

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Establecimiento de las condiciones de acetilación de microcelulosa obtenida a partir de fibras de *Agave de lechuguilla Torr*

POR

MARÍA JOSÉ FLORES CAMPOS

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Establecimiento de las condiciones de acetilación en microcelulosa obtenida
de fibras de *Agave de lechuguilla Torr***

POR

MARÍA JOSÉ FLORES CAMPOS

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial 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

**Establecimiento de las condiciones de acetilación en microcelulosa obtenida
de fibras de *Agave de lechuguilla Torr***

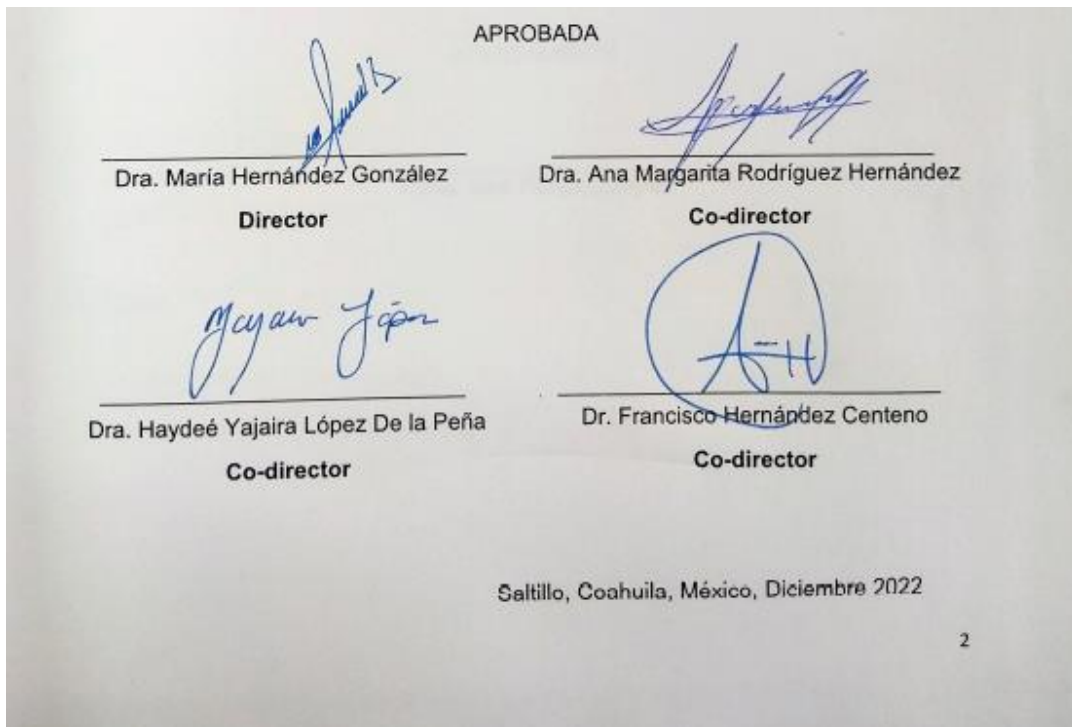
POR

MARÍA JOSÉ FLORES CAMPOS

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Declaración de no plagio

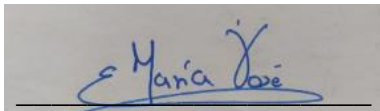
El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta decir la verdad, que no se incurrió en plagio conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

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, gráficas, 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 del 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

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature appears to read 'María José'.

María José Flores Campos

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a **Dios** padre, por ser testigo, compañero, maestro, y por permitirme vivir y disfrutar esta etapa en mi vida.

A mis padres **Manuela Campos Martínez** y **Juan Gabriel Flores García** por su apoyo en todo momento, a pesar de haberse presentado mil obstáculos.

A mi Padrino **Manuel Vargas García**, por ser un segundo padre, y darme todo su apoyo y cariño incondicional, desde el momento en que tome la decisión de llegar a la UAAAN.

Gracias a la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme las puertas como un segundo hogar, y por darme la posibilidad de desempeñarme como profesionalista.

A la **Dra. María Hernández Gonzáles** por aceptarme para realizar este proyecto, así como brindarme el apoyo y la paciencia para llevarlo a cabo.

Agradezco a la **Ing. Mariela Cortes Arredondo** por confiar en mí, al ser la primera persona en apoyar mi camino universitario.

Gracias a **Ignacio Antonio Hernández Pérez**, por su asesoramiento para llevar a cabo técnicas para este proyecto.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)** por el apoyo para llevar a cabo el proyecto de tesis.

Así mismo quiero agradecer a mis amigos, que son como mi segunda familia, los cuales han estado en las buenas y malas, Teresa Cardoso, David Roblero, Diana Valle, Lucas Sánchez, Brayan Flores, Daniel Flores, Jesús Barboza, Marcelo Rivera, Rhodart Herrera, Miguel Vallejo y Noé Ramírez.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi padre Dios, por permitirme cumplir uno de mis sueños, así como abrirme las puertas a cada lugar al que voy.

A mi madre y mi padre por su apoyo y amor que me brindan día a día, así como sus muestras de cariño y palabras de aliento.

A mi hermano Jesús Gabriel Flores Campos, por su cariño y confidencialidad.

A mi abuelo José Antonio Campos Paramo que me cuida desde el cielo y a mi abuela Bertha Martínez García.

Con mucho cariño y amor para mi sobrino Lionel Gabriel Flores Salazar, por llegar a ser parte fundamental del impulso que me da para continuar con los proyectos del día a día.

Así como unas de las personas más importantes a mis tíos, primos, y a mi padrino.

Con amor para mis compañeros de muchos años, mi Canelo y Tobías, por su compañía incondicional.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
RESUMEN	10
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. JUSTIFICACIÓN.....	13
III. HIPOTESIS	14
IV. OBJETIVOS	15
4.1. Objetivo General	15
4.2. Objetivos Específicos.....	15
V. REVISIÓN DE LITERATURA	16
5.1. Biomateriales y materiales biobasados Definición	16
5.1.1. Importancia	16
5.1.2. Ventajas y Desventajas	17
5.2 . Fibras	17
5.1.1. Usos convencionales e importancia	18
5.1.2. Fuentes.....	19
5.3 Lechuguilla generalidades.....	19
5.3.1. Cultivo.....	20
5.3.2. Características.....	20
5.3.3. Usos.....	21
5.4. Plásticos sintéticos.....	22
5.5. Alternativas para acoplamiento y mejora de materiales biobasados.....	22
5.6. Propiedades Mecánicas.....	23
5.6.1 Propiedades cuantitativas	23
5.6.2 Propiedades Cualitativas	24
5.7. Propiedades de barrera	24
5.8. Modificación de las propiedades de hidrofobicidad e hidrofílicidad.....	24
5.9. Acetilación.....	25

