable preparado por fermentación bacteriana de azúcar o lípidos. El PLA se procesa principalmente en almohadillas y contenedores termoformados para envasar y servir alimentos, películas, transparencias y botellas y otros envases soplados, pero también se mezcla con otros materiales para mejorarlos. PLA excelente permeabilidad al vapor de agua, lo cual es importante en el envasado de alimentos frescos, ya que es necesario para que el vapor de agua se evapore rápidamente y reduzca la alteración del envase. Se procesa en gran medida en almohadillas y recipientes termoformados para envasar y servir alimentos, películas, transparencias y botellas y otros envases soplados, pero también se mezcla con otros materiales para mejorarlos. Los materiales se basaron en la necesidad de ser útiles en la alimentación. Los PHA son poliésteres que forman parte de la estructura viva de la organizama, hidrofóbicos e insolubles en agua. Puede utilizarse para envasado de alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos, así como en agricultura. Las condiciones aeróbicas se degradan completamente en agua y dióxido de carbono. La biodegradación en condiciones favorables tarda entre 5 y 6 semanas. Además de los plásticos renovables, se pueden producir plásticos biodegradables a partir de polímeros sintéticos mediante el uso de bacterias. La bacteria *Pseudomonas putida* convierte el monómero de estireno en polihidroxialcanoato (PHA), un plástico biodegradable que tiene una amplia gama de aplicaciones. El PHA es agua en material soluble, biodegradable y compostable en cuyo mejoramiento se trabaja intensamente antes de su comercialización. (Lebensmittelhyg & Gmbh, 2017)

1.2. Funciones

Tabla 1. Funciones de Bioempaques. .(Camacho et al., 2011)

<ul style="list-style-type: none">- Biodegradables- Suplemento de valor nutricional de alimentos- Mejora características organolépticas como olor, apariencia y sabor- Reducción del volumen y residuos de empaque- Incorpora antioxidantes y agentes antimicrobianos- Control sobre la migración de humedad, gases, lípidos y solutos	<ul style="list-style-type: none">- Función de soporte de agentes antimicrobianos y antioxidantes- Microencapsulación y la liberación controlada de principios activos- Posible uso de múltiples capas de materiales de empaque junto con películas no comestibles
---	--

1.3. Importancia

El uso de alternativas amigables con el medio ambiente para la producción de materiales poliméricos utilizados en la industria alimentaria es en la actualidad un tema de gran importancia, debido al aumento desmesurado de la contaminación ambiental y las consecuencias climáticas que han provocado el abuso de materiales poliméricos sintéticos. Las investigaciones y el desarrollo de nuevos materiales poliméricos a partir de polisacáridos, están centrados en la mejora de las propiedades físicas y químicas. Así mismo, se busca tener alternativas viables que tengan como objetivo el cuidado del medio ambiente, cuidando los costos de producción y comercialización. También se aprovechan las diferentes características que presentan los polisacáridos en cuanto a propiedades antimicrobianas, inmovilización de enzimas y la aplicación en macro o microencapsulación de extractos naturales, antibióticos, entre otras sustancias farmacológicas, las cuales presentan diversas aplicaciones en nanotecnología y nanosensores.

Los polímeros usados en la industria alimentaria; se encuentran en diversas presentaciones, desde contenedores hasta películas o recubrimientos, por mencionar

algunos. Las películas pueden ser de diferentes naturalezas, existen los polímeros biodegradables, los cuales son de origen natural y son comestibles. Las películas comestibles son capas delgadas de materiales consumibles con capacidad para proporcionar una barrera contra la humedad, los gases y los solutos que pueden elaborarse de polímeros naturales como el almidón y quitosano. La búsqueda de alternativas para la disminución de contaminación provocada por los empaques de los alimentos es de suma importancia, por lo que el objetivo de esta investigación es dar a conocer un análisis bibliográfico, respecto al uso de los polisacáridos como matriz polimérica en empaques para la industria alimentaria y las funciones de los bioempaques. (Franco-Aguirre et al., 2022)

1.4. Condiciones actuales, demanda y comercialización

Hoy en día, a principios del siglo XXI, se han reconocido los productos procedentes de fuentes renovables, por su impacto positivo en la naturaleza. En general, está aumentando la conciencia entre los consumidores de todo el mundo sobre los productos plásticos convencionales, aunque muy útiles, que crean enormes daños al medio ambiente, a los recursos hídricos y a todo el ecosistema.

La acumulación de plástico en el medio ambiente, la reducción de la tierra cultivable, el desgaste de los pozos petroleros y la liberación de gases durante la incineración han impulsado esfuerzos para desarrollar envases/plásticos biodegradables.

El mayor sector en la demanda de bioenvases es la industria alimentaria. El rápido desarrollo de la industria ha generado problemas con los envases no degradables, pero se necesita tiempo, trabajo y paciencia para reorientarlos hacia los bioenvases.

Además de los esfuerzos por encontrar un sustituto para el plástico, se apoya el desarrollo de envases de cartón producidos únicamente a partir de fuentes renovables.

Los principales líderes en materia de compostaje son Alemania y los Países Bajos, donde desde hace mucho tiempo el compostaje se lleva a cabo de manera efectiva y exitosa, todo gracias a programas nacionales para apoyar y desarrollar la conciencia de la gente (Lebensmittelhyg & GmbH, 2017)

En los últimos años, el desarrollo de materiales de embalaje biodegradables a partir de recursos naturales renovables ha recibido un amplio apoyo gubernamental en los países de la UE y se han establecido muchas organizaciones nacionales o internacionales para

facilitar el desarrollo en esta área. Estos incluyen la Asociación Europea de Materiales de Recursos Renovables (ERRMA; www.errma.com), el Centro Nacional de Cultivos No Alimenticios (NNFCC; www.nnfcc.co.uk) en el Reino Unido, la Asociación Internacional de Polímeros Biodegradables y el Grupo de Trabajo (IBAW ; <http://www.IBAW-eV.de/>) con sede en Alemania y la Red Europea Interactiva para Aplicaciones de Cultivos Industriales (IENICA; www.ienica.net). El Foro Gobierno-Industria del Reino Unido ha recomendado firmemente un mayor uso de cultivos no alimentarios, particularmente para aplicaciones de envases biodegradables.

Los objetivos en el desarrollo de envases biodegradables son dos:

- (1) utilizar fuentes de materias primas renovables y potencialmente más sostenibles (cultivos en lugar de petróleo crudo);
- (2) facilitar enfoques integrados de gestión de residuos para reducir los vertidos.

