

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN EN CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**Evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de la
inclusión de microcelulosa acetilada en un biocomposito
polisuccinimida-almidón**

POR

TERESA CARDOSO OLIVER

TESIS

Presentada como requisito parcial para poder obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de la inclusión de microcelulosa acetilada en un biocomposito polisuccinimida-almidón

POR

TERESA CARDOSO OLIVER

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito para
obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Evaluación de las propiedades mecánicas y de barrera de la inclusión de microcelulosa acetilada en un biocomposito polisuccinimida-almidón

POR

TERESA CARDOSO OLIVER

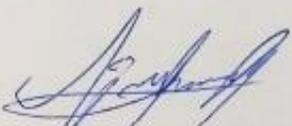
Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito para
obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité



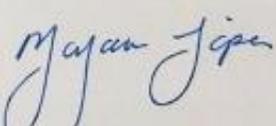
Dra. María Hernández González
Director



Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández
Co-director



Dr. Francisco Hernández Centeno
Co-director



Dra. Haydee Yajaira López De la Peña
Co-director

Galtillo, Coahuila, México, Diciembre 2022

Declaración de no plagio

Declaración de no plagio El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta decir la verdad, que no 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 prestados los datos o la tesis para presentarla como copia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin comillas; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente 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 responsabilizo de las consecuencias generadas en caso de existir cualquier tipo de plagio y declaro que este trabajo es original.

ATENTAMENTE



Teresa Cardoso Oliver

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por guiarme, por poner en mi camino a las personas correctas que me ayudaron a cumplir con esta meta, por brindarme la fuerza para aventurarme a vivir en un nuevo lugar, vivir nuevas experiencias y conocer nuevas personas.

Agradezco a la vida por otorgarme una familia maravillosa, a mi papá Prudencio Cardoso Linares y mi mamá Hermelinda Oliver Martínez por siempre apoyarme, por guiarme en este camino, por enseñarme a valorar su esfuerzo, gracias por aquellos consejos que me hicieron tomar la mejor decisión, por siempre estar y nunca dejarme sola a pesar de las circunstancias vividas, también debo agradecer la confianza y apoyo incondicional de mis hermanas Gabriela Cardoso Oliver y Gloria Cardoso Oliver.

Reconozco que todo esto no sería posible sin la ayuda de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ayudarme en mi desarrollo académico.

A la Dra. María Hernández González por haberme apoyado en el desarrollo de esta investigación, gracias por siempre estar dispuesta a ayudarme, por su paciencia y sobre por la confianza brindada durante este tiempo.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

Al Ing. Ignacio Antonio Hernández Pérez por su apoyo, por compartir sus conocimientos y apoyarme en el uso de algunos equipos.

A mis amigos: María José Flores, Diana Valle, David Roblero, Lucas Sánchez, Brayan Flores, Miguén Ángel Zavala, Daniel Flores, Israel Barboza, Rodhart Herrera y Marcelo Torres por siempre estar presentes en los mejores momentos, por todas las aventuras vividas, por el apoyo que siempre me brindaron.

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi familia, por el apoyo incondicional brindado a lo largo de este camino, por motivarme a seguir día con día, por nunca dejarme sola.

Llegar a esta etapa de mi vida no fue fácil, fue necesario aprender a superar obstáculos difíciles, sin embargo las situaciones vividas me hicieron crecer como persona, fue necesario aprender a valorar los buenos momentos pero sobre todo valorar a aquellas personas que me rodean y que siempre confiaron en mí.

Esta tesis está dedicada a mis padres, Prudencio Cardoso Linares y Hermelinda Oliver Martínez, porque sin ustedes nada de esto sería posible.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	5
DEDICATORIAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN	12
I. INTRODUCCIÓN	14
II. HIPÓTESIS	15
III. JUSTIFICACIÓN	16
IV. OBJETIVOS	18
4.1. Objetivo general	18
4.2. Objetivos específicos	18
V. MARCO DE REFERENCIA	19
5.1. Biomateriales y materiales biobasados	19
5.1.1. Biomaterial	19
5.1.2. Materiales biobasados	19
5.2. Importancia	19
5.3. Fuentes, ventajas y desventajas	20
5.4. Carbohidratos	22
5.4.1. Sacarosa	22
5.4.2. Celulosa	23
5.4.3. Almidón	23
5.4.4. Lechuguilla	24
5.5. Péptidos	24
5.5.1. Polisuccinimida	25
5.6. Alternativas de acoplamiento y mejora de materiales biobasados	25
5.6.1. Biocompositos	25
5.6.2. Estado del arte	26
5.7. Empaques activos	29
5.7.2. Antimicrobianos	29
5.7.3. Propiedades de barrera	30

5.8.	Permeabilidad al vapor de agua.....	31
5.8.2.	Qué es	31
5.8.3.	Importancia	31
5.8.4.	Impacto en la conservación de alimentos.....	32
5.9.	Materiales hidrofílicos.....	32
5.10.	Materiales hidrofóbicos	33
5.11.	Estrategias para disminuir las propiedades hidrofílicas del almidón	34
5.12.	Acetilación.....	34
5.12.2.	Qué es.....	34
5.12.3.	En que se ha llevado a cabo	34
5.12.4.	Cómo se lleva a cabo	35
5.12.5.	Cómo se evalúa	35
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
6.1.	Etapa1. Obtención de materiales base.	37
6.1.1.	Polisuccinimida (PSI)	37
6.1.2.	MC.....	37
6.1.3.	MC con distintos GS.....	39
6.2.	Etapa 2. Obtención de Probetas	40
6.2.1.	Preparación de las formulaciones	40
6.2.2.	Extrusión	40
6.3.	Etapa 3. Caracterización.....	41
6.3.1.	Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)	41
6.3.2.	Permeabilidad de agua	41
6.3.3.	Ángulo de contacto.....	42
6.3.4.	Mecánicas	42
6.3.5.	Solubilidad.....	43
VII.	RESULTADOS	45
7.1.	Obtención y caracterización de materiales base.....	45
7.1.1.	Polisuccinimida.....	45
7.1.2.	Microcelulosa acetilada (MCA).....	46
7.1.3.	Evaluación FTIR de las probetas obtenidas	48
7.2.	Etapa 1: Evaluación de la solubilidad de los materiales	49

7.3. Evaluación de Permeabilidad al Vapor de Agua (WVP).....	50
7.3.1. Evaluación de Permeabilidad al Vapor de Agua en función de los GS.....	51
7.3.2. Permeabilidad al Vapor de Agua en función de la MCA.	52
7.4. Caracterización mecánica de las probetas obtenidas.	53
7.4.1. Evaluación de tensión.	53
7.4.2. Evaluación de porcentaje de elongación.....	54
7.4.3. Evaluación del módulo elástico.	56
7.5. Evaluación de dureza.	57
7.5.1. Fracturabilidad.	57
7.5.2. Porcentaje de deformación según dureza.....	58
7.5.3. Resistencia a la tracción.	59
VIII. CONCLUSIÓN.....	61
IX. BIBLIOGRAFIA.....	62
X. ANEXOS.....	67
Estudio estadístico de pruebas de solubilidad.....	67
Anexo 1. Tabla de promedios y desviación estándar de solubilidad.....	67
Anexo 2. Tabla de promedios y desviación estándar de la WVP en función a los GS.....	67
Anexo 3. Tabla de promedios y desviación estándar de la WVP en función a la cantidad de MC.....	68
Anexo 4. Análisis de varianza de Tensión a la fractura.....	68
Anexo 5. Análisis de varianza del porcentaje de elongación.	69
Anexo 6. Análisis de varianza del Módulo Elástico.	70
Anexo 7. Análisis de varianza de Fracturabilidad.	71
Anexo 8. Análisis de varianza del porcentaje de deformación según dureza.	72
Anexo 9. Análisis de varianza de resistencia a la tracción.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clases de biomateriales, características y aplicaciones.	22
Tabla 2. Grados de acetilación a distintos tiempos.....	39
Tabla 3. Formulaciones de las probetas realizadas.....	40
Tabla 4. Condiciones de extrusión.....	40
Tabla 5. Parámetros de las pruebas mecánicas.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis FTIR de Polisuccinimida.....	45
Figura 2. Análisis FTIR de MC en diversos niveles de acetilación. a) Nativa, b) 1h, c) 3h y d) 5h de acetilación.	47
Figura 3. Espectros IR obtenidos de las probetas de los diferentes tratamientos, a,b,c, al 25,20 y 15% con 0 GS, d,e,f, con 25% y 0.3, 0.47 y 0.64 GS respectivamente, g,h,i, con 20% y 0.3, 0.47 y 0.64 GS respectivamente, j,k,l, con 15% y 0.3, 0.47 y 0.64 GS respectivamente.	48
Figura 4. Porcentaje de solubilidad al 15, 20 y 25% de MC	49
Figura 5. Permeabilidad al Vapor de Agua en probetas PSI-ST-MCA con 0, 0.300, 0.470 y 0.640 GS.	52
Figura 6. Permeabilidad al Vapor de Agua de probetas PSI-ST-MCA con 15, 20 y 25 % de MCA.	53
Figura 7. Gráfico de Tensión a la fractura.	54
Figura 8. Gráfico de porcentaje de elongación.	55
Figura 9. Gráfico del Módulo Elástico.	56
Figura 10. Gráfico de fracturabilidad.	57
Figura 11. Gráfico del porcentaje de deformación según la dureza.	58
Figura 12. Gráfico de resistencia a la tracción (Mpa)	59

RESUMEN

El uso desmedido de los materiales de empaques derivados del petróleo ha generado un impacto negativo en el medio ambiente, por lo cual es importante generar conciencia para su adecuada manipulación, en virtud a lo anterior surge la necesidad de buscar distintas fuentes naturales que reemplacen el uso desmedido de polímeros sintéticos, surgiendo así un interés particular por el uso de biocompositos, los cuales deben fortalecer u otorgar las propiedades mecánicas y de barrera propias de un polímero.

El objetivo del presente trabajo fue obtener un biocomposito Polisuccinimida-Almidón-microcelulosa acetilada (PSI-ST-MCA) en diversos grados de sustitución (GS), para mejorar tanto las propiedades de barrera como las mecánicas, para lo cual se elaboraron probetas en base a doce tratamientos variando los contenidos de MCA (15, 20 y 25 %), y los GS (0, 0.300, 0.470 y 0.640). Los análisis realizados a las probetas fueron % de solubilidad, permeabilidad al vapor de agua (WVP), tensión a la fractura (TF), porcentaje de elongación (%E), módulo elástico (M.E.), fracturabilidad (F) y resistencia a la tracción (TS). Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza y t-student ($p \leq 0.05$).

De las pruebas realizadas se encontró que la probeta con la formulación MC, presentó un 53.647% de solubilidad, en contraste con la que contiene 0.300 GS con un 47.863% mostrando una mayor estabilidad, por lo que es posible corroborar que la MCA disminuye el índice de hinchamiento y por ende la solubilidad del material.

Las probetas que presentan una WVP menor son aquellas que en su formulación contienen 20% de MCA y 0.640 GS en contraste con las elaboradas a base de 15% de MCA y 0.300 GS y sin acetilar.

En cuanto a las propiedades mecánicas la probeta que presenta una mayor Tf es la compuesta por 0.300 GS y 25% de MCA, en contraste la probeta que presenta una menor Tf es la identificada con 0.470 GS, en cuanto al % E el dato mayor está dado por las probetas con 0.640 GS adicionadas con 20 y 25% de MCA, opuestamente se

puede apreciar que la probeta con el menor %E es la compuesta por MCA con 0.300 y 0.470 GS, en lo correspondiente al M.E. el mayor valor se obtuvo con la probeta que contiene 0.300 GS y 15% de MCA, por el contrario la probeta con un menor dato se obtiene con la formulación de 0.640 GS y 15% de MCA, lo mencionado anteriormente permite corroborar que las probetas que tienen un mayor M.E. tienden a ser más resistentes ante una fractura.

En cuanto a los datos de dureza es importante destacar la influencia del agente plastificante así como la importancia de la acetilación realizada a la MC, dado que las probetas que presentan una mayor fracturabilidad son aquellas que contienen MC sin acetilar, respecto al porcentaje de deformación según dureza la probeta con mayor resistencia corresponde a la formulada por 0.470 GS y 15 % de MCA, reportando un 4.430 %, de manera contraria la que reporta un menor dato es la probeta identificada con 0.470 GS y 20 y 15 % de MCA, finalmente en el parámetro de TS el valor mayor corresponde a la probeta formulada con 15 % de MCA y 0.300 GS, mientras que el dato menor corresponde a la formulación de 15% de MCA y 0.640 GS.

Palabras clave: polisuccinimida, microcelulosa acetilada, pruebas mecánicas, solubilidad, WVP.