5.9.1. Definición	25
5.9.2. En que se ha llevado a cabo la acetilación	26
5.9.3. Proceso de acetilación	26
5.9.4. Evaluación de grados de sustitución y porcentaje de acetilación	27
5.10. Biocompositos.....	27
5.11. Polisuccinimida (PSI)	28
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	30
6.1. Elaboración de materiales base	30
6.1.1. Etapa 1. Obtención de la Microcelulosa.....	30
6.1.2. Etapa 2. Establecimiento de condiciones de acetilación.....	30
6.1.3. Etapa 3. Obtención de probetas	35
6.1.4. Etapa 4. Caracterización de los materiales obtenidos	36
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES	39
7.1. Etapa 1. Establecimiento de las condiciones de acetilación	39
7.2. Etapa 2 Análisis de microcelulosa acetilada	42
7.3. Etapa 3. Determinación de % de Solubilidad para probetas	44
7.4. Etapa 4. Determinación de permeabilidad al vapor de agua con las probetas.	47
X. CONCLUSIÓN.....	50
XI. BIBLIOGRAFIA.....	51
XII. ANEXOS	56
10.1. Anexo 1 Análisis de datos con método Studen't para %Acetilo a ($p<,0.05\%$).	56
10.2. Anexo 2 Análisis de datos con método Studen't para GS, a ($p<,0.05\%$)	57
10.3. Anexo 3 Análisis de datos con método Student's para porciento de Solubilidad, a ($p<,0.05\%$).	58
10.4. Anexo 4 Análisis de datos con método Student's para WVP, a ($p<,0.05\%$)..	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cultivo de Agave de lechuguilla.....	20
Figura 2 Desfibrado de hojas de lechuguilla	21
Figura 3 Ecuación de %Acetilo y GS.....	27
Figura 4 Método de recirculación.....	31
Figura 5 Lavado de la MCA con agua destilada.....	32
Figura 6 Secado de MCA	33
Figura 7 Muestra con coloración mínimamente rosada	34
Figura 8 Muestras en reposo durante 48 horas.....	34
Figura 9 Ecuación de %solubilidad.....	36
Figura 10. Celdas con muestra de probeta y silica gel.....	37
Figura 11 Cámara climática	38
Figura 12 Ecuación de permeabilidad al vapor de agua.....	38
Figura 13 Grados de sustitución de la MCA a 1, 3, 5 y 7 h de tratamiento.....	39
Figura 14 % Acetilación de la MCA, a los tratamientos de 1, 3, 5 y 7 h.....	40
Figura 15 Análisis de espectroscopia infrarroja para los diferentes tratamientos a 1, 3, 5 y 7 horas, con AA.....	42
Figura 16 Análisis de espectroscopia infrarroja para los diferentes tratamientos a 1, 3, 5 y 7 horas, con AAc.....	43
Figura 17 Porcentaje de solubilidad en probetas con MCA.....	44
Figura 18 Permeabilidad al vapor de agua de las probetas con MCA.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Formulaciones para el proceso de acetilación	31
Tabla 2 Mezclas para probetas	35
Tabla 3 Diferencias significativas Reactivos VS tiempo.....	56
Tabla 4 Diferencias significativas Reactivos VS tiempo.....	57
Tabla 5 Análisis de datos para porciento de solubilidad	58
Tabla 6 Análisis de datos para WVP	59

RESUMEN

En el área de tecnología de alimentos es de gran importancia el uso de empaques, ya que contribuyen a la conservación de los alimentos, hoy en día se busca emplear empaques que cumplan no solamente con la función de resguardar un alimento, sino que también le aporten alguna propiedad que migre del empaque al alimento y que a su vez sea compatible con el ambiente. Sin embargo este tipo de empaques presentan defectos como la fragilidad, por lo que es necesario reforzarlos con otro tipo de material.

La microcelulosa (MC) proveniente de fibra de *Agave de lechuguilla Torr*, se ha utilizado en este sentido para la elaboración de biocompositos, ya que es un material que confiere resistencia mecánica a los productos que la contienen y que ayudan a la conservación de los alimentos, sin embargo, esta se caracteriza por su alta hidrofiliidad, que contribuye a una adsorción excesiva de humedad del alimento resguardado.

Es por ello que el objetivo de la presente investigación es el establecimiento y la evaluación de condiciones para el proceso de acetilación de microcelulosa (MCA), mediante un tratamiento químico donde se espera la sustitución de los grupos hidroxilo (OH) por grupos acetilo (C=O); la fase experimental consistió en tratar a diferentes tiempos de reacción (1h, 3h, 5h y 7h) las muestras de microcelulosa nativa (MCN), utilizando dos tipos de reagentes, el ácido acético glacial (AA) y el anhídrido acético (AAc). Posteriormente se empleó la MCN y la MCA para reforzar películas a base de almidón de maíz, a las cuales se evaluaron sus propiedades de solubilidad y permeabilidad al vapor de agua (PVW), es importante mencionar que para cada tratamiento se realizó un análisis de varianza y t-student, con una significancia de ($p \geq 0.05$).

Para evaluar el tratamiento aplicado de la modificación química de la MCN, se determinaron los grados de sustitución (GS) obtenidos, donde los tratamiento con valores mayores corresponden a la utilización del AA a las 5 h y AAc a las 3 h, con valores de 0.439 y 0.433 respectivamente, mientras que el valor más bajo es de 0.021

con AA a 1 hora de tratamiento. Se determinó el porcentaje de acetilación para cada ensayo donde se reportan valores altos con AA a las 5 h con 10.463%, junto con el AAc a 3 h ya que se obtienen los mismos valores, en contraste con el ensayo de AA a 1h puesto que presenta 0.560%.

Por su parte en el estudio de porcentaje de solubilidad para las probetas se puede apreciar que el valor más bajo se obtuvo con el tratamiento de 5 h presentando 74.180%, en comparación con la probeta que contiene MCN que registró un 78.975%. En cuanto a la PVW, de igual forma, el dato menor se presenta en el tratamiento de 5 h con un valor de 2.7115×10^{-6} mmHg, el cual es significativamente más bajos al compararlo con la CN que presenta una permeabilidad de 5.422×10^{-6} mmHg. Por lo que es evidente la disminución de la hidrofiliidad.

Se tienen que ambos reagentes empleados tienen la capacidad de obtener los mismos niveles en porcentaje de acetilación y en grados de sustitución (GS), con la diferencia que el AAc actúa en un menor tiempo de reacción obteniendo los mismos valores a las 3 horas de tratamiento, que al emplear AA a las 5 horas, estos datos se corroboraron utilizando un análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), donde se encontró una banda de tensión entre los $3700-3000 \text{ cm}^{-1}$ la cual es representativa de los grupos (OH), mientras que en los tratamietos de acetilación aparece una banda a los $1700-1730 \text{ cm}^{-1}$ cuya intensidad varia y es consistente con los GS correspondientes al tratamiento y que está ausente en la MCN.

Palabras clave: microcelulosa acetilada, ácido acético, anhídrido acético, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito alimentario los empaques son ampliamente utilizados y estos se clasifican de acuerdo a sus funciones, uno de ellos son los de tipo pasivo, los cuales sirven como contenedor, manteniendo el alimento por un periodo de tiempo a la temperatura adecuada, estos empaques no confieren algún tipo de propiedad a los alimentos; el segundo grupo hace referencia a los empaques activos, los cuales tienen el propósito de prolongar la vida útil del alimento confiriendo alguna sustancia o propiedad para mejorar el estado en que se encuentra por un tiempo mayor o bien también pueden contribuir a la absorción de sustancias del alimento y de su entorno.

Sin embargo la utilización de empaques es cada vez mayor, ya que se desechan de forma excesiva, lo que contribuye a la contaminación, es por ello que nacen los empaques biodegradables, los cuales a su vez deben cumplir con la función de ser activos; los materiales utilizados para la creación de estos empaques tienden a presentar algunas desventajas como la fragilidad, por lo que se han buscado alternativas para su refuerzo, una de estas es el incorporar MCN proveniente de fuentes como la fibra de lechuguilla, la cual es compatible con el medio ambiente y a su vez con los alimentos.