Hasta la fecha, se ha logrado un importante desarrollo tecnológico para producir materiales biodegradables para aplicaciones de embalaje con funcionalidades comparables a las de los embalajes de plástico tradicionales a base de aceite. Entre estos se encuentran materiales disponibles comercialmente (www.biopolymer.net) basados en almidón o derivados de él, como Mater-Bi™ (www.materbi.com), NatureWorks™ Polylactide (<http://www.cargilldow.com>), Bioska™ (www.plastiroll.fi), Bioplast™ (www.biotec.de), Solanyl™ (www.biopolymer.net), Potatopac™ (www.potatoplates.com), Greenfil (www.greenlightint.co.uk) y EcoFoam™ (www.eco-foam.com). A pesar de los costos actuales más altos en comparación con el plástico tradicional, muchos han encontrado aplicaciones comerciales cada vez mayores en envases. (Davis & Song, 2006)

. 1.5. Ventajas y desventajas

1.5.1. Ventajas

- Innovación: con nuevos productos se puede dar mayores posibilidades de elección a los consumidores, cambios sociales y estilos de vida, así como abrir nuevos mercados, impulsando el crecimiento económico.

- Ligeros: se utiliza menos material de empaque, pero con el mismo rendimiento. Esto podría proporcionar un menor contenido en el carbono ambiental a la hora de su fabricación y transporte.
- Mayor protección y conservación de alimentos: mediante la mejora de las propiedades de barrera se puede ayudar a mantener la calidad de los alimentos y aumentar la vida útil, sin conservantes químicos adicionales.
- Bajos costos y abundantes.
- Mayor tiempo de caducidad.
- Envases individuales para alimentos pequeños (nueces y pasas). (Camacho et al., 2011)

1.4.2. Desventajas

- Baja propiedad de barrera
- Menos resistencia a la tracción.
- Frágil.
- Baja temperatura de distorsión de Calor.
- Alta permeabilidad al gas y el vapor.
- Baja resistencia a las condiciones de procesamiento pesado. (Ubaque et al., 2020)+

2. Propiedades de los materiales de empaque

2.1. Propiedades mecánicas

El esfuerzo y porcentaje de elongación a la ruptura son las propiedades más comúnmente medidas. Las curvas de esfuerzo/deformación que resultan de los ensayos de tracción proporcionan información sobre la flexibilidad, resistencia y capacidad de elongación del material, y son útiles para la predicción del comportamiento durante la manipulación, almacenamiento y uso de los bioplásticos. Los ensayos de tracción se realizan para determinar el esfuerzo a la ruptura (MPa), el porcentaje de elongación umbral (%), el porcentaje de elongación a la ruptura (%) y el módulo elástico (GPa) de materiales poliméricas para envase y embalaje. Estos valores son importantes para poder comparar los bioplásticos con los plásticos

sintéticos comerciales, lo que se puede realizar siguiendo la norma ASTM D882-02. Los ensayos para propiedades al impacto sobre el material bajo condiciones controladas, y se llevan a cabo mediante la norma ASTM D1709-03. Los ensayos de compresión se realizan usualmente en muestras termoconformadas siguiendo la norma ASTM D642, el esfuerzo a la compresión será función del tipo de material y su aplicación. (Zárate, 2011)

2.2. Propiedades de barrera

El término “barrera” se refiere a la oposición que ofrece un material para oponerse a los mecanismos que provocan el intercambio de gases y vapores a través del sistema alimento-envase-entorno, y por ello es una propiedad bastante importante en el envasado de alimentos. Por tanto, un polímero de “alta barrera” se referirá a valores de permeabilidad bajos, o muy bajos. Generalmente, los polímeros poseen un elevado volumen libre y un pobre empaquetamiento molecular, lo que favorece el paso de gases y vapores a su través. Para obtener una baja permeabilidad es necesario que la fracción de volumen libre sea lo menor posible y su densidad de energía cohesiva muy alta. Así, sus cadenas permanecerán fuertemente unidas e impedirán el paso de sustancias a su través. (*Polietileno Y Nanoarcillas*, n.d.)

Los requisitos específicos de permeabilidad del sistema de envasado dependen de las características del producto y del uso final previsto. Generalmente los plásticos son relativamente impermeables a moléculas pequeñas como las de gases, vapor de agua, vapores orgánicos y algunos líquidos, presentando un amplio espectro de características de transferencia de materia que permite catalogarlos de acuerdo a su capacidad como barrera. En aplicaciones para envases, el vapor de agua y el oxígeno son las principales moléculas estudiadas debido a que se pueden transferir desde el medio interno o externo a través de la pared del polímero afectando a la calidad del producto y su vida útil. También ha aumentado el interés en el estudio del dióxido de carbono debido a su utilización en la tecnología de envasado bajo atmósfera modificada.

La capacidad como barrera ante el oxígeno se cuantifica mediante el coeficiente de permeabilidad al oxígeno (OPC) que indica la cantidad de oxígeno que pasa por unidad de área y tiempo en un material envasado. Un valor bajo en el OPC indica que la

presión del oxígeno dentro del recipiente es bajo lo que retarda la oxidación y favorece la conservación del producto. De igual manera se define el coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (WVPC) y al dióxido de carbono(CO₂PC). (Zárate, 2011)

2.2.1. Permeabilidad al vapor de agua y solubilidad de biopelículas y bioempaques (estado del arte)

Son conocidas las malas propiedades de barrera (especialmente resistencia a la humedad) de los biomateriales tradicionales y más utilizados (papel, películas de celulosa y celofán) y, por lo tanto, es necesario mezclar estos materiales con polímeros sintéticos para lograr las propiedades de barrera deseadas para los envases de muchos alimentos. Los biomateriales hechos de polisacáridos que tienen propiedades de barrera deficientes cuando se trata de vapor de agua y otras sustancias polares en una gran proporción de la humedad, pero en una proporción baja o media de humedad crean buenos vínculos adecuados con el oxígeno y otras sustancias no polares, como diversos sabores y aceites. La tasa de transmisión de vapor de humedad preparada a partir del material de almidón es de 4 a 6 veces mayor que la de los materiales convencionales fabricados a partir de polímeros sintéticos. Los materiales fabricados a partir de arabinosilano como cebada tienen una baja permeabilidad al oxígeno y al CO₂ y una alta permeabilidad en el caso del vapor de agua (los materiales fluorados son menos hidrófilos superficialmente o aún están por finalizar).

Algunas de las propiedades de barrera (Tab. 1) donde el biomaterial y los materiales derivados del petróleo, por ejemplo, PLA (ácido poliláctico), tienen una tasa de transmisión de vapor de humedad de 3 a 5 veces mayor que la del PET (polietilentetraftalato), LDPE (polietileno de baja densidad), HDPE (polietileno de alta densidad) y OPS (poliestireno orientado). El PLA ha mejorado las propiedades de barrera al oxígeno del PS (poliestireno), pero no tan bien como el PET. PHA(polihidroxiálconato) tiene vapor de humedad similar velocidad de transmisión, así como materiales hechos de petróleo.

El PHB(polihidroxiálcanoato) tiene mejores propiedades de barrera al oxígeno que el PET y PP(polipropileno). Y propiedades de barrera adecuadas cuando se trata de grasas y fragancias para productos con una vida útil corta.