I. INTRODUCCIÓN

La dificultad para reciclar los plásticos sintéticos derivados del petróleo ha promovido el desarrollo de materiales biodegradables, fabricados de polímeros agroindustriales obtenidos de recursos renovables, abundantes y de bajo costo. Puesto que cerca del 41% de la producción de los plásticos son utilizados para la industria del embalaje y el 47% de este es utilizado para el embalaje de alimentos, el uso de biopolímeros dentro de este campo es una excelente alternativa para reducir los actuales problemas de contaminación. (Espina et al., 2016)

Actualmente existe una amplia variedad de empaques, los empaques activos y pasivos suelen ser de interés para el área de alimentos. Los empaques activos representan un concepto innovador de un sistema inteligente que incluye dentro de su diseño o estructura sustancias activas con diferentes funciones mediante interacciones entre el alimento, el empaque y el ambiente. Este sistema trabaja de manera coordinada para reducir los niveles de gases indeseados en la atmosfera del empaque, inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos, prevenir la migración de contaminantes u olores hacia los alimentos, mejorar su calidad y seguridad e incrementar su tiempo de vida de anaquel, mientras se mantienen sus características nutricionales.

Los filmes y revestimientos comestibles tienen mucha aplicación en la industria de alimentos, son usados con mucha frecuencia como barreras para lípidos, vapor de agua, gas y sabor en frutas y vegetales frescos y mínimamente procesados, confitería, alimentos congelados y productos cárnicos. (Durango et al., 2011)

La principal desventaja de los biopolímeros en el envasado de alimentos es que casi todos son permeables al transporte de gases y moléculas de bajo peso molecular. (Durango et al., 2011) Así también sus propiedades mecánicas son menores que las de los polímeros sintéticos. Con el fin de subsanar el problema presente en los biopolímeros surge la necesidad de crear biocompositos que confieran las características propias de un material de empaque, surgiendo así la MC modificada, la cual actúa como refuerzo tanto de las propiedades mecánicas como de las propiedades de barrera.

II. HIPÓTESIS

La integración de MCA al biocomposito derivado de la PSI-ST mejorará las características mecánicas y las propiedades de barrera de las probetas a elaboradas.

La integración de MCA al biocomposito derivado de la PSI-ST no presentará efectos sobre las características mecánicas y las propiedades de barrera de las probetas a elaboradas.

III. JUSTIFICACIÓN

La tecnología de empaques de alimentos ha estado en continua evolución en respuesta a los crecientes retos de la sociedad moderna, en cuanto a garantizar mayor tiempo de vida útil de los alimentos, proporcionar mayor seguridad alimentaria, ofrecer alimentos saludables y disponer de un manejo adecuado de desperdicios de empaque. Esta situación ha causado que el diseño y las especificaciones del empaque de alimentos vayan más allá de garantizar una barrera pasiva que separe al alimento del ambiente. Es de suma importancia generar conciencia sobre la contaminación que generan los materiales sintéticos al medio ambiente.

Actualmente, los empaques representan una de las áreas de aplicación de los polímeros sintéticos, de mayor consumo. Como parte de las nuevas tecnologías en el desarrollo de procesos sustentables, debido a la acumulación de desechos sólidos han surgido los polímeros biodegradables, los cuales tienen propiedades funcionales comparables con los plásticos sintéticos. (Niño et al., 2010)

El uso de empaques activos no solo garantiza un alimento de calidad sino que garantiza el uso de un material biodegradable, ayudando así en la disminución de la huella ecológica y contribuyendo al cuidado del medio ambiente. Sin embargo los materiales biobasados son frágiles y permeables, en este sentido surge el reto de incrementar las propiedades de barrera y mecánicas de dichos materiales, dando paso así al desarrollo de biocompositos modificados que ayuden a resarcir los problemas que se presentan al hacer uso de este tipo de materiales.

Por lo anteriormente expuesto el desarrollo y la evaluación de nuevos biomateriales para el desarrollo de empaques activos es una área de investigación en boga, en el presente trabajo se evaluaron las propiedades mecánicas y de barrera de un biocomposito a base de PSI y MC modificada químicamente a diferentes grados de acetilación.

Por lo cual la presente investigación se enfocó en evaluar las propiedades mecánicas y las propiedades de barrera de un biocomposito que en su estructura tiene como base

MCA, misma que se ha obtenido y analizado en un trabajo previo, confiriendo propiedades deseables tanto mecánicas como de barrera a los empaques en los cuales se adiciona.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas y de barrera de un biocomposito PSI-MC a diferentes GS.

4.2. Objetivos específicos

- Elaborar un biocomposito PSI-ST-MCA en diversos grados de acetilación.
- Evaluar químicamente las probetas obtenidas.
- Evaluar las propiedades de permeabilidad al vapor de agua y de solubilidad de las probetas desarrolladas.
- Evaluar las propiedades mecánicas de los productos desarrollados.

V. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Biomateriales y materiales biobasados

5.1.1. Biomaterial

No existe una única definición para el término de biomaterial, por lo tanto se han propuesto distintas definiciones.

- a) Biomaterial es cualquier sustancia o combinación de sustancias de origen natural o artificial, que puede ser usada durante cierto tiempo como un todo o como parte de un sistema que permite tratar, aumentar o reemplazar algún tejido, órgano o función del cuerpo humano (Duffó, 2012).
- b) Hablar de biomateriales implica hablar de materiales capaces de estar en contacto con tejidos vivos, durante un periodo de tiempo, como parte del tejido, con la finalidad de completar al tejido y/o de ayudar a mejorar el funcionamiento de éste cuando forma parte de un sistema (Piña Barba, 2007).
- c) Biomaterial es un material no vivo usado en un dispositivo médico, pensado para interactuar recíprocamente con sistemas biológicos. (Duffó, 2012)

5.1.2. Materiales biobasados

Son aquellos que se fabrican a partir de la biomasa, la materia orgánica que compone a los seres vivos de los recursos naturales renovables, generalmente plantas, algas y microorganismos. En algunos casos es posible producirlos incluso a partir de residuos (Morillas et al., 2015).

James Newell señala que los materiales biobasados se derivan de tejido viviente pero que no hacen la función de un organismo.

5.2. Importancia

Los biomateriales desempeñan actualmente un papel importante en la determinación de la calidad de vida de la población. El progreso ha sido multidisciplinario, involucrando áreas tales como ingeniería de materiales, biología celular, ciencia de biomateriales, química macromolecular, ingeniería genética, electrónica y micro ingeniería, entre otras.

En la medicina moderna los biomateriales se emplean principalmente en cirugía ortopédica, en cirugía maxilo-facial, en cirugía cardiovascular y en oftalmología.

Además, el aumento en el conocimiento fundamental aunado al desarrollo de la tecnología, permite en algunos casos diseñar sustancias con características específicas; llevando al desarrollo de distintos materiales. (*Vista de Biomateriales.Pdf*, n.d.)

De acuerdo con James Newell un biomaterial esta específicamente diseñado para su uso en aplicaciones biológicas como extremidades artificiales y membranas para diálisis así como huesos y músculos.

5.3. Fuentes, ventajas y desventajas

Material	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Polímeros: Silástico, Teflón, Dacrón, Nailon, PMMA, Silicón, Polietileno, Polipropileno, Poliéster, Politetraflúoretileno.	Facilidad de producción, baja densidad.	Baja resistencia mecánica, fácilmente degradables.	Suturas, arterias, venas, cementos, tendones artificiales, dientes, orejas, nariz, válvulas cardiacas, lentes, implantes para testículos y mamas.
Cerámicas: Óxidos de aluminio, aluminatos de calcio, óxidos de titanio, fosfatos de calcio, carbón, Bioglass.	Alta biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, alta resistencia a la comprensión,	Baja resistencia al impacto, propiedades difíciles de reproducir, dificultades al	Partes dentales, revestimiento, rellenos óseos, endoscopias, implantes otológicos,

	inertes, bajas conductividades térmica y eléctrica.	procesar y de fabricación.	herramientas y equipo médico.
Metales: Aceros 316 y 316L, Vitallium, Plata, Tántalo, Cobalto F-75 y aleaciones de: Ti, Cr-CO, Cr-Co-Mo.	Ductilidad, alta resistencia mecánica al desgaste y al impacto.	Baja biocompatibilidad, corrosión en ambientes fisiológicos, propiedades mecánicas muy diferentes a las de los tejidos biológicos.	Grapas, placas y alambres, prótesis de articulaciones, implantes dentales, implantes de pene, placas para cráneo y mallas para reconstrucción facial.
Composites: Metales con revestimientos cerámicos, materiales revestidos con carbón.	Alta biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, inertes.	Dificultad de reproducir las características durante la fabricación.	Válvulas cardiacas, implantes de rodilla, articulaciones artificiales, implantes de cadera.
Materiales naturales: colágeno, tejidos humanos, ácido hialurónico, injertos.	Disponibilidad en el cuerpo humano, biocompatibilidad.	Posible rechazo por el receptor.	Aumento o sustitución de tejidos blandos y duros, protectores de córnea, implantes

			vasculares, tendones y ligamentos, sustitución del líquido sinovial.
--	--	--	----------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1. Clases de biomateriales, características y aplicaciones.

5.4. Carbohidratos

Los carbohidratos (CHO) son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, presentan la fórmula general $C_x(H_2O)_n$, y tienen estructura de polihidroxialdehído o de polihidroxiacetona; además todos los carbohidratos presentan grupos funcionales C=O o –OH.

Los CHO son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza, y también los más consumidos por los seres humanos.

Existe un gran número de carbohidratos; los más conocidos son la sacarosa, la glucosa, fructuosa, el almidón y la celulosa, pero también hay otros que, aunque se encuentran en menor concentración en los productos que consumimos diariamente, tienen mucha importancia por sus propiedades físicas, químicas y nutrimentales.

La estructura química de los carbohidratos determina su funcionalidad y características, mismas que repercuten de diferentes maneras en los alimentos, principalmente en el sabor, la viscosidad, la estructura y el color.

5.4.1. Sacarosa

La sacarosa (β -D-fructofuranosil- α -D-glucopiranososa) llamada comúnmente “azúcar”, está integrada por una glucosa cuyo carbono aldehído se une al cetónico de la fructuosa, estableciendo un enlace glucosídico $\beta(1,2)$ que impide que este disacárido sea reductor por carecer de grupos aldehído o cetona libre, no exhibe mutarrotación.

La sacarosa es el químico orgánico más abundante en el mundo. Su hidrolisis parcial se aprovecha comercialmente en la elaboración de azúcar invertido usado en bebidas.

5.4.2. Celulosa

Es el polisacárido estructural de todo el reino vegetal; por ser considerado el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza y constituir una fuente de glucosa prácticamente inagotable que se renueva de forma continua mediante la fotosíntesis. La celulosa se encuentra en las frutas, las hortalizas y los cereales como constituyente estructural de las paredes celulares, y también la producen ciertos microorganismos.

5.4.3. Almidón

Este carbohidrato ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, además de que se ha dado un gran número de usos industriales. Después de la celulosa, es probablemente el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales, tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva de energética.

Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$, que establece largas cadenas lineales; la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa.

En términos generales, los almidones contienen aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. (Badui, 2006)

5.4.4. Lechuguilla

La lechuguilla (*Agave Lechuguilla*) es una especie propia de las zonas áridas y semiáridas de México y sur de los Estados Unidos de América y es la más representativa del Desierto Chihuahuense. Se distribuye en grandes extensiones del país, primordialmente en los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, San Luís Potosí, Tamaulipas, Durango y en menor proporción en el centro de México.

La fibra de esta planta se obtiene del cogollo, constituido por las hojas más tiernas que están agrupadas al centro de la misma, del cual se obtiene la fibra de mayor calidad y del mejor valor comercial, dado que posee menor lignificación, en comparación con las hojas laterales (Narcia Velasco et al., 2019).

Diferentes especies de agave han mostrado actividad antimicrobiana y antifúngica, antiinflamatoria, antioxidante, molusquicida, antidiabética y actividad citotóxica contra algunas líneas de célula cancerígena. Estas propiedades son atribuidas a ciertos fotoquímicos como saponinas, sapogeninas, compuestos fenólicos y fructanos. Además de las propiedades benéficas citadas, las saponinas de diferentes plantas son antiparasitarias, antivirales, cicatrizantes de heridas, antioxidantes, antiulcerogénicas, inmunomoduladores, hepatoprotectoras, neuroprotectoras, antimutagénicas, antiespasmódicas, hipolipemiantes y con actividades hipocolesterolémicas (Carmona et al., 2017).

5.5. Péptidos

Los aminoácidos se unen covalentemente formando un enlace covalentemente formando un enlace amida entre los grupos α -amino y α -carboxilo. Este enlace suele denominarse enlace peptídico, y los productos que se forman a partir de esta unión se llaman péptidos. (Badui, 2006)

5.5.1. Polisuccinimida

Los polímeros no se descomponen naturalmente. En consecuencia, la investigación sobre polímeros biodegradables se ha vuelto activa recientemente. Los poli (aminoácidos) con enlaces amida similares a proteínas son completamente biodegradable Poliaspartato de sodio (SPA), un poli (aminoácido) con cadenas laterales de ácido carboxílico, exhibe biodegradabilidad y funcionalidad como capacidad quelante y dispersabilidad.

La polisuccinimida (PSI) es un biopolímero amigable con el medio ambiente ya que es biodegradable y no tóxico, es reconocido como material verde. En 1970 se descubrió que al calentar ácido aspártico daba como resultado la formación un anhídrido interno reactivo que al condensarse forma una poliimida.