La MC presenta un punto negativo el cual se refiere a ser un material hidrofílico, es decir presenta una polaridad distinta, y por lo tanto modifica las características del alimento, por ello se debe estudiar para adaptarlo e incorporarlo al resguardo de un alimento (Rivas, 2012).

Uno de los métodos más utilizados para la modificación de la hidrofilidad es la acetilación, la cual varios autores han propuesto como solución para cambiar la polaridad de distintos materiales como lo es en almidón de cebada (Prieto-Méndez et al., 2010), almidón de yuca (Trujillo Rivera, 2014), e incluso en fibras de bagazo (Salazar, 2017), con lo que lograron que el material repele humedad.

II. JUSTIFICACIÓN

Cada día la sociedad genera una mayor demanda alimenticia, y no solo en cuestión de producción, sino también en el cómo resguardarlos, actualmente existen diversos empaques, donde abundan los que están hechos de derivados del petróleo, sin embargo contribuyen a una mayor contaminación ambiental, debido a la cantidad excesiva de residuos que se generan día con día.

Es por ello que se ha comenzado tiempo atrás el auge de la investigación y utilización de materiales biodegradables, y que además sean compatibles con los alimentos; uno de los temas más importantes a recalcar es el desarrollo de empaques activos, es decir empaques que aporten propiedades al alimento, ya que estos confieren sustancias benéficas que se transportan del empaque al alimento, conforme se requiera, teniendo que el principal reto que estos biomateriales enfrentan es el de las bajas propiedades mecánicas que presentan. En este sentido se han desarrollado biocompósitos reforzados con fibras de diversas fuentes, una de ellas es el *Agave de lechuguilla Torr.*

Por lo cual la presente investigación se orientó hacia el establecimiento de las condiciones para modificar químicamente a la MCN de fibras de lechuguilla misma que en estudios realizados por el presente grupo de trabajo, mostró ser un agente que confiere propiedades mecánicas deseables a los empaques en los que se inclusiona, con la desventaja de secar el producto contenido. Por lo que es necesario establecer las condiciones para llevar a cabo el tratamiento químico de la acetilación, y así poder disminuir este defecto que se presenta.

III. HIPOTESIS

H₀: El proceso de acetilación modificará la polaridad de la MC obtenida de fibra de *Agave de lechuguilla Torr*, donde al incorporarlo en probetas se verá afectado su carácter hidrofílico.

H_a: El proceso de acetilación no modificara la polaridad de la MC obtenida de fibra de *Agave de lechuguilla Torr*, donde al incorporarlo en probetas no se afectará la hidrofiliidad.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Establecer y evaluar las condiciones para el proceso de acetilación de MC y su posterior acoplamiento en películas desarrolladas base de almidón de maíz.

4.2. Objetivos Específicos

- Establecer las condiciones para el proceso de acetilación de fibras de *Agave lechuguilla Torr.*
- Caracterizar y evaluar la MCA obtenida de los diversos tratamientos ensayados.
- Elaborar probetas a base de almidón de maíz reforzadas con MC en sus diversos grados de acetilación.
- Evaluar las propiedades de solución y barrera de los diversos biocompositos obtenidos.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Biomateriales y materiales biobasados Definición

El término biomaterial se podría definir a partir de su etimología descomponiendo la palabra en dos partes, una de ellas “bio” y la otra “material”. La palabra “material” se puede entender a grosso modo como sustancia y el prefijo “bio” como vida. Es decir un biomaterial es aquel que procede de un ser vivo, o bien una sustancia que está en contacto con un organismo vivo, o a su vez, resulta inofensivo ante el medio ambiente. Se considera biomateriales a aquellos materiales que son biobasados, biodegradables o que cumplen ambos requisitos, el término biobasado se refiere al material que se deriva completamente o en gran parte de productos biológicos, como por ejemplo el maíz, la celulosa o residuos orgánicos. Es necesario aclarar el término “Biodegradable” ya que se refiere al material que es sensible a la biodegradación. La biodegradación es un proceso químico por el cual determinados microorganismos convierten el material en sustancias como agua, dióxido de carbono y abono. (Domènech, 2018).

5.1.1. Importancia

Estos materiales son de vital importancia, ya que actualmente se utilizan en múltiples áreas tales como cosméticos, área de salud y conservación de alimentos, es por ellos que deben ser aplicados de una manera rigurosa ya que estos entran en contacto con un sistema biológico por lo que es necesario que posea diversas características, tanto mecánicas como biológicas.

Actualmente los biomateriales, se rigen como una clara alternativa a los polímeros tradicionales para reducir la dependencia a los combustibles fósiles y sus correspondientes emisiones de dióxido de carbono. (Domènech, 2018).

La creciente concienciación de la población sobre el cambio climático y la limitación de recursos, junto con la subida del precio del petróleo, ha provocado un incremento importante de este grupo de polímeros. La producción de bioplásticos está en un crecimiento continuo, por lo que día con día se investiga cómo mejorar la tecnología que contribuye a su procesamiento.

5.1.2. Ventajas y Desventajas

Los biomateriales son de suma importancia, así pues estos tienen diversas ventajas según lo menciona (Rodríguez, 2022), de las cuales se encuentran las siguientes:

- Aumenta la eficiencia de los recursos, utilizando la biomasa primero para el desarrollo de materiales y después reutilizándola para un segundo plano como lo es la generación de energía.
- Disminuye la cantidad de residuos desechados al medio ambiente, ya que son materiales con un tiempo de descomposición temprana.
- Necesidad de menor infraestructura para deposición del medio ambiente.
- Se puede controlar su grado de degradabilidad, de acuerdo a los componentes que contenga.
- Provoca una reducción de la huella de carbono y emisión de gases de efecto invernadero en la fabricación de los materiales y sus derivados.
- Se tiene un ahorro de recursos fósiles, ya que son sustituidos por fuentes renovables.

Dentro de las desventajas que presentan los biomateriales frente a diversos tipos de polímeros convencionales, se tienen los siguientes:

- Presentan una degradabilidad más rápida, por lo que solamente se pueden aplicar para fines específicos.
- En el caso de la producción de biomateriales, el incorporar un componente alimentario, provoca un aumento de la demanda de estos cultivos o sus derivados, lo que se dificulta en los alimentos o residuos que se obtienen por estaciones del año. Con ello se podría tener un aumento de precio en los alimentos y por lo tanto puede recaer en el ámbito de la agricultura.

5.2. Fibras

Existen varias definiciones de fibra, uno de ellas se refiere a fibra utilizada de manera textil tal como lo señala (Monroy, 2013) "Donde fibra es cada uno de los filamentos

que, dispuestos en haces, entran en la composición de los hilos y tejidos, ya sean de procedencia mineral, artificial, vegetal o animal”.

Otra de las definiciones más utilizada es la siguiente -Al referirnos al término “fibra” hacemos alusión a un tipo de material con características específicas con diferentes cualidades como lo es el absorber esfuerzos mecánicos presentados al incorporar estas fibras a algunos materiales, por ejemplo en el concreto hidráulico, el cual durante su etapa de fraguado y petrificación, se encarga de absorber los esfuerzos mecánicos producidos por la aplicación de diferentes cargas externas durante la vida útil de los elementos formados por este material” (Esguerra & Forero, 2020).