Las propiedades de barrera de los gases en la mayoría de los biomateriales dependen de la humedad ambiental, PLA Y PHA son excepciones. (Lebensmittelhyg & Gmbh, 2017)

Tabla 2. Propiedades de polímeros más utilizados. (Lebensmittelhyg & Gmbh, 2017)

Polímeros	Tasa de transferencia de oxígeno ($\text{ml m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a 0% de humedad relativa).	Tasa de transmisión de vapor de humedad ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a 100% de humedad relativa).	Temperatura (°C)	Espesor del material (mm)
OPLA(Ácido poliláctico orientado)	56.33	15.30	22	4.6
PLA (Ácido poliláctico)	200	66	23	0.1
PLA-M (Peso molecular medio del ácido poliláctico)		210 (al 90 % humedad relativa)	25	0.25
PLLA+SiOx (Compuestos silicos de peso molecular medio de ácido poliláctico+hidrocarburos)	84-99	34-40 (a 37.8 °C)	23	0.1
PHB (Polihidroxibutirato)	183	1.16	30	1
PHBV (Polihidroxibutirato e hidroxivalerato)		1.39	30	1
PET (Tereftalato de polietileno)	9.44	3.48	22	4.6
OPS (Poliestireno orientado)	532	5.18	22	4.6
LDPE (Polietileno de baja densidad)		7.9	38(al 90% humedad relativa)	0.75
LDPE + 5% almidón		36.85	38(al 90% humedad relativa)	0.75

3. Agentes plastificantes

3.1. Definición

Un plastificante es una sustancia estable, no volátil con alto punto de ebullición, la cual contribuye al cambio de propiedades físicas y mecánicas de un material al ser adicionada a éste. La adición de un plastificante permite la obtención de una película más flexible, dócil y resistentes. La incorporación de plastificantes disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas poliméricas, mejorando la movilidad molecular de los componentes, ya que los grupos polares (-OH), desarrollan puentes de hidrógeno entre el polímero y el plastificante. El tamaño molecular, la configuración y el número de grupos hidroxilo funcionales del plastificante pueden afectar las interacciones polímero-plastificante. Es importante mencionar que la adición del plastificante en la solución polimérica aumenta la permeabilidad a la humedad de la película resultante.

Los plastificantes más usuales son los polioles y los mono-, di- y oligosacáridos. Entre los polioles más usados está el glicerol, propilenglicol, sorbitol, polietilenglicol 200 y polietilenglicol 400. La efectividad de un plastificante depende de tres características importantes; tamaño, forma y compatibilidad con la matriz polimérica. (*Tesis Presenta Sandra Itzel Solis Rivera Directores de Tesis, 2016*)

3.2. Tipos y funciones

3.2.1. Funciones

La función principal de los plastificantes es mejorar la flexibilidad y la procesabilidad de los polímeros disminuyendo la temperatura de transición (T_g). Los plastificantes son resinas o líquidos de bajo peso molecular, que forman enlaces secundarios con las macromoléculas del polímero aumentando el volumen libre. Por lo tanto, los plastificantes reducen los enlaces secundarios entre las cadenas del polímero y producen una mayor movilidad de las macromoléculas, la cual resulta, en un material más fácilmente deformable. Por lo tanto, el proceso de plastificación requiere de la existencia de interacción molecular ente el polímero y el plastificante (compatibilidad) para que se pueda producir una composición homogénea y estable con una baja tendencia a la exudación del plastificante. (Md Safian, 2007)

3.2.2. Tipos

3.2.2.1. Derivados de biomasa

Naturales (almidón, celulosa, colágeno, resinas furánicas, etc.) sintetizados por organismos vivos.

Sintéticos, cuyos monómeros derivan de recursos renovables donde la conversión a polímero se realiza mediante una transformación química.

A este tipo de materiales se les denomina biobasados. Su principal ventaja es que no provienen de fuentes fósiles, disminuyendo la huella de carbono generando un impacto positivo para el medio ambiente. (Aimplas, 2020)

3.2.2.2. Biodegradables

Hace referencia a la posibilidad de la recuperación orgánica de los residuos. Aquí el término biopolímero identifica a polímeros capaces de ser degradados aeróbicamente (en presencia de oxígeno) o anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno), por la acción de microorganismos existentes en el medio de manera natural tales como bacterias, hongos y/o algas. (Aimplas,2020)

3.2.2.3. Poliméros biocompatibles

Se refiere a la biocompatibilidad con células y tejidos vivos, en este sentido, estos polímeros no perjudican al cuerpo humano o animal o sus metabolismos mientras cumple su fin. (Aimplas, 2020).

3.3 Criterios para la selección

La efectividad de un plastificante se frecuenta manifestar como la proporción de plastificante fundamental para conseguir un valor dado de una propiedad de interés practico; ejemplificando, la porción en que el valor de la Tg del polímero reduce al añadir el plastificante.

En varios casos, una buena efectividad es una propiedad bastante fundamental; no obstante, en otros puede ocurrir lo opuesto: por ejemplo, si el plastificante es bastante más económico que el polímero, cuanto menor sea la efectividad más grande va a ser la proporción de plastificante fundamental para conseguir un módulo o dureza dados, por lo cual los gastos de la formulación final van a ser más bajo (Pacheco, 2021)

Estudios de varias sustancias (con diferente grado de hidrofobicidad, clase y cantidad de grupos funcionales) empleadas como plastificantes en gluten de trigo, revelan como criterio para elegir un buen plastificante los siguientes: un bajo punto de fusión, baja

volatilidad, compatibilidad con la proteína, permanencia en los films y que la cantidad requerida de este en la preparación del bioplástico sea reducida. (Zárate, 2011)

3.4. Propiedades fisicoquímicas

3.4.1 Polaridad de los agentes plastificantes

La presencia de átomos de diferente naturaleza provoca que, en los enlaces covalentes, los electrones se desplacen hacia el átomo más electronegativo, creando así un dipolo. Los polímeros que contienen estos átomos muy electronegativos, como el Cl, O, N, F, etc. serán compuestos polares, lo que influye en las propiedades del material. Si la polaridad aumenta, se incrementa la resistencia mecánica, la dureza, la rigidez, la resistencia al calor, la absorción de agua y humedad, la resistencia química, así como la permeabilidad a compuestos polares como el vapor de agua y la adhesividad y la adherencia a los metales. Mientras que el aumento de la polaridad disminuye, por otro lado, la dilatación térmica, el poder de aislamiento eléctrico, la tendencia a acumular cargas electrostáticas y la permeabilidad a moléculas polares (O₂, N₂). (Aimplas,2020)

3.4.2 Interacción material-plastificante, caracterización

La Teoría del volumen independiente de Sears y Darby ofrece que en medio de las moléculas de un polímero tan sólo existe volumen independiente y que suficiente volumen independiente posibilita independencia de desplazamiento. A más grande volumen independiente más grande facilidad de desplazamiento de las moléculas o piezas de estas y, por consiguiente, más grande flexibilidad y menor T_g. Se puede lograr un incremento del volumen independiente incrementando los conjuntos terminales (introduciendo ramificaciones o reduciendo el peso molecular), o aumentando la temperatura. La adición de pequeñas moléculas de plastificante con cadenas flexibles involucra gran proporción de volumen libre. El resultado de incrementar el volumen libre de una molécula al integrar un plastificante es una reducción de la T_g, una mayor flexibilidad, aumento de la elongación a la rotura, etcétera.