La PSI ofrece la posibilidad de reemplazar poli (ácido acrílico) y afines con polímeros en muchas aplicaciones. SPA es comúnmente sintetizado por la hidrólisis de polisuccinimida (PSI) preparado por la policondensación térmica de ácido aspártico.

5.6. Alternativas de acoplamiento y mejora de materiales biobasados

5.6.1. Biocompositos

Los biocompositos están formados de polímeros biodegradables como matriz y cargas biodegradables, usualmente biofibrillas y son de gran interés, debido a que provienen de fuentes renovables, tienen bajo peso, una gravedad específica baja, no son abrasivos para los equipos de procesado. Entre los biocompositos, una categoría importante está basada en matrices de agropolímeros, cuyo principal ejemplo lo constituye el almidón. (Arroyo Rosas, 2008)

Un biocomposito está compuesto por la concentración de fibras que generalmente varían de 5% a 30% en peso total del termoplástico. Al incorporar fibras vegetales a la matriz termoplástica de almidón se forma este material. Debido a que todos los componentes son de origen biológico o natural, se le considera totalmente biodegradable. Se ha propuesto que las fibras contribuyen a mejorar la estabilidad

térmica, a disminuir la absorción de humedad y evitar la recristalización del almidón por la interacción entre la fibra y el almidón termoplástico (Barrios Guzmán et al., 2018).

5.6.2. Estado del arte

5.6.2.1. Farmacéutica

Los materiales renovables y basados totalmente en plantas son altamente buscados como alternativas verdes a las proteínas de origen animal como alternativas verdes a las proteínas de origen animal para la ciencia de materiales, farmacéutica y aplicaciones de suplementos alimenticios. En consecuencia, una variedad de productos agrícolas, como polímeros de carbohidratos, incluidos alginatos, carragenina, celulosa, quitosano y glucomanano de konjac, son utilizados como alternativas a los polímeros sintéticos.

La carragenina es un biocompuesto potencial para la cápsula dura en la aplicación de entrega de medicamentos. Las propiedades mecánicas y de desintegración de películas compuestas de carragenina reticulada hecha de materiales renovables y de bajo precio facilitan la aplicación de la película como capsulas duras para la administración de fármacos. (Adam et al., 2021)

5.6.2.2. Biomédica

La ingeniería de tejidos es una aplicación de la bioingeniería que se ocupa de la regeneración/reparación o reemplazo de tejidos dañados. Los tres componentes claves de la ingeniería de tejidos implican: armazón, células y moléculas de señalización, es decir, factores de crecimiento. El componente más vital es el andamio que interactúa con las células y los factores de crecimiento para regenerar un tejido

específico. Un andamio ideal para aplicaciones de ingeniería de tejidos debe tener algunas características deseables como biocompatibilidad, degradabilidad, resistencia mecánica e hidrofilia. Un andamio diseñado a partir de un solo polímero es incapaz de impartir todas las características deseadas, sin embargo al usar dos o más combinaciones poliméricas adecuadas, es factible fabricar un andamio con las propiedades deseadas. Los diferentes polímeros utilizados hasta ahora se pueden dividir en polímeros sintéticos y polímeros naturales. Los polímeros sintéticos no poseen la similitud estructural con los componentes de la matriz extracelular (MEC), como los glicosaminoglicanos y el colágeno presentes en los tejidos. Los polímeros naturales ofrecen la ventaja de ser similares a las macromoléculas biológicas, que se encuentran presentes de forma natural en el organismo.

La celulosa bacteriana (BC) es un polímero natural hidrofílico y es un candidato ideal para la fabricación de andamios de ingeniería de tejidos debido a su biocompatibilidad, resistencia mecánica y degradabilidad, sin embargo BC es un polímero altamente hidrofílico con baja adsorción de proteínas no específicas, las células no se adsorben fácilmente a las superficies de celulosa, tampoco posee propiedades antimicrobianas propias, por lo tanto para aumentar la adhesión celular y la respuesta celular sobre el andamiaje, es deseable amalgamar BC con otros materiales poliméricos para desarrollar una película compuesta con propiedades ventajosas. Otro polímero ampliamente utilizado es el quitosano, es un polisacárido derivado de la quitina que se parece estructuralmente a los glicosaminoglicanos.

El quitosano presenta una buena adherencia celular y propiedades proliferativas y también es de naturaleza antimicrobiana, tiene una baja resistencia mecánica y alta tasa de degradación. La gelatina es otro biopolímero conocido por ser biocompatible y biodegradable, se parece estructuralmente al colágeno, presentando propiedades adecuadas de adhesión, proliferación y diferenciación celular, pero posee baja resistencia mecánica y alta tasa de degradación.

Para combinar las propiedades beneficiosas de BC y el quitosano, varios científicos fabricaron un compuesto de BC-quitosano, así como BC y gelatina, que muestran una buena resistencia mecánica, adhesión celular y respuesta proliferativa. El objetivo es

fabricar películas ternarias de nanobiocompuestos BC-CG mediante un método de inmersión simple seguido de liofilización, para el uso potencial como andamio ideal en aplicaciones de ingeniería de tejidos. (Sharma et al., 2021)

Dentro de las aplicaciones biomédicas el quitosano tiene uso en piel artificial, oftalmología, curación de heridas, tratamiento de quemaduras y tejidos de ingeniería.

(Aguilar-Pérez et al., 2019) Sugiere que espumas preparadas de poliuretano con partículas de titanio con aceite de ricino y diisocianato de isoforas pueden ser utilizadas como andamios para la regeneración del tejido óseo.

5.6.2.3. Alimentos

En los últimos años, el uso y desarrollo de recursos biodegradables en la preparación de biopolímeros y bioplásticos ha cobrado una gran importancia entre las investigaciones industriales. El quitosano se deriva principalmente de los productos del mar y las nanopartículas de quitosano de los mimos. Los CON, como rellenos verdes, mostraron un potencial en el refuerzo de varios materiales biodegradables en compuestos para envasado de alimentos y aplicaciones biomédicas. Los CNP son nanomateriales prometedores para mejorar varios aspectos operativos, estructurales y antimicrobianos, así como propiedades de los biocompuestos para diversas aplicaciones en el envasado de alimentos, sistemas de entrega y usos biomédicos.

Las nanopartículas de quitosano están clasificadas como prestigiosos nanorrellenos para desarrollar diversas características de biocompuestos a través de sus excelentes funcionalidades. Los CNP se sintetizan básicamente mediante modificaciones de biopolímeros de quitosano.

Los polímeros de quitosano son obtenidos por modificación química de la quitina, originada tanto de conchas de mariscos como de algunas membranas de hongos, y

presentados como candidatos para aplicaciones de envasado de alimentos. (Garavand et al., 2022)

5.7. Empaques activos

Los empaques activos son una de las nuevas tecnologías en la industria de los alimentos. Estos empaques activos actúan de manera positiva con el producto y el medio ambiente para mejorar y/o preservar la calidad, la seguridad y las propiedades sensoriales de éstos, por más tiempo que los envases convencionales.

El término empaque activo describe cualquier sistema de envasado que proteja los alimentos de la contaminación o degradación creando una barrera a las condiciones externas, mientras interactúan con el ambiente interno para controlar la atmosfera dentro del empaque, absorbe productos químicos de los alimentos o libera sustancias del medio ambiente dentro del envase que lo rodea, tales como conservantes, antioxidantes y aromas, estas sustancias que dan la función activa al empaque pueden encontrarse en un recipiente separado o ser incorporadas directamente en el material de embalaje. (Fernández- León et al., 2018)

5.7.2. Antimicrobianos

Estos envases activos tienen las funciones de prevenir el crecimiento de microorganismos; éstos se incorporan directamente al envase mediante películas. En la actualidad se han realizado diferentes pruebas con sustancias entre las que destacan: etanol, dióxido de carbono, dióxido de cloro, bacteriocinas, antibióticos, ácidos orgánicos, aditivos alimentarios como polioles, alcoholes de azúcares, sorbatos, benzoatos, propionatos, antimicrobianos como nisina, natamicina y pediocina, pesticidas y biocidas, entre otros. Estos agentes se pueden clasificar en dos tipos:

- a) Los que desde una sustancia activa migran a la superficie de los alimentos, y

- b) Los que son eficaces contra el crecimiento microbiano sin producirse migración hacia los alimentos. (Hernández-Sánchez, 2016)

5.7.3. Propiedades de barrera.

5.7.3.3. Permeabilidad de O₂

Estos se encargan de eliminar el oxígeno que se encuentra en la atmosfera que rodea al producto a consumir. El oxígeno es una de las principales fuentes de crecimiento de moho o bacterias aerobias, genera cambio: químicos como por ejemplo la rancidez, en apariencia en los alimentos y la composición nutricional, entre otros. En la actualidad los más comunes son los encargados de absorber O₂ empleando hierro, el cual elimina o reduce el oxígeno a partir de su reacción para formar óxido de hierro. (Hernández-Sánchez, 2016)

5.7.3.4. Permeabilidad de etileno

Los alimentos altamente perecederos desde su recolección, como lo son las frutas y verduras, necesitan un control de etileno en lo que se conoce como pos-cosecha para mantener la vida útil, la calidad y la frescura.

Algunos empaques activos que absorben etileno emplean el uso de almohadillas o bandejas absorbentes de gas etileno y usando una mezcla de minerales, arcillas, zeolitas, que poseen una alta porosidad, y absorben una cantidad de gas adecuada disminuyendo considerablemente el deterioro de la vida útil de algunas frutas, como lo son: manzanas, fresas, plátano, mango, aguacate y zanahorias. (Hernández-Sánchez, 2016)

5.7.3.5. Permeabilidad de CO₂

El dióxido de carbono es uno de los principales agentes que impiden la actividad microbiana. La presencia de este gas, entre un 60% y 80%, prolongan la vida de los alimentos; por lo tanto, un enfoque complementario a la eliminación de O₂ es la impregnación de una estructura de envasado con un sistema generador de CO₂, dado

que la permeabilidad del CO₂ es de 3 a 5 veces mayor que la del O₂ en la mayoría de las películas plásticas y debe producirse continuamente para mantener la concentración deseada dentro del envase.

Los altos niveles de CO₂ causan cambios en el sabor de los productos, por lo que un generador de CO₂ sólo es útil en ciertas aplicaciones tales como carnes frescas, aves, pescado y queso. (Hernández-Sánchez, 2016)

5.8. Permeabilidad al vapor de agua

5.8.2. Qué es

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es una propiedad ampliamente estudiada debido al papel que juega el agua en las reacciones deteriorarías de los alimentos. La permeabilidad del agua está relacionada con la difusividad y la solubilidad del material en el agua; si el material es altamente soluble en agua, la permeabilidad será menor.

5.8.3. Importancia

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es una de las propiedades más importantes usadas para identificar la idoneidad de las películas en el posible uso como materiales de empaque en alimentos y es un fenómeno bastante complicado si el polímero tiene naturaleza polar.

Los productos alimenticios frescos, tienden a deteriorarse rápidamente ya que tienen un metabolismo continuo, es decir, respiración y transpiración. También son propensos a la contaminación por bacterias, levaduras y/o mohos. Los productos frescos deben envasarse en películas con alta permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua. La mayoría de las películas poliméricas utilizadas en los envases de atmósfera modificada actuales tienen una permeabilidad al vapor de agua demasiado baja en relación con la pérdida de humedad de los productos frescos. Por lo tanto se forma una humedad relativa alta en el espacio de cabeza que provoca la condensación del vapor de agua que conduce al crecimiento microbiano y la descomposición de los productos. El

problema de la condensación se ve agravado también por las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento, la distribución y comercialización. (Turan, 2021)

5.8.4. Impacto en la conservación de alimentos

Cada producto alimenticio posee un requerimiento específico de humedad que determina su vida útil y sus propiedades organolépticas. Por lo tanto, las propiedades de WVP juegan un papel crucial en el envasado de alimentos, ya que determinan la cantidad de humedad que se propaga a través de la película de envasado. La propiedad de barrera contra la humedad evita la ganancia o pérdida de humedad que puede deteriorar la calidad alimentaria de los productos secos o frescos. (Vázquez et al., 2021)

5.9. Materiales hidrofílicos

Los polímeros hidrofílicos son aquellos que contienen grupos polares o grupos funcionales cargados, presentando cierta afinidad al agua. En general presentan unas excelentes propiedades de barrera frente a gases y compuestos orgánicos en seco. Sin embargo, son materiales sensibles a la humedad y en presencia de ambientes de humedad relativamente alta sufren un deterioro en sus propiedades, con pérdidas de permeabilidad al oxígeno. (López de Dicastillo, 2011)

Los plásticos biodegradables son materiales que mediante la acción de microorganismos o enzimas son degradados a compuestos de bajo peso molecular aprovechables por los microorganismos presentes en el medio ambiente. Estos plásticos son elaborados a partir de polímeros presentes en la naturaleza, uno de los polímeros naturales de los cuales se pueden elaborar plásticos biodegradables es el almidón.

La principal limitación de los plásticos derivados del almidón, es la elevada tendencia de estos materiales a absorber agua del ambiente, que provoca cambios en el comportamiento físico y mecánico del producto final.