5.1.1. Usos convencionales e importancia

Existen diversos usos o aplicaciones de las fibras debido a que cada una de ellas presenta diversas características, uno de los usos más convencionales es utilizar las fibras, como un elemento textil que contribuye a dar forma, textura y maleabilidad a diversos materiales como las telas, algodones e hilos; uno de los ejemplos más comunes son las prendas de vestir que se utilizan día a día (Monroy, 2013).

Otro uso de las fibras tiene gran importancia en la sociedad, ya que se utilizan como refuerzo en concreto hidráulico, debido a que el material es capaz de absorber los diferentes esfuerzos mecánicos presentados, y por lo tanto brinda una mayor resistencia al recibir algún tipo de carga externa. (Esguerra & Forero, 2020).

Un tercer uso de las fibras se da comúnmente en los campesinos de México ya que estos presentan graves carencias dentro de sus viviendas, específicamente en los estados de Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas, por lo que para disminuir este tipo de problemas, incorporan fibras de tipo natural, para refuerzo de concreto en las construcciones de sus viviendas, haciéndolas con una mayor resistencia.(Alvarado et al., 2004).

Debido a que antiguamente se utilizaba únicamente fibra de asbesto y este al ser analizado presentaba toxicidad para la salud y un elevado costo, se comenzaron a

utilizar sustitutos de reforzamiento que compitieran en calidad y precio, tales como lo son las fibras.

Las fibras son de fácil acceso, y presentan un costo menor comparado al material de tipo asbesto con el que comúnmente se había trabajado, además de no presentar problemas de toxicidad en la salud humana, tal como lo menciona (Alvarado et al., 2004).

5.1.2. Fuentes

Existen diversos tipos de fibras, las cuales se pueden clasificar según su procedencia de la cuales se obtienen fibras metálicas, fibras de vidrio, fibras sintéticas; utilizando como materiales (acrílica, aramida, carbono, nailon, poliéster, polipropileno), y fibras naturales en las cuales se utiliza comúnmente la hoja de piña, linaza, abacá, ortiga, cáñamo, plátano, curauá, yute, ramio, kenaf, sisal, henequén, cañaheja, bambú, algodón, alfalfa, fique, bagazo, palmira, corteza pecíolo, coco, palma de aceite, piasava, y agave. (Esguerra & Forero, 2020)

Actualmente México es un país que posee abundante producción de fibras naturales sobre todo las de la familia del agave, de esta familia la más conocida es el “sisal” que puede ser obtenida en la península de Yucatán; otras especies de la misma familia son el “maguey” y la “lechuguilla”. El primero crece principalmente en el Valle del Mezquital ubicado en el estado de Hidalgo, mientras que la lechuguilla normalmente se desarrolla en la zona noreste de México, es importante destacar que las fibras naturales se pueden obtener a un bajo costo usando la mano de obra disponible en la localidad y las técnicas adecuadas para su obtención.

Estas fibras son llamadas típicamente fibras naturales o no procesadas. Sin embargo, las fibras naturales pueden ser procesadas químicamente para mejorar sus propiedades. (Alvarado et al., 2004).

5.3 Lechuguilla generalidades

5.3.1. Cultivo

El *Agave lechuguilla*, coloquialmente conocido como “lechuguilla”, pertenece a la familia de las agavaceae, es la planta más representativa en el desierto de Chihuahua, desarrollándose en zonas con características áridas y semiáridas de México así como en el sur de los Estados Unidos. Dentro del país de México se encuentra en mayor proporción en estados como lo es Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Durango y, en menor proporción en estados del centro como Querétaro, Hidalgo y Guanajuato. Los suelos en los que crece la lechuguilla son franco-arenosos, calizos y arcillosos donde existe una precipitación pluvial de 150-500 mm anuales, en altitudes que van de 200 a 2400 msnm. (Hernández et al., 2005 & Castillo et al; 2020).



Figura 1 Cultivo de Agave de lechuguilla
(Castillo et al., 2012)

5.3.2. Características

La lechuguilla presenta una composición fibrosa, de la cual la fibra se utiliza como la principal forma de captación de ingresos económicos para los habitantes de la región ixtlera del país, ya que se tiene que por lo menos durante un tercio del año se explota para la obtención de fibra denominada *ixtle*; la cual tiene características abrasivas, un alto índice de retención de agua de hasta un 65%, presenta cristales de oxalato incrustados, así como una resistencia térmica alta a una exposición de hasta 150°C de forma continua, tiene una alta versatilidad de usos y se obtiene a un bajo costo.

Los campesinos obtienen la fibra mediante el tallado de la hoja de la lechuguilla, la cual está constituida por 15 % de fibra y un 85% de pulpa; en este caso la pulpa también es aprovechada ya que contiene compuestos bioactivos de interés, en los que recalcan las saponinas que son utilizadas en aplicaciones de tipo farmacológicas (Hernández et al., 2005).



Figura 2 Desfibrado de hojas de lechuguilla
(Castillo Quiroz et al., 2005)

5.3.3. Usos

Debido a estas características en la actualidad no existe un sustituto sintético para la fibra de lechuguilla, ya que esta se utiliza en industrias de comercio y uso doméstico como es en la fabricación de cepillos, brochas de maquillaje, confección de lazos, así como en cordelería, además de utilizarse en el área de construcción para el refuerzo de materiales, así como en jardinería y cestería. (Castillo Quiroz et al., 2005).

Las fibras se pueden utilizar de forma natural, llamadas así por el hecho de no estar procesadas, sin embargo, las fibras naturales pueden ser procesadas químicamente para mejorar sus propiedades, a estas fibras se les conoce como fibras naturales procesadas.(Alvarado et al., 2004)

5.4. Plásticos sintéticos

Los plásticos sintéticos son constituidos por polímeros, es decir son aquéllos derivados de alterar la estructura molecular de materiales a base de carbono como el petróleo crudo, carbón o gas.

Se tiene un alto impacto de los plásticos sintéticos ya que el efecto de los productos plásticos en la economía es fundamental puesto que un consumidor promedio usa estos productos de manera cotidiana, ya sea para consumo personal o a través de otras actividades, como la construcción, las comunicaciones, el transporte y el almacenamiento.

Dentro de México esta industria es muy valiosa ya que ha tenido un crecimiento promedio anual de la economía en general de hasta un 2.92% jugando un papel como proveedor de este tipo de materiales para la industria automotriz, en el caso de la industria del plástico es apenas superior, con 3.03% promedio anual. (Góngora, 2014).

La utilización de plásticos sintéticos tiene diversos puntos a favor tales como el ser materiales con alta diversidad y versatilidad al poder ser incorporados en varios procesos productivos, razón por la que es indispensable en la actualidad en diversos productos, jugando un papel sobresaliente en la economía mundial y mexicana.(Perdomo M, 2002).

Sin embargo existen varias desventajas al utilizar este tipo de materiales ya que tiene un alto impacto en el medio ambiente, puesto que son materiales que tardan mucho tiempo en poder degradarse, siendo uno de los principales contaminantes, además de que varios de estos materiales pueden llegar a ser inflamables y generadores de gases de invernadero al tener una quema, por lo que se requiere la utilización de nuevas fuentes naturales que sean amigables con el medio ambiente, y con lo relacionado al ser humano como lo son materiales biobasados.