La teoría del volumen libre está extensamente divulgada, no obstante, no explica puntos básicos de la plastificación, como por qué varias sustancias son útiles como plastificantes y otras no, ni el hecho de que ciertos polímeros se plastifican con facilidad mientras tanto que otros no lo hacen. (Uribe y Medina Perilla 2009)

Modelo de Moorshead

Generalmente cada una de las teorías de la plastificación explica que un plastificante penetra en el centro de la masa del polímero y separa las cadenas, disminuyendo de esta forma las fuerzas de atracción entre ellas. Las moléculas de un polímero altamente reticulado se mantienen juntas por enlaces covalentes, que no permiten que el plastificante separe las cadenas entre sí. En la situación de un polímero altamente cristalino, las fuerzas de agrupación son casi tan fuertes como los enlaces covalentes, por lo cual el impacto es semejante al caso anterior. Para lograr que el polímero y el plastificante se mezclen correctamente la fuerza cohesiva que atrae las moléculas del líquido entre sí debe ser del mismo orden que la que atrae las moléculas del polímero. Si la fuerza cohesiva en medio de las moléculas de polímero es mucho más grande que en medio de las del líquido, las cadenas del polímero se asocian entre sí preferentemente y rechazan al líquido, cuyas moléculas se asocian además entre sí para conformar gotitas, y lo mismo ocurriría en caso opuesto. (Beltrán y Marcilla 2012) En la situación del PVC, las cadenas son casi lineales y hay bastante escasas regiones cristalinas. Los átomos de cloro, que son grandes, separan las cadenas del polímero reduciéndose de esta forma las fuerzas de Van der Waals, causantes de la cohesión en polímeros como por ejemplo el PE. No obstante, en el PVC, hay un átomo de Cl que reemplaza a un átomo de H en átomos de C alternos.

El átomo de Cl no equilibrado da sitio al movimiento de una carga, por lo cual forma un dipolo. Las fuerzas de atracción debidas a los dipolos y, en menor proporción, las fuerzas de Van der Waals debidas al C y al H, así como las regiones cristalinas que tengan la posibilidad de existir, dan la cohesión total del polímero. (Pacheco, 2021)

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Etapa 1. Obtención de materiales base.

6.1.1. Obtención de Polisuccinimida (PSI)

Es obtenida mediante policondensación térmica del ácido aspártico de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1. Colocar de 30 a 100 gramos de ácido L-aspartico en un vaso de precipitado de 500 ml de capacidad
2. Colocar el vaso de precipitado en la parrilla y llevarlo hasta alcanzar una temperatura de 250 a 300°C en constante agitación con ayuda de una espátula, hasta que el ácido aspártico cambie a un color rosa coral.
3. Posteriormente se deja enfriar a temperatura ambiente.

Para el filtrado se utilizó una solución acuosa de HCL al 1% (1 x 5 ml), una solución saturada de NaHCO₃ (3x5 ml) y agua destilada (1x5 ml).

El proceso de filtrado consta de los siguientes pasos:

1. Tomar 3 gramos del resultante y darle un lavado con 5 ml de una solución de ácido clorhídrico al 0.1 % y un posterior lavado con 5 ml de agua destilada.
2. Una vez realizado lo anterior, se procede a un lavado con 15 ml de una solución saturada de bicarbonato de sodio y un lavado con 5 ml de agua destilada.
3. Finalmente, secarlo a 60°C por 24 horas.

6.1.2. Obtención de la microcelulosa

6.1.2.1. Obtención de la Fibra de Lechuguilla.

La fibra de Lechuguilla fue recolectada de diferentes zonas del Estado de Coahuila. La fibra se encontraba limpia y separadas por manojos, se mantuvieron en secado por 6 horas a 60 °C.

Para la obtención de microcelulosa(MC), se reduce el tamaño de partículas mediante el cortado con tijeras o una guillotina (de 0.5 cm a 1 cm), con la finalidad de facilitar su manipulación en los tratamientos y en la molienda.

Existen diferentes metodologías para la extracción de microcelulosa como lo son los tratamientos ácidos siendo de los más empleados, seguido por el tratamiento mecánico

y el método de oxidación, entre otros. En donde se hace énfasis en que calidad y homogeneidad en las características y propiedades de la celulosa, dependen del método de extracción, es importante contar con métodos estandarizados para que el producto obtenido sea homogéneo y cumpla satisfactoriamente con las funciones para las cuales ha sido seleccionada.

En el presente proyecto, se realizaron 4 tratamientos con la finalidad de modificar las propiedades de la fibra de lechuguilla.

Tratamiento 1. Ácido (Romper la pared celular de las fibras y eliminar impurezas)

1. Preparar una solución de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.4 %. (4 ml por L)
 - Medir el volumen de agua destilada
 - Colocar en un vaso de precipitado u otro recipiente.
 - Pesar o medir el reactivo y agregarlo lentamente en el agua, dejando que escurra por las paredes del vaso.
 - Agitar hasta que quede completamente mezclado.
2. Pesar la fibra previamente cortada de 0.5 cm a 1 cm.
3. Colocarla en una vaporera de aluminio.
4. Agregar la solución de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 4%.
5. Agitar constantemente a una temperatura ambiente por una hora.
6. Realizar lavados con agua destilada hasta llegar a un PH neutro.

Tratamiento 2. Proceso de cloración

1. Preparar una solución de Hipoclorito de sodio ($NaClO$) al 3.5 %. (35 ml por L)
 - Medir el volumen de agua destilada
 - Colocar en un vaso de precipitado u otro recipiente.
 - Pesar o medir el reactivo y agregarlo lentamente en el agua, dejando que escurra por las paredes del vaso.
 - Agitar hasta que quede completamente mezclado.
2. Pesar la fibra previamente cortada de 0.5 cm a 1 cm.
3. Colocarla en una vaporera de aluminio.

4. Agregar la solución de Hipoclorito de sodio(NaClO) al 3.5 %.
5. Agitar constantemente a una temperatura de 30°C por una hora.
6. Realizar lavados con agua destilada hasta llegar a un PH neutro.

Tratamiento 3. Hidrolisis alcalina (Eliminación de hemicelulosas, azúcares y oxidantes presentes en las fibras)

1. Preparar una solución de Hidróxido de sodio (NaOH) al 5 %. (50 gr por Kg)
 - Medir el volumen de agua destilada
 - Colocar en un vaso de precipitado u otro recipiente.
 - Pesar o medir el reactivo y agregarlo lentamente en el agua, dejando que escurra por las paredes del vaso.
 - Agitar hasta que quedo completamente mezclado.
2. Pesar la fibra previamente cortada de 0.5 cm a 1 cm.
3. Colocarla en una vaporera de aluminio.
4. Agregar la solución de Hidroxido de sodio (NaOH) al 5 %.
5. Agitar constantemente a una temperatura de $60-70^{\circ}\text{C}$ por dos horas.
6. Realizar 4 lavados con agua destilada.