La afinidad por el agua de los plásticos biodegradables derivados del almidón se debe esencialmente a la estructura y naturaleza química del almidón.

El almidón es un polisacárido conformado por dos polímeros: amilosa y amilopectina. La abundancia de grupos hidroxilo en la amilosa le otorga propiedades hidrofílicas a este polímero, impartándole afinidad por el agua, sin embargo, la amilosa tiende a agruparse muy estrechamente en forma paralela mediante la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo adyacentes reduciendo esta afinidad. El gran tamaño y naturaleza ramificada de la amilopectina reduce la movilidad de los polímeros e interfiere su tendencia a orientarse muy estrechamente para permitir niveles significantes de enlaces de hidrógeno.

La afinidad por el agua de los plásticos biodegradables derivados de almidón se debe esencialmente a la naturaleza hidrofílica del almidón, que puede ligar y retener moléculas de agua en su estructura a través de fuertes interacciones de enlaces de hidrógeno.

El efecto hidrofílico en plastificantes dependerá de la fortaleza de la interacción con el almidón, una interacción fuerte puede disminuir el número de sitios disponibles para el agua y por tanto puede contribuir con la disminución de la absorción de agua, mientras que una interacción débil puede proveer sitios adicionales para la adsorción de agua. (Ceron M, 2013)

5.10. Materiales hidrofóbicos

La hidrofobicidad se define como la propiedad que posee la superficie de algunos materiales de repeler el agua. El parámetro más comúnmente usado para medir la hidrofobicidad es el ángulo de contacto, definido como el ángulo que forma un líquido respecto de la superficie de un sustrato sólido.

Cuando el ángulo de contacto es superior a 90° se dice que el material es hidrofóbico, mientras que cuando este parámetro es superior a 150° se dice que el material es súper hidrofóbico. (Fernando et al., n.d.)

Los materiales hidrofóbicos son neutrales eléctricamente y no polares, se observa que una gota colocada sobre ellos conserva su forma semiesférica con cierto ángulo de

contacto. En cambio al ser un material hidrofílico, se convierte en un material polar, se ve que esa gota se esparce por el material perdiendo su esfericidad.(Gómez, 2005)

5.11. Estrategias para disminuir las propiedades hidrofílicas del almidón

- Modificación química del almidón: aplicada mediante reacciones de esterificación, eterificación, oxidación, cationización e injerto en los grupos hidroxilo del almidón, que genera nuevos grupos funcionales con menor hidrofiliidad.
- Asociación del almidón con otros polímeros menos hidrofílicos
- Modificación superficial de los productos finales: intenta afectar las propiedades hidrofílicas superficiales del producto derivado de almidón bien sea mediante modificación química o física.

5.12. Acetilación

5.12.2. Qué es

La acetilación es una modificación química por esterificación, en la cual se sustituyen los grupos hidroxilos por grupos acetilos que le brindan mayor estabilidad, variando las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones. La acetilación incrementa la claridad y estabilidad de los geles y reduce la retrogradación. (Prieto-Méndez et al., 2010)

5.12.3. En que se ha llevado a cabo

El proceso de acetilación se ha llevado a cabo en almidones de distintas procedencias. Debido a sus propiedades funcionales el almidón es usado en diversas industrias, sin embargo, los almidones nativos no resisten la exposición a altos esfuerzos de corte y temperaturas o valores de pH extremos. La modificación química del almidón es utilizada para mejorar su resistencia a las condiciones extremas y sus propiedades

funcionales. Los almidones modificados muestran mayor estabilidad a condiciones extremas de procesamiento, incrementan su resistencia a la retrogradación y mejoran la estabilidad durante el congelamiento.

El proceso de acetilación se ha llevado a cabo en almidón de plátano, cebada, maíz, papa, yuca, etc.; con el objetivo principal de mejorar las propiedades funcionales de cada almidón.

5.12.4. Cómo se lleva a cabo

La acetilación de los almidones se realiza pesando 50 g de almidón en base seca (bs), se mezcla con 400 ml de anhídrido acético dentro de un matraz con dos bocas, se agita a 200 rpm con un mezclador, después se homogeniza durante cinco minutos, se agregan 7.5 g de NaOH por gramo de almidón, la temperatura se incrementa a 120 °C (en un baño con aceite), al llegar a esta temperatura se contabiliza el tiempo de reacción. Al finalizar el tiempo se retira el matraz del baño y la temperatura se disminuye a 50° C; posteriormente se precipita el almidón con 300 ml de alcohol etílico al 96%. La solución resultante se centrifuga lavando el residuo con alcohol y posteriormente con agua hasta eliminar la mayor parte de anhídrido acético. Después de los lavados, la pasta de almidón es secada en una estufa a una temperatura de 50° C durante 24 h. finalmente el almidón modificado se muele y tamiza con una malla de 50 (US) con el fin de obtener un tamaño de partícula homogénea. (Del & Plátano, 2009)

5.12.5. Cómo se evalúa

5.12.5.3. Determinación de grupos acetilo ($\text{CH}_3\text{-C=O}$)

Para la determinación de los grupos acetilo se utiliza la metodología por Wurzburg, 1986, la cual consiste en pesar 1 g de almidón nativo y modificado (bs) y se transfiere a un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se le agregan 50 ml de agua destilada, unas gotas de fenolftaleína y se neutraliza con NaOH 0.1 N hasta que permanece un color ligeramente rosado. Después se le adiciona 25 mL de NaOH 0.45 N y se agita

vigorosamente la suspensión con un agitador magnético durante 30 min. Transcurrido el tiempo, las muestras saponificadas se titulan con HCl 0.2 N utilizando fenolftaleína como indicador. Se valora al mismo tiempo un blanco, usando el almidón nativo. El porcentaje de acetilos representa el porcentaje en peso de los grupos acetilo en el almidón en base seca y se calcula con la siguiente formula:

$$\% \text{ acetil} = \frac{(mL \text{ blanco}) - (mL \text{ muestra}) \times N \text{ del HCl} \times 0.043 \times 100}{\text{gramos de la muestra (base seca)}}$$

Donde:

0.043= miliequivalentes del grupo acetilo

5.12.4.2. Determinación de GS (GS)

El grado de sustitución (GS) es el número promedio de grupos acetilo introducidos por unidad de glucosa y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Grado de sustitución (GS)} = \frac{162 \times \% \text{acetil}}{4300 - (42 \times \% \text{acetil})}$$

Donde:

162= peso molecular de la unidad de anhídrido glucosa.

4300= 100 x peso molecular del grupo acetilo

42= peso molecular del acetilo -1

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Etapa1. Obtención de materiales base.

6.1.1. Polisuccinimida (PSI)

El proceso de elaboración se PSI se divide en dos etapas, la primera es el quemado de ácido-L aspártico y la segunda etapa consta de una serie de lavados y filtrados.

Quemado Ácido-L aspártico

- Pesar 1.33g de ácido L-aspártico en un vaso de precipitado de 150 ml.
- Colocar el vaso de precipitado en la parrilla y llevarlo a calentamiento a temperatura de 250 a 300°C con agitación constante hasta que cambie de color a bronceado (coral) o bien por dos horas (lo que ocurra primero).
- Cuando el calentamiento se haya completado, el vaso se lleva a enfriamiento a temperatura ambiente.

Para el filtrado se utilizó una solución acuosa de HCl al 1% (1x5 ml), una solución saturada de NaHCO₃ (3x5 ml) y agua destilada (1x5ml).

- Pesar 3 g de polvo quemado y frío, colocarlo en un filtro de succión.
- Realizar el lavado con 5 ml de solución de HCl, posteriormente se agregan 5 ml de agua destilada, a continuación 15 ml de solución saturada de NaHCO₃ y finalmente 5 ml de agua destilada.
- Una vez hecho todos los lavados, se procede a secar en una estufa a 40°C por 24h. (Bennet, 2005)

6.1.2. MC

Las fibras de Agave de Lechuguilla fueron proporcionadas por MC Héctor Darío González López del departamento de Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los cogollos del maguey de *Lechuguilla Torrey* se recolectaron de diferentes zonas de Coahuila. Las fibras se encontraban limpias y separadas por manojos.

Para la obtención de MC, se reduce el tamaño de partículas mediante el cortado con tijeras, esto con la finalidad de facilitar la agitación cuando entre en contacto con las soluciones.

Una vez cortadas las fibras se someten a un proceso de secado para eliminar la humedad residual a una temperatura de 30°C por 12 horas, posteriormente, las fibras se ponen en contacto con una solución al 0.4% de ácido sulfúrico manteniéndolas en agitación por 1 hora teniendo en cuenta que, por cada gr de fibras, se adicionan 20 ml de dicha solución, transcurrido el tiempo se deja sedimentar y se retira sobrenadante para seguir con una serie de lavados con agua destilada hasta llegar a un pH neutro. En este paso se realiza con la finalidad de romper la pared celular de las fibras y eliminar impurezas.

Una vez que las fibras se encuentran en un pH neutro, se someten a un proceso de cloración empleando NaClO al 3.5% a 30°C por 1 h en agitación constante manteniendo la proporción de 20 ml de solución preparada por cada gramo de fibra. Una vez terminado el tiempo, retirar el sobrenadante y lavar con agua destilada hasta alcanzar el pH neutro, con este tratamiento se busca eliminar la lignina presente, así como colorantes naturales.

A continuación, se lleva a cabo una hidrólisis alcalina con NaOH al 5% agregando 20 ml de la solución por cada gramo de fibra, a una temperatura de 60°C por 2 h en agitación. En este proceso se lleva a cabo la eliminación de hemicelulosa, azúcares y oxidantes presentes en las fibras, posteriormente se realizan nuevamente los lavados hasta alcanzar la neutralidad.

Enseguida se realiza el proceso de cloración al 0.5% en agitación durante 1 hora, transcurrido el tiempo, se realizan los lavados con agua destilada hasta alcanzar el pH neutro.

Los últimos pasos consisten en secar y moler el producto obtenido. Para el secado, las fibras son guardadas en un recipiente de vidrio y se llevan a la estufa por 12 horas a 60°C.

La molienda se lleva a cabo mediante un molino de aspas "El crisol" para después tamizar a través de una criba de malla número 150 con abertura de 105 micrones equivalentes a 0.0105 centímetros.

6.1.3. MC con distintos GS.

Para llevar a cabo la presente investigación se hizo uso de MCA, con distintos GS como se describe en la tabla 2.

Estos datos fueron proporcionados por (Flores, 2022)

Tiempo de acetilación (h)	% Acetilo	Grados de sustitución (GS)
1	3.31	0.300
3	11.18	0.470
5	14.62	0.640

Tabla 2. Grados de acetilación a distintos tiempos.

6.2. Etapa 2. Obtención de Probetas

6.2.1. Preparación de las formulaciones

Para realizar este trabajo, se llevaron a cabo las formulaciones descritas en la tabla 3.

Material	Mezclas (%)		
	T1	T2	T3
MCA	25	20	15
AEO	5	5	5
Glicerol	30	30	30
Almidón	20	25	30
PSI	20	20	20

Tabla 3. Formulaciones de las probetas realizadas.

6.2.2. Extrusión

La extrusión del material 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 (Cruz Espinoza, 2019) que se mencionan en la tabla 4.

Parámetros empleados
Temperatura: 125°C
Velocidad de husillo: 60 r.p.m
Tiempo de residencia: 3 minutos

Tabla 4. Condiciones de extrusión.

Las mezclas se realizaron por separado: primero, se mezclaron los líquidos (glicerol, AEO), seguido de los sólidos (PSI, ST, MCA) una vez que se cuenta con las mezclas

homogéneas se juntan hasta formar una sola masa, que posteriormente se alimenta la tolva para dar inicio con la extrusión.

6.3. Etapa 3. Caracterización

6.3.1. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

La Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) es una técnica empleada para obtener la huella dactilar molecular de una muestra biológica que absorbe la onda infrarroja de acuerdo con los enlaces químicos y estructurales de las moléculas, proporcionando información de la estructura específica de biomoléculas como lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos, a través de una serie de bandas identificables de grupos funcionales en la región electromagnética del infrarrojo medio.

El análisis de una muestra por FTIR proporciona información de la estructura y concentración molecular. Todas las moléculas pueden manifestar una serie de bandas de absorción, cada banda corresponde con un movimiento de vibración de un enlace específico dentro de la molécula.

6.3.2. Permeabilidad de agua

La permeabilidad al vapor de agua del polímero se determinó usando una modificación del método ASTM E1249-06 (2011).

Se utilizaron celdas de permeabilidad, colocando la muestra del polímero de manera que la cara del material correspondiente a la superficie de secado libre quedara expuesta al ambiente. Dentro de dichas celdas se colocaron 4 g de sílica gel deshidratadas, las celdas con el polímero y el agente higroscópico se introdujeron dentro de una cámara climática acondicionada a una temperatura de 25°C y 50% de HR. Las celdas se pesaron durante 3 h, a intervalos de 30 minutos.