5.5. Alternativas para acoplamiento y mejora de materiales biobasados

Los materiales biobasados tienen diversas ventajas, sobre los materiales sintéticos que como bien ya hemos visto son de menor precio y compatibles con el medio

ambiente, sin embargo presentan limitaciones como la baja resistencia a la humedad y su elevada degradación al calor, por ello se han visto diversas alternativas para mejorar sus propiedades como lo es el incorporar aditivos, la mejora de propiedades mecánicas, estabilidad química, estabilidad térmica, así como el incremento de propiedades barrera a gases.(Madrid Rodríguez, 2020; Quiles, 2021).

5.6. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas tienen que ver con la reología que estudia la deformación y el flujo en cuerpos sometidos a cargas, además también se incluye la mecánica que estudia las fuerzas y el movimiento, se dice que las propiedades reológicas son denominadas propiedades mecánicas, estas propiedades se pueden clasificar en cuantitativas o magnitudes; en algunos casos las propiedades mecánicas en películas se aumenta por la adición de agentes como el hipoclorito de sodio (Barreiro & Ruiz, 1996).

Otro de los puntos es que las propiedades mecánicas permiten predecir su durabilidad de la película comestible y en un momento dado la integridad del alimento.

A continuación se presenta una lista de dichas propiedades:

5.6.1 Propiedades cuantitativas

- **Deformación unitaria** se refiere al cambio de tamaño o forma de un cuerpo referido a su tamaño original.
- **Tensión** se refiere a la intensidad en un punto de un cuerpo de las fuerzas internas o componentes de dichas fuerzas que actúan sobre un determinado punto.
- **Resistencia** es la tensión máxima que un material es capaz de soportar.
- **Límite elástico** es la tensión máxima que un material puede soportar sin mostrar deformación.
- **Punto o límite de fluencia** es la primera tensión de un material.
- **Punto de rotura** es el punto de la curva para el que se produce una rotura en la macroestructura.
- **Deformación permanente** es la deformación unitaria restante tras la completa eliminación de la carga causante de la deformación.

- **Módulo de elasticidad o de Young** es la relación tensión/deformación.
- **Módulo de deformabilidad** es la suma de las deformaciones elásticas y plásticas de un determinado punto en la curva fuerza-deformación.
- **Grado de elasticidad** se refiere a la relación de la deformación elástica y la suma de las deformaciones elásticas y plásticas.
- **Grado de plasticidad.**
- **Tenacidad** es el trabajo necesario para causar la rotura de un material.
- **Indeformabilidad.**
- **Presión de turgencia.**

5.6.2 Propiedades Cualitativas

- Textura se refiere a características que tienen que ver con el sentido del tacto.
- Elasticidad es la capacidad de un material de sufrir deformación elástica o recuperable.
- Plástica es la capacidad de un material de sufrir deformación plástica.
- Firmeza se refiere a la consistencia del material.

5.7. Propiedades de barrera

Las propiedades de barrera se refieren al paso de moléculas a través de la membrana, de ahí su nombre, por lo regular se refiere al paso o no de vapor de agua y de gases presentes en el ambiente, en algunos casos como películas comestibles estos influyen en los procesos de oxidación, cambios de textura pérdida o ganancia de humedad, pérdida de aromas, etc, esto en el caso de alimentos principalmente influyen en la calidad final del producto.

Durante el transporte de gases o vapores, ocurren dos mecanismos como lo son la difusión capilar y difusión activa, el primero ocurre en materiales porosos, mientras que la segunda incluye la solubilización del gas en la película a través del material. (Narvaez, n.d.).

5.8. Modificación de las propiedades de hidrofobicidad e hidrofiliidad.

Las propiedades de hidrofobicidad e hidrofiliidad se refiere al carácter polar de las membranas que conforman al material, en general se tiene que la mayoría de los

grupos hidrofílicos libres favorecen la sorción y transferencia de vapor de agua a través de la película en comparación de la transferencia de gases que es de naturaleza hidrofóbica.

Existen algunos métodos para la modificación de superficies porosas como lo es la modificación de filtros de microfiltración de polipropileno, que consiste en la adición de varios agentes como el etil N-alilcarbamato, peróxidos de benzoico.

En algunos otros casos la adición de una sustancia hidrofóbica como aceites o ceras, ayuda a aumentar la resistencia al vapor de agua en algunos materiales como por ejemplo las películas. Uno de los métodos más utilizados es la acetilación el cual consiste en convertir el material de hidrofílico a hidrofóbico, con la sustitución de grupos hidroxilos en grupos acéticos, para repelar el vapor de agua.

Estas modificaciones se pueden corroboran con diversos análisis, como el de grupos funcionales superficiales es decir los que se encuentran en la membrana; otro análisis es el de permeabilidad este se realiza tanto a membranas sin modificar y modificadas, se basa en la medición de la masa de agua permeada en función del tiempo a diferentes presiones; otro de estos análisis es el de medida de ángulo de contacto, en el cual se utiliza el método por deposición de gota. (Lerma et al., 2016)

5.9. Acetilación

5.9.1. Definición

La acetilación es la reacción de esterificación a la que son sometidos algunos materiales que presentan en su estructura molecular grupos OH, en el cual se tiene el propósito de disminuir la polaridad que estos grupos otorgan al material, estos grupos son sustituidos o transformados en grupos C=O, por lo regular se necesita algún tipo de reactivo y un catalizador.

5.9.2. En que se ha llevado a cabo la acetilación

La acetilación es un proceso que se ha llevado a cabo en diversos materiales, uno de los más famosos es el de diferentes tipos de almidones del grado alimentario, como lo es el almidón de plátano “macho”, almidón de cebada, almidón de papa, almidón de millo, almidón de arracacia variedad amarilla, almidón de maíz y almidón de yuca, entre otros.

La acetilación no solamente es llevada a cabo en almidones sino también se ha realizado en otros materiales como lo son las fibras, como lo es en la fibra de bagazo de caña, con el fin de que haya una subutilización en las industrias donde el bagazo es desechado sin ningún provecho (Salazar, 2017),

Además de llevar a cabo la acetilación en materias de grado alimenticias, también se han llevado estudios de acetilación de las aminas alifáticas y aromáticas, tal como lo menciona el autor (Caglieri & Macaño, 2016) ya que son de gran interés químico puesto que son empleadas como analgésicos y antiinflamatorios.

La acetilación es un proceso que ha llegado a llevarse a cabo en la madera de *Pinus radiata*, donde se busca rellenar los espacios moleculares con grupos acetilo, sustituyendo grupos de tipo hidroxilo, para evitar la pudrición a causa de una absorción de agua o la presencia de hongos, tal como lo menciona el autor (Garay & Henriquez, 2012). Así mismo otro proceso en el cual se ve involucrada la acetilación es el de acetilación de histonas en *Saccharomyces cerevisiae* en la cual se ve involucrada la actividad enzimática específica sin adición de solventes (Rodas, 1987).

5.9.3. Proceso de acetilación

La acetilación es un proceso que se lleva a cabo de la siguiente manera tal como lo menciona (Foresti et al., 2014), donde se describe que existen solventes involucrados principalmente el AAC, o en otros casos el AA, es un proceso que por lo regular involucra algún tipo de catalizador para acelerar la reacción de sustitución de los grupos acetilo por grupos hidroxilo, por lo regular se adiciona como catalizador el ácido tartárico, los cuales se colocan en contacto directo con el material a acetilar, a temperaturas que van por lo regular de entre 90 y 130°C, con una agitación magnética

continua, a diferentes tiempos, estos parámetros están objetos a modificarse según el material a acetilar.