Tratamiento 4. Proceso de cloración

1. Preparar una solución de Hipoclorito de sodio al 0.5 % (NaClO) al 0.5 %. (5 ml por L)
 - Medir el volumen de agua destilada
 - Colocar en un vaso de precipitado u otro recipiente.
 - Pesar o medir el reactivo y agregarlo lentamente en el agua, dejando que escurra por las paredes del vaso.
 - Agitar hasta que quedo completamente mezclado.
2. Pesar la fibra previamente cortada de 0.5 cm a 1 cm.
3. Colocarla en una vaporera de aluminio.
4. Agregar la solución de Hipoclorito de sodio al 0.5 % (NaClO) al 0.5 %.
5. Agitar constantemente a una temperatura ambiente por una hora.

6. Realizar lavados con agua destilada hasta llegar a un PH neutro.

Posteriormente, ya realizado los 4 tratamientos; se seca a 60°C por 24 horas en un horno.

6.1.2.2. Molienda de la Fibra de lechuguilla.

La Fibra de Lechuguilla previamente tratada y cortada (0.5 cm a 1 cm), paso por un proceso de molienda en un molino de aspas “El crisol”, el cual se muestra a continuación:

1. Tomar aproximadamente 3 gramos de Fibra tratada y colocarla en el molino.
2. Dar un promedio de 4 molidas a los mismos 3 gramos.
3. Tamizar (Tamiz de No.150 con abertura de 105 micrones).
4. Resguardar en un recipiente de vidrio.

6.1.2.3. Acetilación de la Fibra de lechuguilla

Una vez obtenida la microcelulosa (MC) el proceso de acetilación se llevó a cabo mediante la incorporación de Anhídrido Acético (AA). Se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el departamento de “Ciencia y Tecnología de alimentos” en el Laboratorio de empaques.

Las concentraciones para el proceso de acetilación se llevaron a cabo de la siguiente manera (Ver tabla. 3).

Tabla 3. Acetilación de Microcelulosa a 1 hr, 3 hrs y 5 hrs.

No. Acetilación	Microcelulosa(gr)	Anhídrido Acético(ml)	Ácido tartárico (gr)	Tiempo (hrs)
1	18	450	4.23	1
2	18	450	4.23	3
3	18	450	4.23	5

El proceso para la acetilación consta de los siguientes pasos:

1. Colocar en un matraz bola de 500 ml (MC,AA,A.Tartarico)
2. Mantener en agitación constante a 120°C por los diferentes tiempos (1 hr, 3 hrs y 5 hrs)
3. Al transcurrir el tiempo vaciar a matraz Erlenmeyer
4. Filtrar con papel filtro y hacer lavados con agua destilada
5. Realizar lavados hasta alcanzar Ph DE 7.
6. Secar en una estufa a 60°C

6.1.3. Obtención de Aceite esencial de Orégano

Fue proporcionada por el CIRENA (Centro de Investigación en Recursos Naturales de Salaces Jiménez Chihuahua), el cual fue obtenido mediante arrastres por vapores y caracterizado como una muestra alta en timol, mediante una cromatografía de gases.

6.2. Etapa No.2 Elaboración de las probetas

Las probetas se realizaron en el Laboratorio de Centro de Investigación en Química aplicada (CIQA), primero, se realizaron las mezclas de acuerdo a la composición requerida de cada material, en dos etapas, solidos (PSI,MC,Almidón) y líquidos(glicerol, PEG, AEO). Una vez realizadas las mezclas, pasaron por un proceso llamado extrusión el cual consiste en fundir y moldear el plástico a flujo constante de presión y fuerza, para obtener la forma deseada del polímero. Después, el material ya extruido fue pasado por un proceso que se denomina Termoconformado, este consiste en calentar placas, colocar el material extruido y pasarlo por una prensa caliente.

6.2.1. Composición de las probetas

Tabla 4. Composición de probetas

Material	Proporción				
	Probeta 1 (MC sin acetilar)	Probeta 2 (MC 1 hr acetilación)	Probeta 3 (MC 3 hrs acetilación)	Probeta 4 (MC 5 hrs acetilación)	Probeta 5 (MC 5 hrs acetilación)
Polisuccinimida (PSI) (gr)	22	22	22	22	22
Almidón(gr)	22	22	22	22	22
Microcelulosa (MC) (gr)	22	22	22	22	22
Glicerol (ml)	27.45	27.45	27.45	27.45	30.5
Polietilenglicol (ml)	3.05	3.05	3.05	3.05	-
AEO (ml)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

6.2.2 Extrusión

La extrusión se llevó a cabo en la planta piloto 1 del CIQA en el equipo Extruder micro compounder XPLORE IM 15, bajo las siguientes condiciones establecidas por () que se mencionan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros empleados para la Extrusión.

Parámetros empleados
Temperatura: 150° C
Velocidad de husillo: 60 rpm
Tiempo de residencia: 3 min

Las mezclas realizadas indicadas en la tabla anterior (), se unen hasta formar una sola masa, posterior a esto se alimenta la tolva para dar inicio a la Extrusión.

6.2.3 Termoconformado

La etapa de termoconformado se llevó a cabo en la planta piloto 1 del CIQA utilizando una termo conformadora marca PHI mostrada en la Fig.

El material extruido, se acomodó en un cuadro de un peso de 30 gramos(Fig.), sobre hojas de celofán grueso, después, se colocaron en las prensas y posterior se colocaron en la termo conformadora por 5 minutos sin presión y 7 minutos con presión, dando un total de 12 minutos, esto, con la finalidad de calentar el material por 5 minutos y se termoconforme de una manera eficaz. Una vez termoconformado pasa a enfriarse por 5 minutos.

Tabla 6. Parámetros empleados para proceso de Termoconformado.

Parámetros empleados
Presión: 25 ton.
Temperatura: 300°F
Carga: 30 gr

6.3 Etapa No. 3 Caracterización química de los materiales base

6.3.1 Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)

Se realizó la determinación química de las materias primas y de las probetas obtenidas por el entrecruzamiento realizado en el extruder mediante espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier con un equipo PerkinElmer UATR Two del laboratorio de caracterización de la UAAAN.

6.3.2 Grados de Sustitución de Microcelulosa(MC) Acetilada

Se colocó MC acetilada (1,0 g) en un matraz de 250 ml y se añadieron 50 ml de etanol al 75% en agua destilada. El matraz con el tapón suelto se agito, se calentó a 50°C durante 30 minutos, se enfrió y se añadieron 40 ml de KOH 0,5 molar. El exceso de álcali se volvió a valorar con HCL 0,5 M utilizando fenolftaleína como indicador. La solución se dejó reposar durante 2 horas y luego se tituló cualquier álcali adicional que pudiera haberse lixiviado de la muestra.

También se usó un blanco, usando la microcelulosa original no modificada.