Los valores de velocidad de transmisión de vapor de agua (VTV), 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 E.1, que se muestra a continuación, es posible obtener el valor de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) para cada muestra.

$$WVP = \frac{(S)(L)(24)}{(A)(VP)}$$

Dónde:

S= Pendiente

L= Espesor del material (mm)

A= Área de permeabilidad del polímero

VP= Presión entre el interior y exterior del sistema (17.5 mmHg)

6.3.3. Ángulo de contacto

Los ángulos de contacto se determinaron usando un goniómetro ($1-180^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$), se coloca una gota de 5 μ L de agua desionizada y filtrada, en la superficie de las muestras a temperatura ambiente. Después de 1 min, se mide el ángulo de contacto usando el software para captura de video (TS Viewer).

6.3.4. Mecánicas

Las pruebas mecánicas se determinaron una vez obtenido el material extruido, en probetas fraccionadas a un tamaño uniforme (7 cm x 1 cm). El equipo empleado para estas mediciones fue un texturometro Brookfield modeloC3 acoplado las sondas correspondientes para cada una de las mediciones a realizar como se muestra en la tabla 5.

SONDA	PARÁMETRO	OBJETIVO	CARGA DE ACTIVACIÓN	VELOCIDAD DE TEST	CORRECCIÓN
TA-DGA	TENSION % ELONGACION MODULO ELASTICO	50%	6.8 g	0.50 mm/s	0 g
TA15/1000	% DE DEFORMACION SEGÚN DUREZA FRACTURABILIDAD RESISTENCI A LA TRACCION	0%	1.0 g	0.50 mm/s	50 g
TA7	FRACTURABILIDAD	0%	1.0 g	0.50 mm/s	50 g

Tabla 5. Parámetros de las pruebas mecánicas.

6.3.5. Solubilidad

Las pruebas de solubilidad se realizaron bajo la siguiente metodología aportada por (Zamudio-Flores et al., 2007, con modificaciones)

- Secar las muestras de las películas (3 por tratamiento) a 60°C por 24 h (se puede secar las 3 muestras en una misma charola, para optimizar el espacio y uso de la estufa de secado).
- Poner a peso constante 3 vasos de precipitado de 150 ml (uno por cada repetición de cada tratamiento). Para esto, se colocan los vasos de precipitado en la estufa de secado a 110°C durante dos horas mínimo, se secan y se enfrían en el desecador por 30 min, se pesan y se registra el peso de cada uno.
- Sacar las muestras que se vayan a procesar en el día y enfriarlas en desecador por 20 a 30 min.
- Pesar las muestras y registrar su peso (peso inicial).

- Colocar 80 ml de agua destilada en cada vaso, añadir la muestra y mantener en agitación constante durante 60 min a 25°C.
- Decantar el líquido y quedarse con el residuo.
- Secar el vaso con la muestra por 24 h a 60°C.
- Enfriar por 30 min en desecador.
- Pesar el vaso con el residuo seco.
- Determinar el % de solubilidad con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{\text{peso del vaso con residuo} - \text{peso inicial del vaso}}{\text{peso inicial de la muestra}} \times 100$$

VII. RESULTADOS

7.1. Obtención y caracterización de materiales base

La presente investigación se llevó a cabo en tres etapas: Obtención de los materiales base, obtención de probetas y caracterización.

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

7.1.1. Polisuccinimida

La PSI es uno de los materiales base con los que se llevó a cabo el presente trabajo de investigación, la cual fue obtenida por el método de policondensación térmica, siendo caracterizada mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), tal como se muestra a continuación.

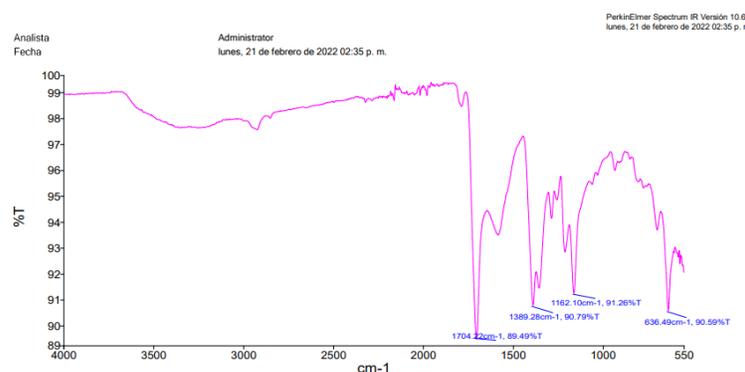


Figura 1. Análisis FTIR de Polisuccinimida

La figura 1 muestra el análisis FTIR realizado a la Polisuccinimida, las bandas de relevancia es la ubicada entre los 1700 cm^{-1} , la cual corresponde a la vibración C=O de las amidas cíclicas, siendo esta la banda característica de la Polisuccinimida, resultando similar con lo reportado por (Ángel, 2019).

De acuerdo con (Hernandez Perez, 2021) la banda en 1590 cm^{-1} indica vibraciones de NH y C-N, alrededor de los 1215 cm^{-1} se indican vibraciones entre C-N, la banda ubicada alrededor de los 2950 cm^{-1} representa el tramo asimétrico de C-H y de CH₂, por último la banda que se ubica en el punto 1164 cm^{-1} corresponde a la flexión C-H desde el CH₂.

7.1.2. Microcelulosa acetilada (MCA)

La MCA que se empleó en el presente proyecto fue obtenida a través de una modificación química por esterificación, en la cual se sustituyen los grupos hidroxilos por grupos acetilos, los cuales brindan mayor estabilidad, variando las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones.

En la figura 2 se puede apreciar el análisis FTIR realizado a la MC con distintos grados de acetilación, MC que fue usada para elaboración de este proyecto.

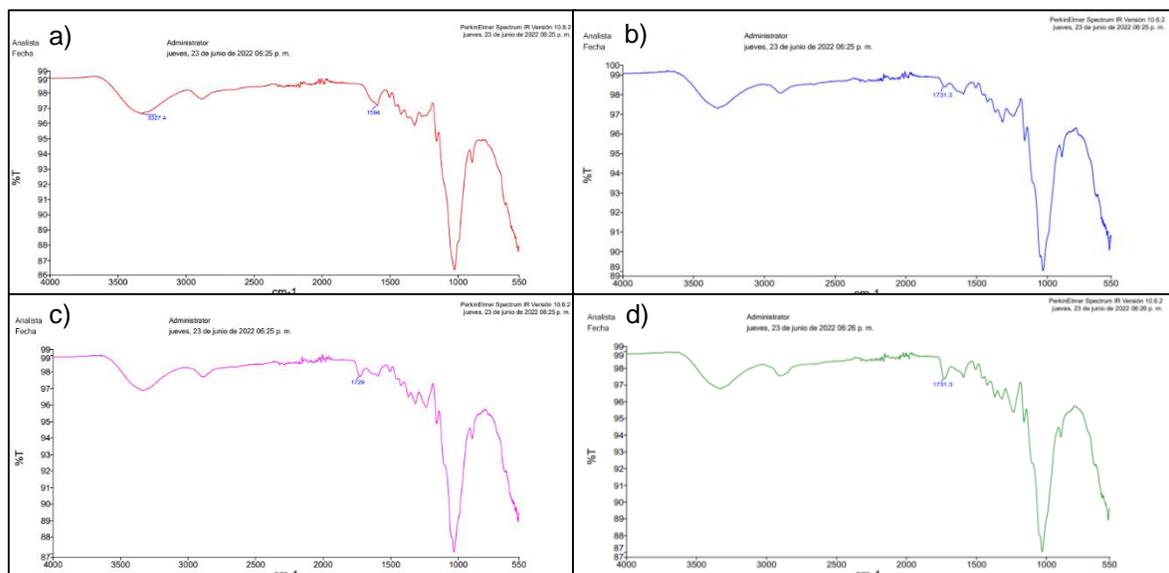


Figura 2. Análisis FTIR de MC en diversos niveles de acetilación. a) Nativa, b) 1h, c) 3h y d) 5h de acetilación.

El análisis FTIR realizado a las muestras de MC nativa así como a la MCA nos permite conocer si hubo formación de grupos funcionales durante los tiempos de acetilación manejados.

En la figura 2 se pueden observar las bandas representativas correspondientes al análisis realizado a las muestras de MC, donde las bandas destacadas se ubican en el intervalo entre 900-1250 cm^{-1} las cuales corresponden al estiramiento del grupo C-O, la banda que se encuentra alrededor de 1226 cm^{-1} corresponde específicamente al estiramiento de los grupos acetilo C-O, tal como lo menciona (Guerra-Dellavalle et al., 2008). Se puede apreciar claramente como esta banda se incrementa en la imagen b), c), y d), la cual corresponde al aumento en los grupos acetilo en función del tiempo de acetilación, dicha banda se encuentra ausente en la MC nativa.

En la banda ubicada alrededor de los 1650 cm^{-1} pertenece a las vibraciones por doblamiento del grupo O-H debido a la introducción de los grupos acetilo en la microcelulosa, permitiendo corroborar que se realizó de manera correcta la acetilación.

También se puede observar un incremento en la banda ubicada en los 1470 cm^{-1} que incrementa de acuerdo al tiempo de acetilación. Estas señales son características de los modos vibracionales en los grupos carbonilo presentes en la MCA.

7.1.3. Evaluación FTIR de las probetas obtenidas

Después de la elaboración de las probetas se procedió a la caracterización mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) de cada una de las probetas elaboradas, en la figura 3.

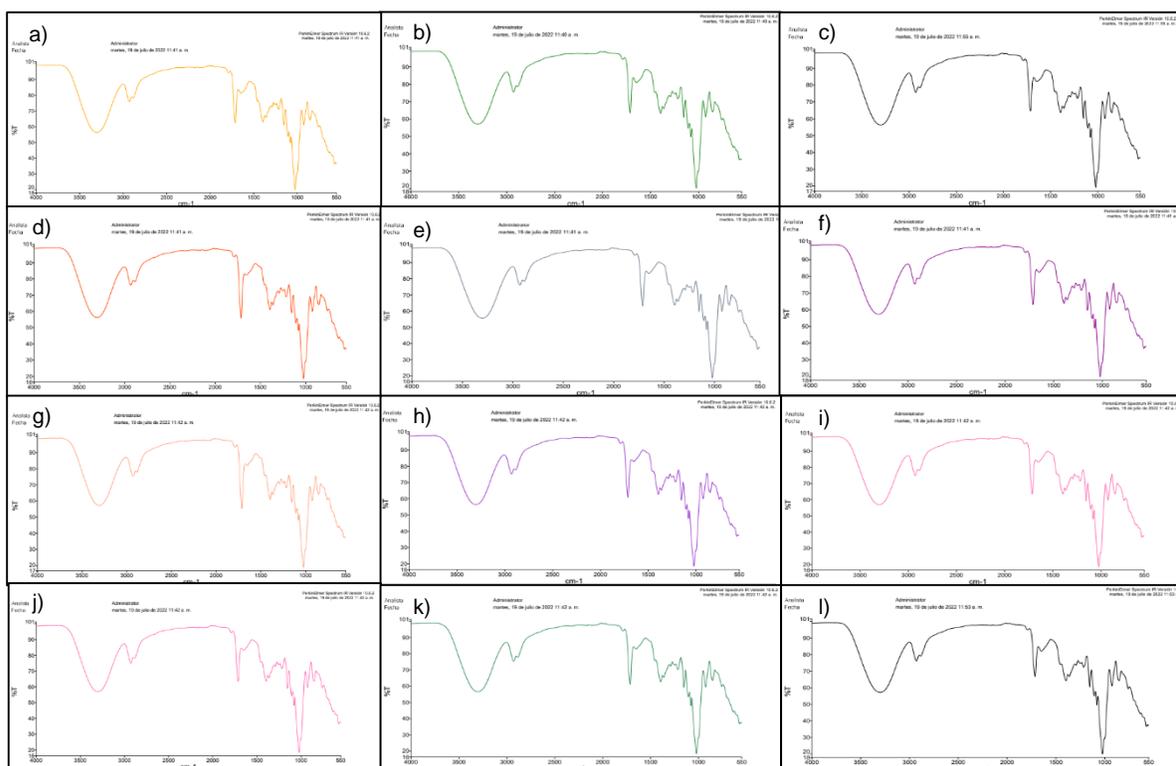


Figura 3. Espectros IR obtenidos de las probetas de los diferentes tratamientos, a,b,c, al 25,20 y 15% con 0 GS, d,e,f, con 25% y 0.3, 0.47 y 0.64 GS respectivamente, g,h,i, con 20% y 0.3, 0.47 y 0.64 GS respectivamente, j,k,l, con 15% y 0.3, 0.47 y 0.64 GS respectivamente.

En la figura 3 se puede apreciar los distintos tratamientos que se emplearon durante este trabajo, la banda de mayor importancia se ubicada alrededor de los 1650 cm^{-1} la cual pertenece a las vibraciones por doblamiento del grupo O-H debido a la

introducción de los grupos acetilo en la MC, lo cual nos permite corroborar que se llevó a cabo una acetilación en la materia prima (MC) para la elaboración de las probetas.