Este proceso va acompañado de filtrados con agua destilada para anivelar el pH final. Existen casos como la acetilación de la madera en los cuales se utiliza simplemente la inmersión en AAc.

5.9.4. Evaluación de grados de sustitución y porcentaje de acetilación

Para la evaluación del resultado del proceso de la acetilación se realiza el método de %Acilo, y el análisis para el (GS), para los cuales se realiza una titulación por retroceso de HCl, con la utilización de blancos para una posterior comparación. Para los cuales se utiliza la siguiente ecuación, tal como se muestra en la figura 1.

$$\%Acilo = \frac{((Vb - Vs) \times NHCl \times 4.3)}{W}$$
$$GS = \frac{(162 \times Acilo\%)}{(4300 - ((42) \times Acilo\%))}$$

Figura 3 Ecuación de %Acetilo y GS

Dónde: Vb es el volumen en (ml) de HCl requerido para titulación del blanco, Vs es el volumen en (ml) de HCl usado para titular la muestra, N_{HCL} es la normalidad de la solución de HCl, y W (g) es la masa de la muestra usada.

5.10. Biocompositos

Los biocompositos están compuestos por biomateriales, los cuales en la actualidad han sido trabajados como una alternativa en el desarrollo de materiales que son aplicados en sensores amperométricos, en biocompositos para la concentración de iones metálicos para una purificación de aguas utilizadas en la siembra de alimentos, además se ha utilizado en biocompositos para alimentos, a base de quitina y quitosano.

Los biocompositos son utilizados en diferentes tipos de industrias que como bien lo hemos mencionado, son industrias que van desde el grado alimenticio, la agricultura hasta las industrias de tecnología relacionadas con el tema automotriz, presentan algunas características positivas como lo es el ser amigables con la capa de ozono debido a que interactúan con el medio ambiente. Además de presentar una alta capacidad de integrar materiales de diferentes naturalezas, por lo tanto se dice que presentan diversas ventajas como lo son las de tipo analítica ya que proporcionan un alto valor añadido como lo es la versatilidad, durabilidad, facilidad de regeneración superficial y de integración, así como funcionalidad como reservorio de material biológico.

Además de caracterizarse por ser capaces de reducir concentraciones de iones metálicos, y presentar dentro de su estructura grupos funcionales como los grupos hidroxilos aminas, que aumentan su absorción.

Los biocompositos presentan propiedades eléctricas y por lo tanto se puede aplicar de forma analítica, los cuales son influenciados por la naturaleza de las partículas conductoras que la forman, así como la cantidad y distribución que presentan, tal como lo mencionan los siguientes autores (Doctoral, 2014; Morales, 2009).

5.11. Polisuccinimida (PSI)

La PSI se refiere a un polímero biodegradable, la cual según estudios no presenta toxicidad en la salud de las personas, presenta características tales como el ser insoluble en agua, pero si es soluble en disolventes apróticos, es decir disolventes capaces de formar puentes de hidrógeno ya que contienen al menos un átomo de hidrogeno conectado directamente a un átomo electronegativo.

Como bien lo menciona el autor (Grado, 2020), la PSI también se conoce como polianhidroaspartico o poliaspartimida, pertenece a la familia de los polímeros sintéticos como el poli que se refiere al ácido acrílico, al poli que se refiere a la acrilamida o al poli que es el alcohol vinílico.

Actualmente estos materiales se utilizan como remplazo de materiales naturales celulósicos, con el objetivo de reducir problemas ambientales a los que se enfrentan hoy en un día las industrias, por lo que poco a poco se lleva a cabo un mayor desarrollo tanto en el ámbito industrial como en los productos de consumo humano.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó dentro del laboratorio de inocuidad y empaques que se encuentra en el departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, institución perteneciente a la ciudad de Saltillo Coah; en conjunto con la Universidad Autónoma de Chihuahua, ubicada en Ciudad Juárez.

6.1. Elaboración de materiales base

6.1.1. Etapa 1. Obtención de la Microcelulosa

La MCN se obtuvo de acuerdo al método establecido por (Isidro, 2019), el cual se basa en la utilización de fibras de *Agave de Lechuguilla*, la cual lleva un proceso de acondicionamiento que consiste en un secado a 60°C, para posteriormente recibir un tratamiento con ácido sulfúrico al 98% del cual se adiciona 20ml por cada gramo de fibra, y así llevarlas a una cloración para la obtención de un blanqueamiento, para posteriormente realizar una serie de lavados con agua destilada para neutralizar el pH, y por último poder eliminar humedad mediante un secado.

Con ello se obtienen fibrillas las cuales se pasan a un proceso de molienda, del cual se obtiene MCN que es tamizada en una malla del número 150 con abertura de 140 micrómetros, la cual es recolectada para un uso posterior.

6.1.2. Etapa 2. Establecimiento de condiciones de acetilación

Una vez obtenida la MCN, el proceso de acetilación se llevó a cabo bajo dos técnicas, una de ellas consiste en la incorporación de AAc, el cual al poco tiempo de su implementación en este estudio fue descontinuado debido a que en la sociedad existe un mal manejo de este reactivo, por lo que para no seguir implementando la creación de sustancias dañinas, se dio a la decisión de eliminarlo del mercado; por lo tanto se optó por utilizar AA, para sustitución del AAc.

Las concentraciones para el proceso de acetilación se llevaron a cabo de la siguiente manera que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Formulaciones para el proceso de acetilación

<i>Materia Prima (g)</i>	<i>Reactivo (ml)</i>	<i>Catalizador</i>	<i>Tiempo (hrs)</i>
<i>MCA</i> (5 g)	<i>AAc</i> (50 ml)	<i>TA</i> (0.47 g)	1, 3, 5 y 7
<i>MCA</i> (5g)	<i>AAc</i> (50ml)	<i>TA</i> (0.47g)	1, 3, 5 y 7

Para el proceso de la acetilación se requirió la MC obtenida de la fibra de lechuguilla, de la cual se optaron por colocarse 0.5g, dentro de un matraz de balón con capacidad de 250 ml, al que se añadieron 50ml de AAc con una concentración de 99.5%, además de adicionarle como catalizador de la reacción ácido tartárico (TA) con 0.47g; para llevar a cabo estas reacciones se utilizó el sistema de condensador de flujo, a una temperatura de 120°C, con agitación magnética, a distintos tiempos de 1, 3, 5 y 7 horas. El método de condensador de flujo contribuye a que podemos recuperar el regente que se volatiliza por la ebullición, haciéndolo recircular. A continuación se muestra en la figura 4.



Figura 4 Método de recirculación

Pasando el tiempo de acetilación, la MCA, se filtra utilizando un embudo, así mismo se realizaron lavados con agua destilada, hasta poder obtener un pH neutro, este proceso se ilustra en la figura 5.



Figura 5 Lavado de la MCA con agua destilada

Posteriormente la MCA se llevó a un proceso de secado, a una temperatura de 50°C durante 12 horas, tal como se muestra en la figura 6.



Figura 6 Secado de MCA

6.1.2.1. Evaluación de los GS y %Acetilo

Para la obtención de GS y %Acetilo, se llevó a cabo el siguiente proceso, en el cual se lleva un acondicionamiento de la muestra acetilada, junto con una muestra blanco, se coloca 0.1g de la MCA en un matraz Erlenmeyer a 105°C durante 2 horas.