El valor de Grados de sustitución se determinó mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1.

$$\% \text{ acetilacion} = \frac{(V \text{ usado en la titulacion del blanco} - V \text{ usado en la titulacion de la muestra}) * M \text{ HCL} * 0.043 * 100}{g \text{ de muestra}}$$

Ecuación 2.

$$GS = (162 * \% \text{ acetilo}) / (4300 - (42 * \% \text{ acetilo}))$$

6.4 Etapa No.4 Evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de los productos

6.4.1 Evaluación de las propiedades mecánicas

Las pruebas mecánicas se determinaron una vez obtenido el material extruido, en probetas fraccionadas a un tamaño uniforme (6 cm * 1 cm). El equipo empleado para estas mediciones fue un texturómetro Brookfield modelo C3 acoplado la sonda correspondiente para la medición a realizar como se muestra en la tabla XXXX.

Tabla 7. Parámetros de las pruebas mecánicas.

SONDA	PARAMETRO	OBJETIVO	CARGA DE ACTIVACION	VELOCIDAD DE TEST	CORRECCION
TA-DGA	TENSION % ELONGACION MODULO ELASTICO	50 %	6.8 g	0.50 mm/s	0 g

6.4.2 Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua de las probetas

La prueba se realizó utilizando una modificación del método de la norma ASTM F-1249-06. Se evaluaron los tratamientos (T1,T2,T3,T4 y T5) con tres repeticiones cada uno, utilizando probetas cuadradas de $6 \times 6 \text{ cm}^2$.

Se utilizaron celdas de acrílico especiales para este tipo de ensayo, agregando 5 g de sílica gel deshidratado y colocando a la muestra polimérica de manera que la cara del material esté expuesta al ambiente, las celdas empleadas en el presente estudio se ilustran en la figura XXX

Las celdas con el polímero y el agente higroscópico se introdujeron dentro de una cámara climática acondicionada a una temperatura de 30°C y 70% de HR, las cuales fueron evaluadas en función a su incremento de peso durante 6 h a intervalos de 60 minutos.

Los valores de velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA), se determinaron a partir de la pendiente de la recta obtenida de los datos de ganancia de peso en función al tiempo. Utilizando la ecuación (1), es posible obtener el valor de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) para cada muestra.

Ecuación 3.

$$WVP = \frac{(S)(L)}{(A)(VP)}$$

S= Pendiente

L= Espesor del material (m)

A= Área de permeabilidad del polímero

VP= Presión entre el interior y el exterior del sistema

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en cuatro etapas: Obtención de material base, elaboración de probetas, caracterización química de los materiales base y evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de los productos.

7.1. Etapa No.1 Obtención de materiales base

Los materiales base fueron caracterizados de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas, a continuación, se presentan los análisis realizados.

7.1.1 Polisuccinimida (PSI)

La polisuccinimida (PSI), se formó durante la policondensación térmica del ácido aspártico. Fue caracterizada mediante Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR), a continuación, se presentan los análisis obtenidos.

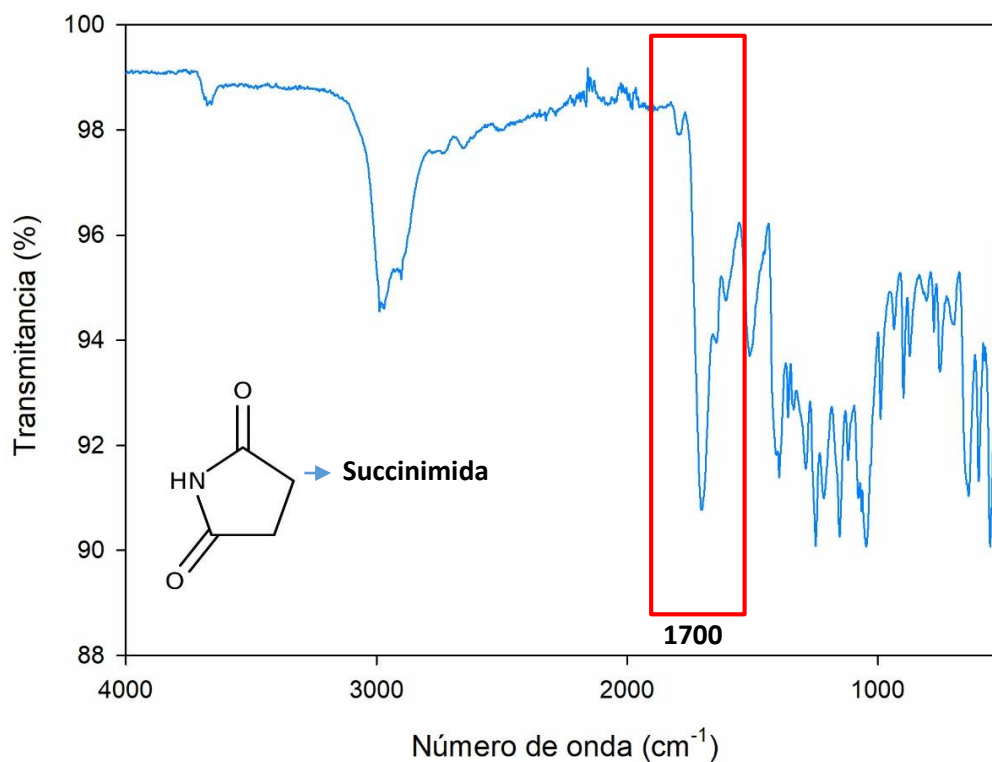


Figura 1. Espectro IR de la polisuccinimida formada durante la policondensación térmica del ácido aspártico.

En la Fig. X se muestra el FTIR realizado a la polisuccinimida, donde se observa que la banda de principal relevancia la cual es característica de la polisuccinimida es la ubicada en los 1700 cm^{-1} , correspondientes a los grupo carbonilo que se forman al reaccionar el ácido aspártico dando lugar a la formación de la succinimida.

Por otro lado, (De Química et al., 2015) menciona las señales 1795 y 1703 cm^{-1} se asignan a los estiramientos simétrico y asimétrico del C=O del anillo imida, respectivamente.

7.1.2. Microcelulosa acetilada

La microcelulosa, utilizada en el presente proyecto se obtuvo a través de una modificación química por esterificación, la cual consiste en la sustitución de los grupos carboxilos por grupos acetilos brindando mayor estabilidad, así variando en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Se realizaron distintos grados de acetilación; 1 hora, 3 horas y 5 horas. Caracterizada mediante Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR); a continuación, se muestra el Espectro IR de cada Acetilación.