7.2. Etapa 1: Evaluación de la solubilidad de los materiales

La evaluación de solubilidad se realizó bajo la metodología de (Zamudio-Flores et al., 2007), dónde las probetas fueron sometidas a agitación continua en presencia de agua destilada durante tres horas y cuyos resultados se pueden apreciar en la figura 4, en la cual se puede observar que las probetas elaboradas con MCA con 0.470 GS presentan una mayor solubilidad en comparación con el resto de las probetas, el mayor dato de solubilidad se obtiene con 20% de MCA y con 0.470 GS.

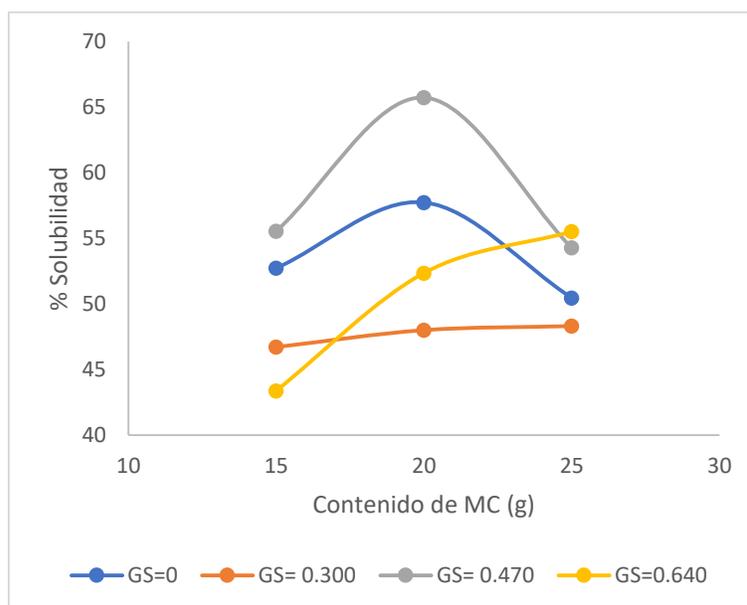


Figura 4. Porcentaje de solubilidad al 15, 20 y 25% de MC

Las probetas con mayor solubilidad son las obtenidas con las 0.470 GS y 20% de MCA obteniendo una solubilidad de 65.730%, seguido de las probetas con 20% de MC sin acetilar.

La MCA con 0.300 GS muestra una mayor estabilidad dado que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos con 15, 20 y 25% de MCA. En términos costo-beneficio resulta bastante rentable el tratamiento de 0.300 GS y 15% de MCA, ya que permite maximizar el uso de MC y acorta tiempos de producción.

Los datos presentados fueron sometidos a un análisis de varianza $P \leq 0.05\%$ los cuales se dan a conocer en el Anexo 1.

7.3. Evaluación de Permeabilidad al Vapor de Agua (WVP)

La permeabilidad al vapor de agua del polímero se determinó usando una modificación del método ASTM E1249-06 (2011), se utilizaron celdas de permeabilidad, colocando la muestra del polímero de manera que la cara del material correspondiente a la superficie de secado libre quedara expuesta al ambiente. Dentro de dichas celdas se colocaron 4 g de sílica gel deshidratadas, las celdas con el polímero y el agente higroscópico se introdujeron dentro de una cámara climática acondicionada a una temperatura de 25°C y 50% de HR. Las celdas se pesaron durante 3 h, a intervalos de 30 minutos.

La permeabilidad al vapor de agua juega un papel importante en el tema de la conservación de alimentos, está relacionada con la difusividad y la solubilidad del material en el agua; si el material es altamente soluble en agua, la permeabilidad será menor.

Los productos alimenticios frescos, tienden a deteriorarse rápidamente ya que tienen un metabolismo continuo, por ello la importancia de contar con empaques permeables que permitan la respiración y transpiración de dichos alimentos. Es necesario que el empaque cuente con un balance adecuado en relación con la pérdida de humedad de los productos frescos, estos deben envasarse en empaques con alta permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua.

Cada producto alimenticio posee un requerimiento específico de humedad que determina su vida útil y sus propiedades organolépticas. Por lo tanto, las propiedades de WVP juegan un papel crucial en el envasado de alimentos, ya que determinan la cantidad de humedad que se propaga a través de la película de envasado. La propiedad de barrera contra la humedad evita la ganancia o pérdida de humedad que puede deteriorar la calidad alimentaria de los productos secos o frescos. (Vázquez et al., 2021)

El problema de la condensación se ve agravado también por las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento, la distribución y comercialización.

El análisis de la WVP se realizó por separado, permitiendo una mejor apreciación de datos, dichos análisis se dan a conocer como se muestra en la figura 4 y 5.

7.3.1. Evaluación de Permeabilidad al Vapor de Agua en función de los GS

La figura 5 nos permite apreciar la WVP de las probetas en función de 0, 0.300, 0.470 y 0.640 GS.

La probeta con 0.300 GS es la que presenta una mayor WVP, por lo tanto, permite inferir que el uso de esta probeta es adecuado en alimentos frescos y con un contenido de humedad alto, una mayor permeabilidad al vapor de agua permitirá eliminar el exceso de humedad contenido en el empaque y a su vez ayuda a que el empaque biodegradable permanezca en condiciones adecuadas durante más tiempo y preservando las características organolépticas del alimento.

Los datos presentados fueron sometidos a un análisis de varianza $P \leq 0.05\%$ los cuales se dan a conocer en el Anexo 2.

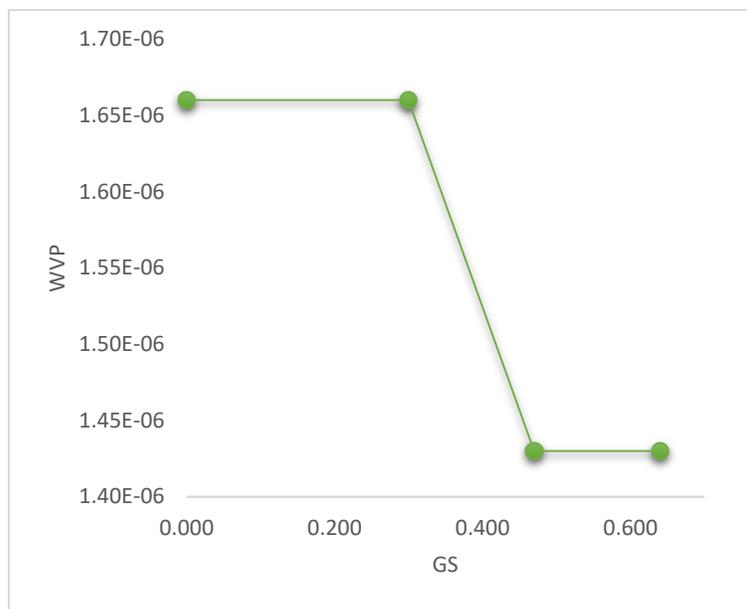


Figura 5. Permeabilidad al Vapor de Agua en probetas PSI-ST-MCA con 0, 0.300, 0.470 y 0.640 GS.

7.3.2. Permeabilidad al Vapor de Agua en función de la MCA.

En la figura 6 se pueden apreciar los datos de WVP en función de la cantidad de MCA empleada en la elaboración de cada una de las probetas.

Las probetas que contienen quince gramos de MCA presentan una mayor permeabilidad, lo cual nos lleva a reforzar el argumento de rentabilidad que presenta la probeta con 15% de MCA y 0.300 GS, ya que también cuenta una permeabilidad alta en comparación con el resto de las muestras analizadas.

Los datos presentados fueron sometidos a un análisis de varianza $P \leq 0.05\%$ los cuales se dan a conocer en el Anexo 3.

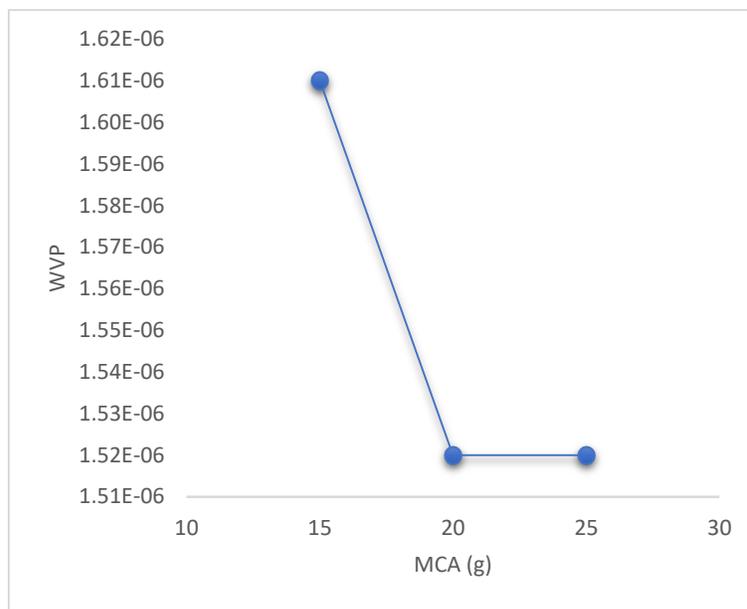


Figura 6. Permeabilidad al Vapor de Agua de probetas PSI-ST-MCA con 15, 20 y 25 % de MCA.

7.4. Caracterización mecánica de las probetas obtenidas.

Las probetas obtenidas se caracterizaron mecánicamente haciendo uso de un texturómetro Brockfield C3 con diferentes sondas y accesorios, con el fin de obtener la medición de tensión, elongación, dureza y resistencia al corte, datos que se presentan a continuación.

7.4.1. Evaluación de tensión.

El parámetro de tensión a la fractura fue obtenido a partir de los datos adquiridos en el texturómetro antes mencionado, este parámetro es resultado del cociente del pico de fuerza entre el área de contacto.

En la figura 7 se presentan los datos obtenidos de Tensión a la fractura, y en el anexo 4 se muestra en análisis de varianza resultante de los datos.

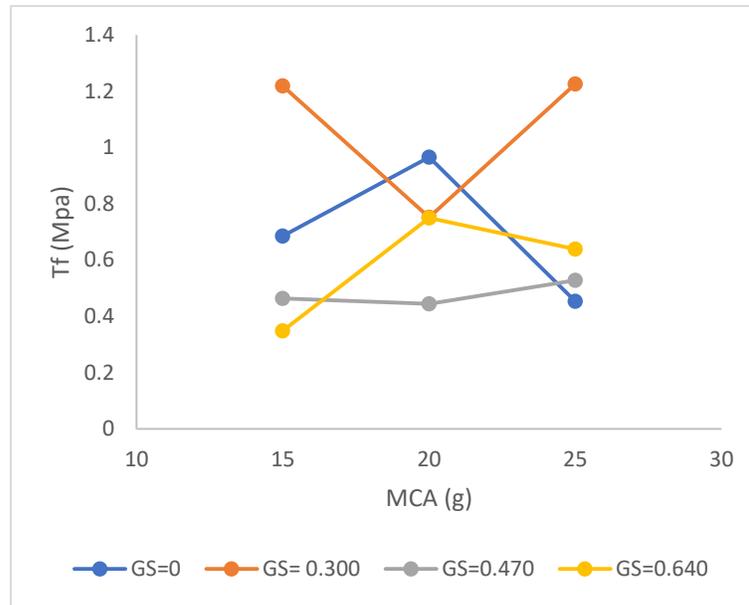


Figura 7. Gráfico de Tensión a la fractura.

Como se puede observar en la figura 7, la probeta que presenta una mayor Tf es la probeta con 0.300 GS y 25% de MCA, seguida de la probeta con 0.300 GS y 15% de MCA sin haber diferencia significativa entre ambos resultados, siendo estas las probetas con mayor resistencia. En contraste la probeta que resultó con una menor tensión a la fractura fue la identificada como GS 0.470, no encontrando diferencias estadísticamente significativas en función a la cantidad de MCA agregada.

En un estudio realizado por (Mariani et al., 2009) se obtienen películas con almidón modificado, las cuales reportan una Tf de 4.600, 7.600 y 5.700 Mpa, haciendo uso de un porcentaje de almidón modificado de 40, 36.500 y 29% respectivamente, permitiendo observar que un uso mayor de almidón ocasiona una Tf menor, obteniendo una película con menor resistencia.

7.4.2. Evaluación de porcentaje de elongación.

El porcentaje de elongación fue obtenido de la división de la deformación máxima alcanzada entre la longitud inicial del material, los datos obtenidos se presentan de

manera detallada en el anexo 5 y los cuales se presentan de manera gráfica en la figura 8.

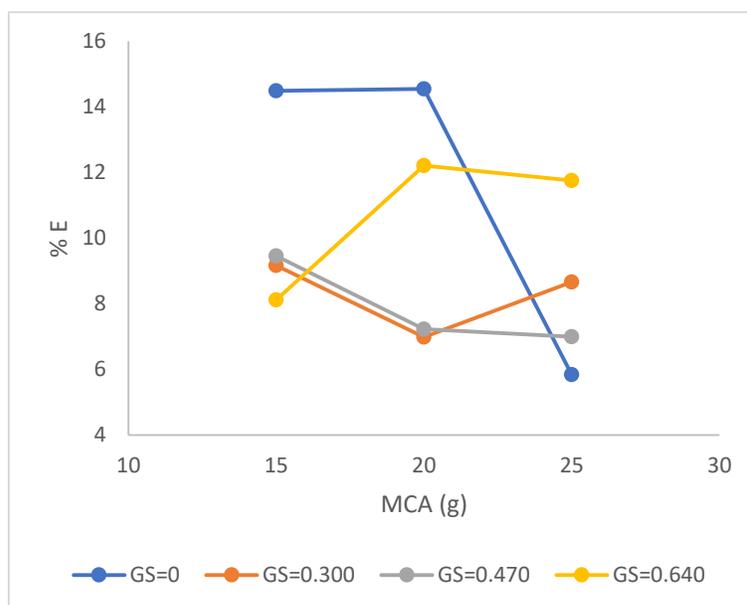


Figura 8. Gráfico de porcentaje de elongación.