Al término del acondicionamiento se le agregaron 20 ml de etanol a una concentración del 75%, en baño de agua durante 30min a 55°C, posteriormente se realiza una primera titulación donde se colocó 1 gota de fenolftaleína al 1%, junto con una de NaOH al 0.1N, en la figura 7 se muestra la coloración que se obtiene.

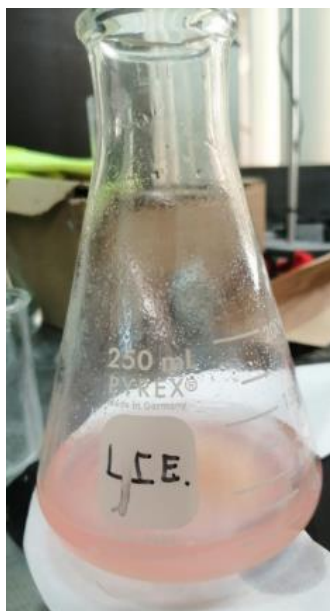


Figura 7 Muestra con coloración mínimamente rosada

Posteriormente se colocó 20 ml de NaOH al 0.1N, el cual se llevó a calentar en una parrilla eléctrica a 55°C durante 15 min, para posteriormente sellar con papel parafilm y dejar a temperatura ambiente durante 48 horas, como se muestra en la figura 8.

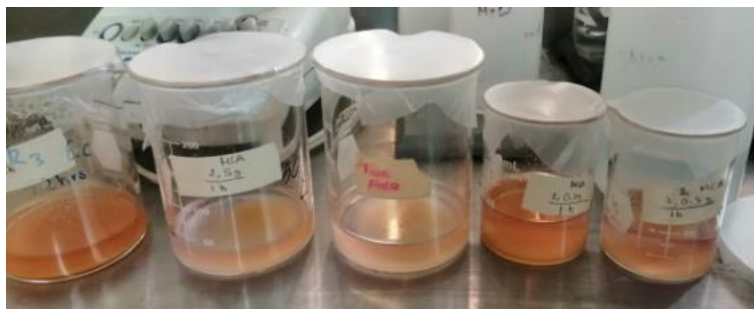


Figura 8 Muestras en reposo durante 48 horas

Pasado el tiempo de reposo de la muestra, esta se lleva a una segunda titulación de retroceso con HCl con una concentración de 0.1N, en este punto no se agrega fenolftaleína ya que fue agregada anteriormente, este proceso se da por terminado cuando se pasa de un color rosado claro, a un color blanquecino.

6.1.3. Etapa 3. Obtención de probetas

Se llevaron a cabo distintas mezclas para la obtención de probetas, con la integración de la MCA obtenida, utilizando almidón de maíz comercial de la marca “Maicena”, glicerol, y agua, a distintas concentraciones tales como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Mezclas para probetas

Mezcla	Almidón (g)	Glicerol (g)	MCA (g)	Agua (g)	Tiempo de acetilación de la MCA (h)
1	1.8	0.9	1.8	40.5	1
2	1.8	0.9	1.8	40.5	3
3	1.8	0.9	1.8	40.5	5
4	1.8	0.9	1.8	40.5	7

Las mezclas para las probetas se realizaron con una cantidad total de 45g cada una, donde la diferencia se basa en el tiempo de acetilación de la MC.

Para realizar las probetas el agua se llevó a 85°C, para ello se procedió a pesar y mezclar la cantidad de almidón y MC marcada, para posteriormente agregarlas al agua, con una agitación magnética constante durante 15 minutos, hasta la obtención de un gel.

Con la obtención del gel se procede a bajar la temperatura a 70°C, para evitar la volatilización del glicerol, que se le agregará previamente disuelto en agua. Posteriormente este gel se coloca en cajas Petri de medidas de 15 x 15 cm, el cual se distribuye por toda la base, se lleva a secar a una temperatura de 40°C, durante 24 horas, pasado el tiempo se voltea la probeta para secar el lado contrario a la misma temperatura y tiempo.

Obtenidas las probetas, estas se separan de la caja Petri para cubrirlas en aluminio y plástico impidiendo el paso de luz y humedad.

6.1.4. Etapa 4. Caracterización de los materiales obtenidos

6.1.4.1. Caracterización química

Se llevó a cabo la caracterización de la MC y de las probetas obtenidas, dentro del departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

6.1.4.2. Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

Se realizaron pruebas de FTIR, para ambos tratamientos de MCA, así como para las probetas obtenidas, utilizando el equipo PerkinElmer UATR Two que se encuentra en el laboratorio de caracterización del departamento ya antes mencionado.

6.1.4.3. Prueba de solubilidad

Se utilizaron las probetas obtenidas, esta prueba se realizó por triplicado, como primera etapa se llevó a cabo un proceso de secado de las muestras a una temperatura de 60°C durante 24 horas.

Se colocaron vasos de precipitado de 150 ml a peso constante, donde se llevaron a la estufa de secado a una temperatura de 110°C durante dos horas, al terminar el tiempo se enfrió dentro del desecador por 30 min, se pesaron y se registró el peso. Se colocaron 80ml de agua destilada en cada vaso, se colocó la muestra y se mantuvo en agitación magnética constante durante 60min a una temperatura de 25°C.

Posteriormente se filtra el líquido y se obtiene un residuo, el cual se va a secar durante 24 horas a 60°C, este se enfría por 30 min en un desecador, y por último se pesa el vaso con el residuo seco, para así poder determinar el porcentaje de solubilidad con la siguiente ecuación.

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

Figura 9 Ecuación de %solubilidad

6.1.4.4. Permeabilidad al vapor de agua (WVP)

El proceso de WVP se llevó a cabo con las probetas contenidas, para la cual se utilizó una modificación del método ASTM E1249-06 (2011).

Donde se utilizaron celdas de permeabilidad mostradas en la figura 8, colocando la probeta de manera que la cara del material corresponda a la superficie de secado libre la cual será expuesta al ambiente. Dentro de las celdas se colocaron 4g de sílica gel deshidratada previamente.



Figura 10. Celdas con muestra de probeta y sílica gel

Las celdas con las probetas y la sílica gel se colocaron dentro de la cámara climática acondicionada a una temperatura de 25°C y 50% de HR. (Figura 10).



Figura 11 Cámara climática

Las celdas se pesaron durante 3 horas, en intervalos de 30 min por el resto del ensayo. Los valores de velocidad de transmisión de vapor de agua, se determinaron a partir de la pendiente de la recta obtenida de los datos de ganancia de peso en función al tiempo. Se utilizó la siguiente ecuación que se muestra a continuación, con ello es posible obtener el valor de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) para cada muestra.

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

Figura 12 Ecuación de permeabilidad al vapor de agua

Donde:

S: Pendiente

L: Espesor del material (mm)

A: Área de permeabilidad del polímero (m²)

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

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1. Etapa 1. Establecimiento de las condiciones de acetilación

La presente etapa tuvo como objetivo establecer las condiciones para el proceso de acetilación de la MC para lo cual se probaron dos reactivos AAc y AA, variando los tiempos de reacción a intervalos de 1h, 3h, 5h y 7h, los ensayos se realizaron por triplicado. La figura 13, muestra los resultados de los grados de sustitución para cada uno de los tratamientos probados.