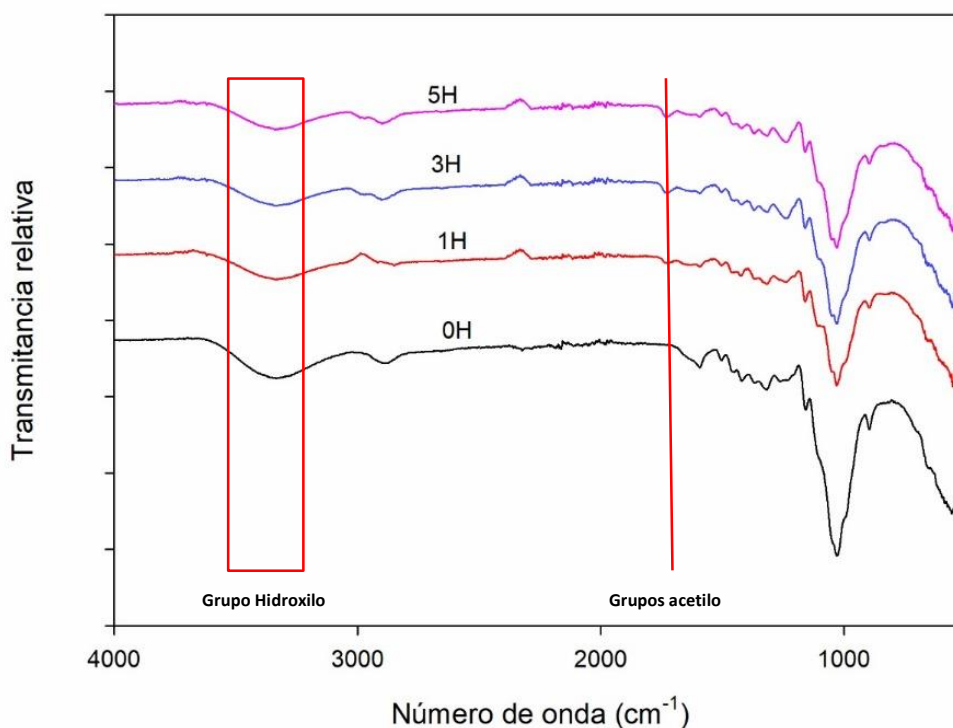


Figura 2. Espectro IR de cada acetilación (0H-Sin Acetilar, 1H-1 hr, 3H- 3 hrs, 5H-5 hrs).

En la fig. se observa el Espectro IR en cada una de las Acetilaciones realizadas, las bandas principales se ubican en las bandas de 3300-3500 cm^{-1} correspondientes al grupo hidroxilo; y la banda de los 1700 cm^{-1} correspondiente a los grupos acetilo.

Por lo tanto, el Espectro IR realizado demuestra que efectivamente la Microcelulosa fue acetilada eficazmente; observándose que hay mayor diferencia en la Microcelulosa Acetilada por 5 horas.

(Beztout et al., n.d.) Menciona que el espectro de la celulosa tratada químicamente muestra una reducción en la intensidad de la banda correspondiente a los grupos hidroxilo de la celulosa a 3348 cm^{-1} . Esta reducción se debe a la sustitución del hidrogeno de los grupos hidroxilo por grupos acetilo.

Observó la aparición de bandas de absorción a 1755 y 1234 cm^{-1} . Estas bandas están asociadas al estiramiento C=O y CO, respectivamente, de los componentes acetilo. También observó un aumento en la intensidad del pico en 1373 cm^{-1} . Este incremento se atribuye a la vibración de los grupos metilo de los acetilos. La intensidad de la banda de absorción ubicada entre 1200 y 935 cm^{-1} , atribuido a los grupos C-O y COC de la celulosa se redujeron. Esta reducción se explica por la disminución del grado de polimerización de la celulosa durante la acetilación.

7.2. Etapa No.2 Elaboración de las probetas

7.3. Etapa No.3 Caracterización química de los materiales base

7.3.1. Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)

Una vez realizadas las probetas se procedió a la caracterización mediante Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR) de cada una de las probetas, a continuación, se muestran los Espectros IR obtenidos de cada Tratamiento.

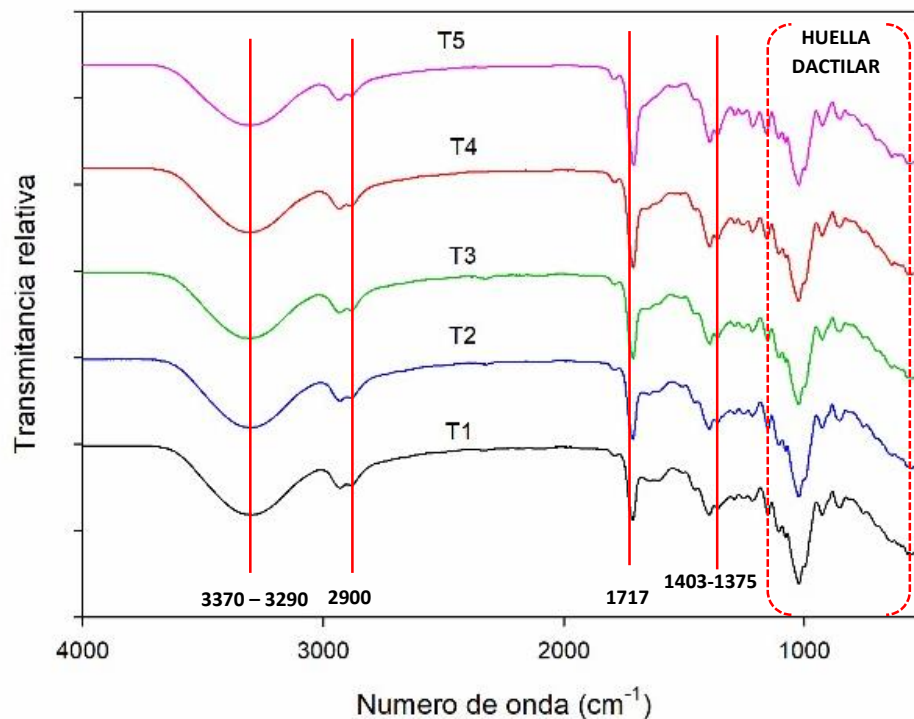


Figura 3. Espectros IR obtenidos de las probetas obtenidas.

En la Figura X se observan los Espectro IR obtenidos de cada tratamiento empleado en el presente proyecto, la banda de los 3370-3290 cm^{-1} corresponde a los grupos OH presentes; la banda de 2900 cm^{-1} corresponde al marco constructor de la celulosa; la banda de 1717 cm^{-1} corresponde a los grupos carbonilos formados por la polisuccinimida, la banda que se encuentra en intervalos de 1403- 1375 cm^{-1} corresponde al estiramiento de los grupos carbono e hidrogeno, finalmente la huella dactilar que hacer referencia a los carbonos presentes en el almidón y la microcelulosa.

7.3.2. Grados de Sustitución de Microcelulosa(MC) Acetilada

Tabla 8. Grados de sustitución y % de acetilación de la microcelulosa acetilada (media \pm desviación estándar)

Muestra	GS	% acetilo
0H	-----	-----
1H	0.4167 \pm 0.1258 ^b	10.030 \pm 2.7080 ^b
3H	0.5733 \pm 0.0750 ^{ab}	12.863 \pm 1.7042 ^{ab}
5H	0.8667 \pm 0.1650 ^a	18.777 \pm 2.8630 ^a

a,b,Valores con diferentes literales del superíndice en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. 0H, microcelulosa sin acetilar; 1H, acetilada por 1 h; 3H, acetilada por 3h; 5H, acetilada por 5h.

En la Tabla 8. Se observan los valores con diferencias estadísticamente significativas con una probabilidad del 0.05 a diferentes grados de acetilación. Los porcentajes de acetilación y los grados de sustitución no fueron elevados, debido, al uso de ácido acético como agente acilante; la literatura reporta que el ácido acético solo tiene la función de un agente activador, esto promueve el aumento de tamaño de la celulosa y permite que los grupos acetilos entren y promueva la sustitución de los grupos hidroxilo.