Las probetas que contienen MC sin acetilar son las que mostraron un mayor porcentaje de deformación, especialmente en las muestras que contienen 15 y 20% de MC seguidas por las muestras con MCA al GS=0.640 adicionadas con 20 y 25% de MCA. Opuestamente se puede apreciar que los materiales con el menor porcentaje de elongación son los de MCA con GS de 0.300 y 0.470 encontrándose ambos a un mismo nivel de significancia.

(Enriquez et al., 2013) llevo a cabo el desarrollo de un biomaterial a partir de almidón modificado de yuca con un agente antimicrobiano y glicerol como plastificante, menciona que obtuvo una mejor elongación para los tratamientos que tuvieron un contenido de glicerol del 25%. Esto se relaciona con la organización molecular de las cadenas poliméricas que rompen sus enlaces y disminuyen las fuerzas de atracción en los anillos de las moléculas de glucosa, generando una disminución en el esfuerzo y aumentando la elongación. Se concluye que el glicerol es un factor influyente en las propiedades mecánicas, porcentajes superiores a 25% de glicerol no permiten obtener altos valores en las propiedades como esfuerzo y elongación.

7.4.3. Evaluación del módulo elástico.

El módulo elástico fue obtenido como resultado de dividir el esfuerzo elástico entre la deformación elástica. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 9, para mayor análisis se presenta el anexo 6.

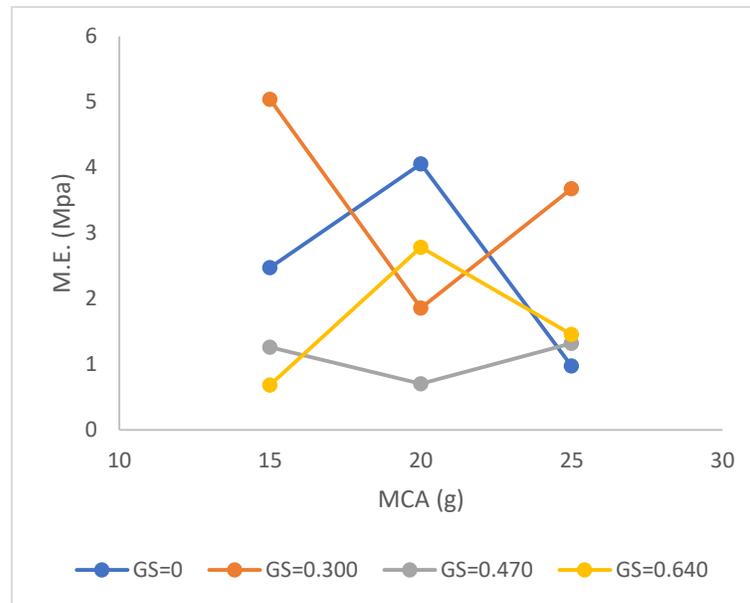


Figura 9. Gráfico del Módulo Elástico.

Al realizar el análisis de los datos se puede observar que la muestra que presenta un comportamiento elástico mayor es la probeta con 0.300 GS y 15% de MCA, seguida de la probeta con 0.300 GS y 25% de MCA, la probeta con menor comportamiento elástico es la conformada por 0.640 GS y 15% de MCA, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre las muestras.

(Biodegradáveis & Amido, 2012) estudió el efecto de la adición de diversos plastificantes sobre las propiedades mecánicas de películas de almidón, observando que al incrementar el uso de glicerol aumenta el M.E. de manera uniforme. Se analizaron datos con 0, 5, 10 y 20% de glicerol obteniendo un M.E. de 16.800, 23.700, 25.800 y 27.300 Mpa respectivamente.

7.5. Evaluación de dureza.

Las probetas obtenidas fueron analizadas con la sonda TA15/1000, obteniendo datos de fracturabilidad, porcentaje de deformación según dureza y resistencia a la tracción.

7.5.1. Fracturabilidad.

En la figura 10 se muestra la gráfica con los datos de fracturabilidad de las distintas probetas analizadas, en el anexo 7 se presenta el análisis de varianza obtenido.

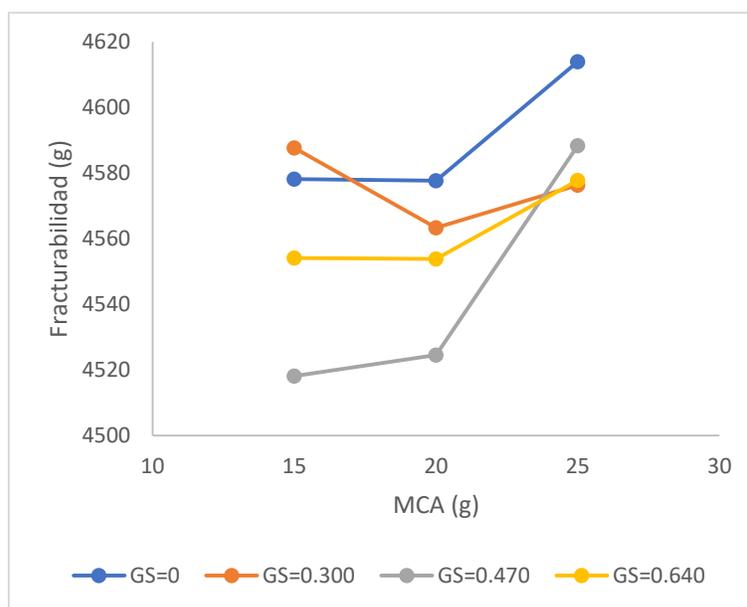


Figura 10. Gráfico de fracturabilidad.

En la figura anteriormente presentada se pueden observar los datos de fracturabilidad obtenidos en cada probeta, la probeta elaborada con MC sin acetilar presenta un mayor daño a la fractura, la probeta identificada con 0.470 GS y 25% de MCA presenta una fracturabilidad de 4588.330 g, la probeta que presenta menor fracturabilidad es la identificada como 0.470 GS con 20 y 15% de MCA, arrojando datos de 4524.500 y

4518.170 g respectivamente, no mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

(Espina et al., 2016) menciona que conforme aumenta la cantidad de fibra, las bandejas se hacen más débiles. De acuerdo con la afirmación anterior, se compararon los resultados obtenidos en este trabajo, tomando como referencia las probetas con 0.470 GS, se puede observar que al agregar 15, 20 y 25% de MCA se obtienen los siguientes datos de fracturabilidad: 4518.170, 4524.500 y 4588.330 g respectivamente, comprobando que al aumentar la cantidad de MCA la probeta se vuelve más frágil.

7.5.2. Porcentaje de deformación según dureza.

El porcentaje de deformación está dado por la relación de las dimensiones originales antes de someter el material a una fuerza y las dimensiones finales causadas por la fuerza aplicada y expresada en porcentaje. En la figura 11 se presentan los datos obtenidos después del análisis realizado, el análisis de varianza se presenta en el anexo 8.

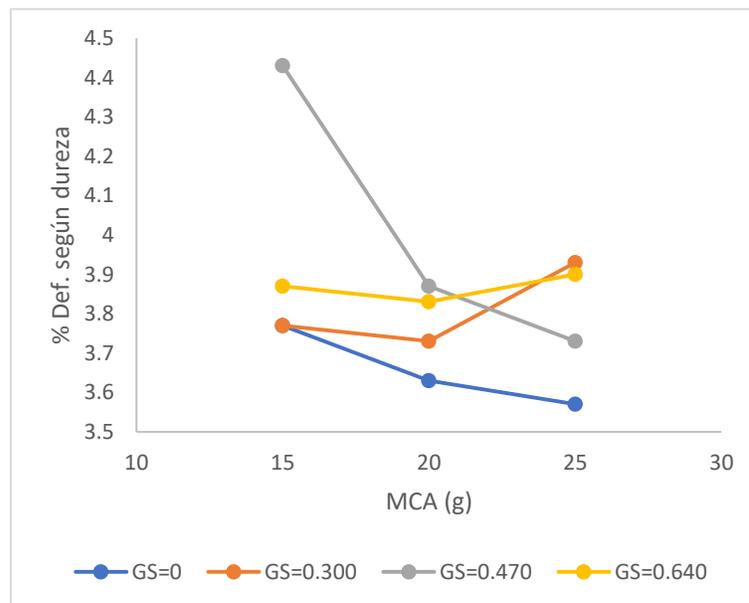


Figura 11. Gráfico del porcentaje de deformación según la dureza.

La probeta que presenta un mayor porcentaje de deformación es la identificada con 0.470 GS y 15% de MCA reportando un 4.43% seguida de la probeta conformada por 0.300 GS y 25% de MCA obteniendo un 3.93% de deformación, las probetas que presentan un menor porcentaje son las probetas que contienen MC sin acetilar.

7.5.3. Resistencia a la tracción.

La resistencia a la tracción es un parámetro que indica la carga máxima de fuerza que puede resistir un material. En la figura 12 se puede apreciar el comportamiento de este parámetro evaluado, de igual manera en el anexo 9 se presenta el análisis de varianza obtenido.

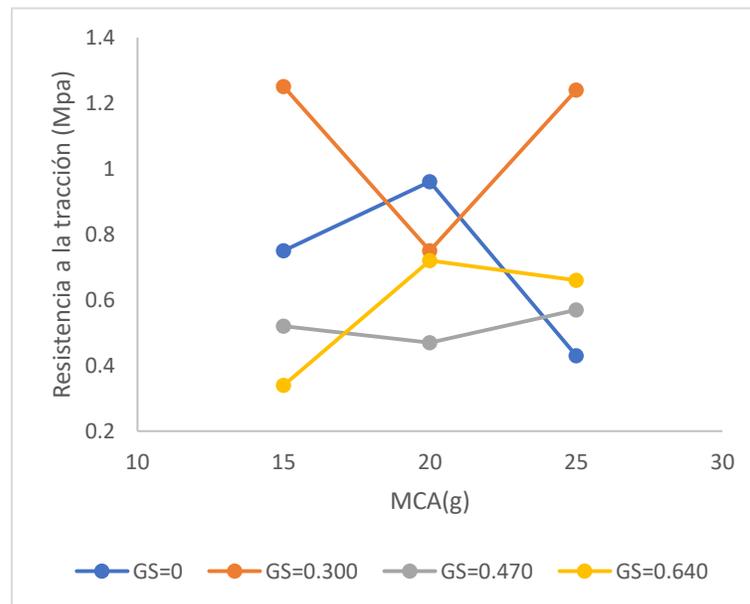


Figura 12. Gráfico de resistencia a la tracción (Mpa)

De acuerdo con la figura 12 la probeta que tiene una mejor resistencia a la tracción es la que contiene 15% de MCA y 0.300 GS, arrojando como resultado 1.250 Mpa, seguida de la probeta conformada por 25% de MCA y 0.300 GS con 1.240 Mpa, no encontrando diferencias estadísticamente significativas entre ambas muestras. La probeta que presenta una menor resistencia a la tracción es la conformada por 15% de MCA y 0.640 GS con 0.300 Mpa.

En una investigación realizada por (González Mancilla et al., 2018) donde se analiza el comportamiento de un polímero a base de almidón de papa y fibras de madera con agente plastificante comparando este comportamiento contra este mismo polímero pero sin agente plastificante, se obtiene una resistencia a la tracción de 2.850 Mpa para el polímero sin agente plastificante y una resistencia de 3.420 Mpa al agregar glicerol como agente plastificante, mostrando un leve aumento en la resistencia, de tal manera que al adicionar el agente acoplante genera un aumento en la resistencia a la tracción del material compuesto.

Los estudios analizados se enfocan en evaluar el comportamiento de los polímeros en función del contenido de glicerol como agente plastificante, obteniendo tanto resultados positivos como negativos, según el parámetro evaluado, el presente trabajo se enfocó en evaluar un polímero en función de la cantidad de MCA así como los GS de la misma, no variando la cantidad de glicerol empleado.

VIII. CONCLUSIÓN

Es posible la integración de la MCA a diversos grados de sustitución al biocomposito PSI-ST ya que las probetas resultantes presentan las bandas representativas para los grupos funcionales presentes en los biomateriales que la integran mostrando interacción entre ellos.

La probeta integrada por 20% de MCA y 0.640 GS presentó el menor porcentaje de solubilidad (43.390%), así como la menor WVP con un $1.430E^{-06}$ mmHg lo que garantiza una mayor vida útil de anaquel.

La evaluación de WVP indica que la probeta con mayor permeabilidad es la identificada con 0.300 GS y 15% de MCA, contrastando con la formulada por 20% de MCA y 0.640 GS, al comparar la solubilidad de las mismas probetas obtenemos un porcentaje de solubilidad de 65.730% y 43.390% respectivamente, lo cual corresponde con lo investigado “los materiales con WVP menor tienden a ser más solubles”. La MCA disminuye el porcentaje de solubilidad de las probetas obtenidas, garantizando de esta manera una mayor vida útil del empaque.

Los parámetros correspondientes a la plasticidad de las probetas evidencian que la formulación que contiene MCA a 0.300 GS registran los máximos tanto de niveles de tensión, como de módulo elástico, en contraste con las formulaciones que contienen MCA al 0.470 de GS.

En cuanto a las propiedades de dureza se puede apreciar que el plastificante sigue ejerciendo influencia sobre estas, el parámetro de fracturabilidad que demuestra una mayor resistencia a la fractura es la probeta identificada como 25% de MCA y 0.470 GS con 4614 g (45.249 N), en cuanto al porcentaje de deformación según dureza la muestra con porcentaje mayor se presenta en la formulación de 15% de MCA y 0.470 GS con un 4.430%, para finalizar la probeta que presenta una mayor TS es la identificada como 15% de MCA y 0.300 GS con 1.250 Mpa.

La influencia del agente plastificante se ve reflejada tanto en las propiedades mecánicas del biocomposito, como en las de barrera, por lo cual se sugiere investigar el uso y efecto de distintos plastificantes para la elaboración del biocomposito.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Adam, F., Hamdan, M. A., Abu Bakar, S. H., Yusoff, M. M., & Jose, R. (2021). Molecular recognition of isovanillin crosslinked carrageenan biocomposite for drug delivery application. *Chemical Engineering Communications*, 208(5), 741–752. <https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1731802>
- Aguilar-Pérez, F. J., Vargas-Coronado, R. F., Cervantes-Uc, J. M., Cauich-Rodríguez, J. V., Rosales-Ibañez, R., Rodríguez-Ortiz, J. A., & Torres-Hernández, Y. (2019). Titanium - castor oil based polyurethane composite foams for bone tissue engineering. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 30(15), 1415–1432. <https://doi.org/10.1080/09205063.2019.1636352>
- 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.
- Arroyo Rosas, K. (2008). *Tesis de maestría. Instituto politecnico nacional. 77*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15998525>
- Badui, S. (2006). Salvador Badui Dergal. In *Química de los alimentos*.
- Barrios Guzmán, A. J., García Enríquez, S., Manríquez-González, R., Rivera Prado, J. D. J., & Lomelí Ramírez, M. G. (2018). Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 26–41. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i28.258>
- Bennet G. (2005) "A Green Polymerization of Aspartic Acid for the undergraduate Organic Laboratory". *Journal of Chemical Education* Vol. 82 No. 9
- Biodegradáveis, F., & Amido, À. B. D. E. (2012). Composición Y Procesamiento De Películas Biodegradables Basadas En Almidón. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182–192.
- Carmona, J. E., Morales-Martínez, T. K., Mussatto, S. I., Castillo-Quiroz, D., & Ríos-

- González, L. J. (2017). Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 100–122. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i42.21>
- Ceron M, A. R. (2013). The hydrophilicity problem of starch based plastic materials o problema do hidrofiliçidade do materiais plásticos derivados do amido. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial*, 2(2), 41–48.
- Del, F., & Plátano, A. D. E. (2009). *Disponible en:* <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62016349008>.
- Duffó, G. S. (2012). Una mirada a los biomateriales. *Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable*, 69–70.
- Durango, A., Soares, N. D. E. F., & Arteaga, M. R. (2011). Filmes y revestimientos comestibles cmo empaques activos biodegradables en la conservacion de alimentos. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 112–118.
- Enriquez, M., Velasco, R., Fernandez, A., Palacios, L., & Ruales, J. (2013). Desarrollo De Un Biomaterial a Partir De Almidón Modificado De Yuca, Agente Antimicrobiano Y Plastificante / Development of a Biomaterial From Modified Cassava Starch, Antimicrobial Agent and Plasticize / Desenvolvimento Deum Biofilme a Partir De Amido De. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 111–120.
<http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=34&sid=81eda67c-84f0-4149-90a3-dd27693fa987%40sessionmgr4010&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#db=edssci&AN=edssci.S1692.35612013000200013>
- Espina, M., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2016). Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 133–143.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>

- Fernández- León, D. E., Hernández- Uribe, J. P., Campos- Montiel, R. G., & Jiménez- Alvarado, R. (2018). Empaques activos en la industria de los alimentos. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 4(8), 1–5.
<https://doi.org/10.29057/icap.v4i8.3341>
- Fernando, A., Córdoba, L., Centro, S., & Tecnológico, D. D. (n.d.). *Application of Nano Coatings on*.
- Flores M. (2022). Establecimiento de las condiciones de acetilación de microcelulosa obtenida a partir de fibras de Agave de lechuguilla Torr. (Tesis de universidad inédita). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Garavand, F., Cacciotti, I., Vahedikia, N., Rehman, A., Tarhan, Ö., Akbari-Alavijeh, S., Shaddel, R., Rashidinejad, A., Nejatian, M., Jafarzadeh, S., Azizi-Lalabadi, M., Khoshnoudi-Nia, S., & Jafari, S. M. (2022). A comprehensive review on the nanocomposites loaded with chitosan nanoparticles for food packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(5), 1383–1416.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1843133>
- Gómez, A. M. (2005). *Regulación de Regiones Hidrofóbicas e Hidrofílicas en Materiales Elastoméricos*.
- González Mancilla, Y. M., Salamanca Sarmiento, J. R., & Vargas Flórez, J. A. (2018). The effect of potato starch modified as a coupling agent in polymer- wood fiber composites. *Prospectiva*, 16(1), 107–113.
- Guerra-Dellavalle, D., Bello-Pérez, L. A., González-Soto, R. A., Solorza-Ferial, J., & Arámbula-Villa, G. (2008). Effect of reaction time on the acetylation of plantain starch. *Revista Mexicana de Ingeniera Química*, 7(3), 283–291.
- Hernández-Sánchez. (2016). EL PAPEL DE LOS EMPAQUES ACTIVOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA The role of active packaging in the food industry. *Revistas.Fuac.Edu.Co*, 11(2), 1900–1355.
<http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/749>
- Hernandez Perez, I. A. (2021). *Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”*

División En Ciencia Animal Departamento De Ciencia Y Tecnología De Alimentos.

- López de Dicastillo, A. C. (2011). *Desarrollo y caracterización de polímeros activos hidrofílicos para el envasado de alimentos*. 9–10.
- Mariani, P. D. S. C., Allganer, K., Oliveira, F. B., Cardoso, E. J. B. N., & Innocentini-Mei, L. H. (2009). Effect of soy protein isolate on the thermal, mechanical and morphological properties of poly (ϵ -caprolactone) and corn starch blends. *Polymer Testing*, 28(8), 824–829.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2009.07.004>
- Morillas, A. V., Valdemar, R. M. E., Villavicencio, M. B., & Pérez, M. V. (2015). Bioplásticos y plásticos degradables. *Universidad Autonoma Metropolitana*, 11.
- Narcia Velasco, M., Castillo Quiroz, D., Vázquez Ramos, J. A., & Berlanga Reyes, C. A. (2019). TURNO TÉCNICO DE LA LECHUGUILLA (Agave lechuguilla Torr.) EN EL NORESTE DE MÉXICO. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(9), 81–88. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i9.531>
- Niño, K. A., Elizabeth, M., Huerta, A., Guadalupe, M., Verde, R., & Rodríguez, L. a M. (2010). Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos : propuesta de empaques activos. *Arévalo et Al., 2010. Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal* 1(2):124-134, 1, 124–134.
http://www3.inecol.edu.mx/solabiaa/ARCHIVOS/documentos/relbaa/arevalo_et_al_revlatinoambiotecnolambalgal_v1n2.pdf
- Piña Barba, M. C. (2007). Los biomateriales y sus aplicaciones. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 55–58.
- Prieto-Méndez, J., Trejo-Cárdenas, C. L., Prieto-García, F., Méndez-Marzo, M. A., Bello-Pérez, L. A., & Román-Gutiérrez, A. D. (2010). Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 6(1), 32–43. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sharma, C., Bhardwaj, N. K., & Pathak, P. (2021). Ternary nano-biocomposite films

using synergistic combination of bacterial cellulose with chitosan and gelatin for tissue engineering applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 32(2), 166–188. <https://doi.org/10.1080/09205063.2020.1822122>

Turan, D. (2021). Water Vapor Transport Properties of Polyurethane Films for Packaging of Respiring Foods. *Food Engineering Reviews*, 13(1), 54–65. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09205-z>

Vázquez, M., Velazquez, G., & Cazón, P. (2021). UV-Shielding films of bacterial cellulose with glycerol and chitosan. Part 2: Structure, water vapor permeability, spectral and thermal properties. *CYTA - Journal of Food*, 19(1), 115–126. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1870565>

Vista de Biomateriales.pdf. (n.d.).

X. ANEXOS

Estudio estadístico de pruebas de solubilidad

Anexo 1. Tabla de promedios y desviación estándar de solubilidad

Level			Least Sq Mean
GS	Cantidad de MC		% Solubilidad
0.470	20	A	65.730
0	20	B	57.740
0.470	15	B C	55.540
0.640	25	B C	55.520
0.470	25	C D	54.280
0	15	C D E	52.730
0.640	20	D E	52.360
0	25	E F	50.470
0.300	25	F G	48.320
0.300	20	F G	48.010
0.300	15	G	46.720
0.640	15	H	43.390

Anexo 2. Tabla de promedios y desviación estándar de la WVP en función a los GS.

GS		WVP (mmHg)
0	A	1.660E ⁻⁰⁶
0.300	A	1.660E ⁻⁰⁶
0.470	B	1.430E ⁻⁰⁶
0.640	B	1.430E ⁻⁰⁶

Anexo 3. Tabla de promedios y desviación estándar de la WVP en función a la cantidad de MC.

Cantidad de MCA (g)		WVP (mmHg)
15	A	1.610E ⁻⁰⁶
25	B	1.520E ⁻⁰⁶
20	B	1.520E ⁻⁰⁶

Anexo 4. Análisis de varianza de Tensión a la fractura.

Level			Least Sq Mean
GS	Cantidad de MC		Tf (Mpa)
0.300	25	A	1.230
0.300	15	A	1.220
0	20	B	0.970
0.300	20	C	0.750
0.640	20	C	0.750
0	15	C D	0.690
0.640	25	D	0.640
0.470	25	E	0.530
0.470	15	E F	0.460
0	25	F	0.450
0.470	20	F	0.440
0.640	15	G	0.300

Anexo 5. Análisis de varianza del porcentaje de elongación.

Level			Least Sq Mean
GS	Cantidad de MC		% E
0	20	A	14.540
0	15	A	14.490
0.640	20	B	12.210
0.640	25	B	11.750
0.470	15	C	9.450
0.300	15	C	9.160
0.300	25	C	8.660
0.640	15	C D	8.110
0.470	20	D	7.220
0.470	25	D E	6.990
0.300	20	D E	6.990
0	25	E	5.840

Anexo 6. Análisis de varianza del Módulo Elástico.

Level			Least Sq Mean
GS	Cantidad de MC		M.E. (Mpa)
0.300	15	A	5.040
0	20	B	4.060
0.300	25	B	3.680
0.640	20	C	2.790
0	15	C	2.480
0.300	20	D	1.860
0.640	25	E	1.460
0.470	25	E F	1.320
0.470	15	E F	1.260
0	25	F G	0.980
0.470	20	G	0.700
0.640	15	G	0.690

Anexo 7. Análisis de varianza de Fracturabilidad.

GS	MC (g)		Fracturabilidad (g)
0	25	A	4614
0.470	25	B	4588.330
0.300	15	B	4587.670
0	15	B C	4578.170
0.640	25	B C	4577.830
0	20	B C	4577.670
0.300	25	B C	4576.330
0.300	20	C D	4563.330
0.640	15	D	4554.170
0.640	20	D	4553.830
0.470	20	E	4524.500
0.470	15	E	4518.170

Anexo 8. Análisis de varianza del porcentaje de deformación según dureza.

GS	MC (g)		% Deformación según dureza
0.470	15	A	4.430
0.300	25	B	3.930
0.640	25	B	3.900
0.640	15	B C	3.870
0.470	20	B C	3.870
0.640	20	B C D	3.830
0.300	15	C D	3.770
0	15	C D	3.770
0.300	20	D E	3.730
0.470	25	D E	3.730
0	20	E F	3.630
0	25	F	3.570

Anexo 9. Análisis de varianza de resistencia a la tracción.

GS	MC (g)		Resistencia a la tracción (Mpa)
0.300	15	A	1.250
0.300	25	A	1.240
0	20	B	0.960
0	15	C	0.750
0.300	20	C D	0.750
0.640	20	D	0.720
0.640	25	E	0.660
0.470	25	F	0.570
0.470	15	G	0.520
0.470	20	H	0.470
0	25	I	0.430
0.640	15	J	0.300