Se observa que se cumple; entre más tiempo de acetilación, mayor será el % de acetilación y por consecuente los grados de sustitución.

7.4. Etapa No.4 Evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de los productos

Las probetas obtenidas se caracterizaron mecánicamente haciendo uso de un texturómetro Brockfield C3 con la sonda TA-DGA, con el fin de obtener la medición de tensión, elongación y módulo de elasticidad.

7.4.1. Evaluación de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se realizaron con un mínimo de 3 repeticiones por tratamiento con un análisis de varianza y una comparación de medias por turkey (0.4),

se elaboró con el SAS versión 9.4 con el proc glm.

Tabla 9. Pruebas mecánicas de los diferentes tratamientos (media \pm desviación estándar)

Tratamiento	Tensión a la ruptura (Mpa)	% elongación	Módulo de elasticidad (Mpa)
T1	0.0583 \pm 0.0035 ^c	8.0400 \pm 0.5691 ^a	0.0137 \pm 0.0009 ^c
T2	0.0752 \pm 0.0042 ^{ab}	5.6467 \pm 0.2478 ^b	0.0232 \pm 0.0037 ^b
T3	0.0720 \pm 0.0073 ^b	3.5700 \pm 0.1401 ^d	0.0256 \pm 0.0023 ^{ab}
T4	0.0845 \pm 0.0075 ^a	1.6000 \pm 0.0889 ^e	0.0284 \pm 0.0010 ^a
T5	0.0649 \pm 0.0081 ^{bc}	4.6033 \pm 0.2401 ^c	0.0155 \pm 0.0037 ^c

^{abcde} tratamientos seguidos con literales diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En la tabla 9. Se puede apreciar que la mejor probeta obtenida corresponde a T4 con tiempo de acetilación de 5 horas, donde la tensión es de 0.0845 Mpa, la elongación de 1.6000 % y el módulo de elasticidad 0.0284 Mpa.

7.4.2. Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua de las probetas.

Tabla 10. Permeabilidad al vapor de agua de probetas de polisuccinimida con celulosa a diferentes grados de sustitución (media \pm desviación estándar)

TRATAMIENTO	PVA $\times 10^{-5}$ (g/s m Pa)
T1	4.749 \pm 0.2084 ^{ab}
T2	6.054 \pm 0.3387 ^a
T3	4.945 \pm 1.075 ^{ab}
T4	3.610 \pm 0.0796 ^b
T5	3.946 \pm 0.1913 ^b

media de tratamientos con literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas.

Los datos obtenidos, fueron sometidos a un análisis de varianza con una probabilidad de 0.05 %.

En la tabla *. Se observa que el tratamiento que tiene mejores propiedades de permeabilidad es el

8. CONCLUSIONES

Las probetas resultantes en el presente proyecto han mostrado un buen comportamiento a la adición de un nuevo plastificante (polietilenglicol) para mejorar sus propiedades de permeabilidad, al ser extruidas las mezclas ha mejorado sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas.

Las probetas obtenidas fueron de un grosor de aproximadamente 0.05 mm; comenzamos hablando sobre la polisuccinimida la cual se encuentra en la banda de los 1700 cm^{-1} , este dato es de suma importancia ya que corrobora que este biocomposito a base de polisuccinimida ha sido eficaz, la banda de los 1700 muestra los grupos carbonilo al formarse con la polisuccinimida.

El FTIR realizado a la microcelulosa acetilada demuestra que conforme aumente el tiempo de acetilación, la banda de los 1226 cm^{-1} aumenta, comprobando que la microcelulosa ha sido acetilada correctamente; cabe mencionar, que en los Grados de Sustitución los valores resultantes no fueron elevados debido al uso de Ácido acético como agente acilante, funcionando solo como un agente activador. Esto debido, a la venta prohibida de Ácido Anhídrido por su uso ilegal en la actualidad; por lo tanto, se recomienda el uso de nuevos ácidos que tenga propiedades similares.

El PEG ayuda a mejorar las propiedades mecánicas, en cambio en las propiedades de permeabilidad influye el tiempo de acetilación.

9. LITERATURA CITADA

- Ángel, S. A. M. (2019). *Síntesis , caracterización y optimización de las propiedades mecánicas de un biomaterial activo de tercera generación para el envasado alimentario*. 1–88.
- Beztout, M., Boukerrou, A., Djidjelli, H., Barres, C., Fenouillot, O., Avanzados, M., Str, O., & Lyon, I. (n.d.). *Machine Translated by Google EFECTOS SISTEMA REOLÓGICAS (VINILO) CLORURO)/ COMPOSITES Machine Translated by Google*.
- Camacho, M., Vega, J., & Campos, A. (2011). *Uso De Nanomateriales En Polímeros Para La Obtención De Bioempaques En Aplicaciones Alimentarias*. 77(4), 292–306. <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/uso-de-nanomateriales-en-polimeros-para-la-obtencion-de-bioempaques-en-aplicaciones-alimentarias>
- Davis, G., & Song, J. H. (2006). Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. *Industrial Crops and Products*, 23(2), 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.05.004>
- De Química, E. A. P., Zegarra, C. L., Asesor, U., César, J., & Contreras, S. (2015). *UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA “SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO-POLIÁCIDO ASPÁRTICO CONTENIENDO ISONIAZIDA PARA EL TRATAMIENTO DE TUBERCULOSIS” TESIS Para optar el Título profesi*.
- Franco-Aguirre, Y. D., Sáenz-Galindo, A., Narro-Céspedes, R. I., Farías-Cepeda, L., Cabello-Alvarado, C. J., & José Cárdenas Valdés, C. (2022). *Bioempaques a base de polisacáridos utilizados en la industria alimentaria Biopackaging based on polysaccharides used in the food industry*. 71, 46–65.
- Lebensmittelhyg, A., & Gmbh, S. (2017). *Envases biodegradables en la industria alimentaria Machine Translated by Google*. 26–38. <https://doi.org/10.2376/0003>
- Md Safian, M. T. (2007). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Revista Brasileira de Ergonomia*, 9(2), 10.

<https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>

Pacheco, M. (2021). Escuela Superior Politecnica De Chimborazo. *Infoplcn*, 2–197.

Polietileno Y Nanoarcillas. (n.d.).

Roosnik. (2011). No Title p . *Phys. Rev. E*, 108, 24.

http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/377/4/Muoz_Zapata_Adriana_Patricia_Articulo_2011.pdf

Tesis Presenta Sandra Itzel Solis Rivera Directores de Tesis. (2016).

Ubaque, C. A., Alfonso, M. D., Hernández, S. M., & Flórez, S. L. (2020). Utilización de residuos provenientes de la transformación de frutas para la elaboración de bioempaques. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 4, 12–26.
<http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3516>

Zárate, L. (2011). *Procesado Termomecánico a Partir De Mezclas Gluten / Plastificante*.