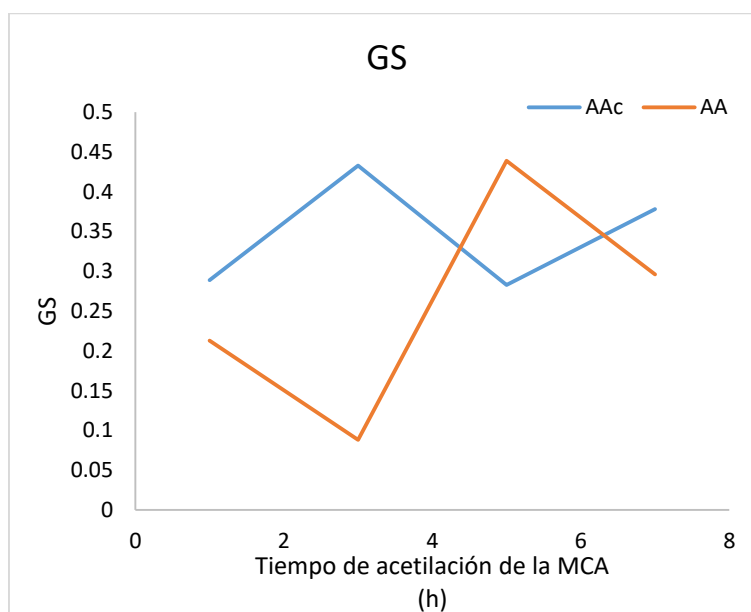


Figura 13 Grados de sustitución de la MCA a 1, 3, 5 y 7 h de tratamiento

De la figura 13 es posible apreciar que el uso de ambos reactivos se evidenció algún grado de sustitución en todos los tratamientos ensayados, el máximo nivel se obtuvo con el uso del AA a las 5 h de reacción alcanzando niveles de 0.439 y con el AAc a las 3 h con valores de 0.433 encontrándose ambos a un mismo nivel de significancia ($p \geq 0.05\%$), mientras que en un nivel intermedio se encuentra el AAc a 1 h con 0.289 y AA a las 7 h con valores de 0.296, tal como se puede apreciar en el anexo 1 del presente documento. Obteniendo los valores más bajos en los procesos llevados a

cabo con AA a las 3 h con un grado de sustitución de 0.088 mientras que a 1 h se obtiene el 0.021.

Se puede observar que con ambos reactivos empleados se puede lograr el mismo grado de sustitución para la MC proveniente de fibras de lechuguilla, la diferencia radica en el tiempo de reacción a que serán sometidas las muestras, siendo el AAc el reagente más eficiente ya que requiere tiempos de tratamiento más cortos, lo cual es una ventaja desde el punto de vista costo beneficio. Por otro lado el uso del AA requiere de tiempos prologados de reacción debido a su composición química, ya que el AAc se obtiene por pirolisis de AA, por lo que en su estructura se tiene la presencia de dobles enlaces los cuales se pueden sustituir con mayor facilidad (Borras, 2007).

Para obtener el porcentaje de acetilación se llevó a cabo la metodología ya indicada, por lo que a continuación se muestra la figura 14 con el porcentaje de acetilación obtenido para cada tratamiento.

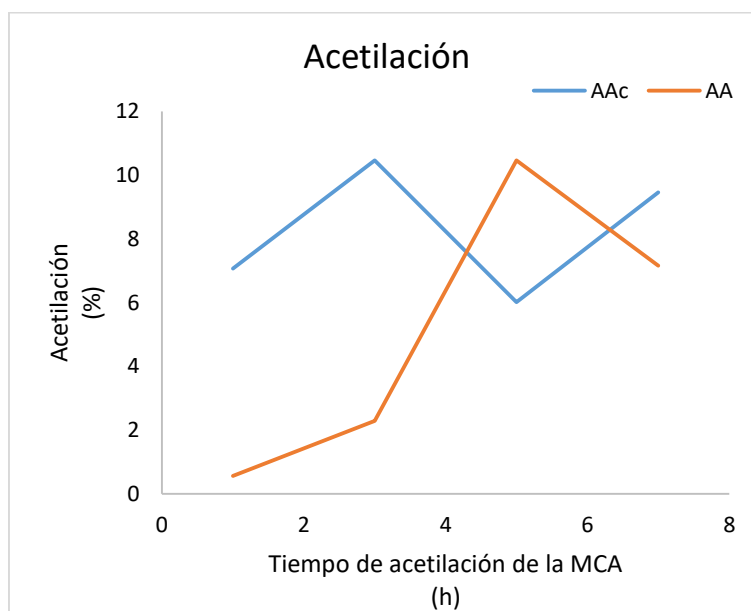


Figura 14 % Acetilación de la MCA, a los tratamientos de 1, 3, 5 y 7 h.

En la figura 13 se muestra que el mayor porcentaje de acetilación obtenido fue en el tratamiento con AA las 5 h obteniendo valores de hasta 10.463%, y a un mismo nivel de significancia ($p \geq 0.05\%$) se encuentran los tratamientos de AAc a las 3 h con 10.463%, y de AAc a las 7 h con 9.460%, seguidos por los ensayos con AA a las 7 con

un 7.166% y el de AAc a 1 h donde se obtuvo un 7.070%. Finalmente los niveles más bajos obtenidos fueron en el tratamiento con AA a las 3 y 1 h con valores de 2.2935 y 0.560% respectivamente.

Como se observa es posible alcanzar el mismo porcentaje de acetilación con ambos reactivos, sin embargo existen variaciones en el tiempo de reacción, es decir se puede alcanzar el máximo nivel con AA a las 5 h que en el AAc a las 3 h, por lo que en términos de eficiencia el AAc resulta ser el más efectivo en relación al tiempo, debido a lo anteriormente expuesto, sin embargo, el uso de este tipo de reactivos se ha visto limitado para su venta y uso debido a que recientemente su venta ha sido restringida ya que se ha utilizado como un agente primordial para la elaboración de sustancias nocivas a la salud, este hecho fue publicado por la revista Bloomberg Businessweek por (Johnson et al; 2019).

Así mismo el AAc presenta información importante en la hoja de seguridad, ya que se menciona que es un líquido inflamable con toxicidad aguda en caso de ingerirlo o por medio de la inhalación, además de provocar irritaciones cutáneas (ROTH, 2018); Se ha reportado un informe sobre sustancias peligrosas donde se menciona al AAc con los daños que puede causar a la piel, pulmones, y ojos (Health, 2005).

En cuanto a los precios de ambos reactivos en México se encuentra que el AAc se comercializa alrededor de los cuatrocientos pesos por litro, mientras que el AA glacial tiene un costo de aproximadamente seis cientos veinte pesos el litro.

Debido a la información reportada y a que el acceso a la comercialización del AAc es limitada se optó por continuar la investigación con el uso de AA, puesto que es un reactivo igualmente utilizado para el proceso de acetilación, aún que representa un costo mayor al del AAc, pero se tiene la ventaja de ser de fácil acceso, además de ser menos agresivo con la salud, siempre y cuando se tenga las medidas de seguridad, como el tener ventilada el área, utilizar equipo de protección personal, tal como bata, guantes, careta y botas de seguridad (Carlos, 2010).

7.2. Etapa 2 Análisis de microcelulosa acetilada

Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

Al analizar la MCA se obtuvieron los resultados por medio de FTIR, donde se muestran las distintas bandas que arroja el equipo, los resultados obtenidos se muestran en las figuras 15 (AA) y 16 (AAc) donde se agrupan los tratamientos de 1, 3, 5 y 7 horas.

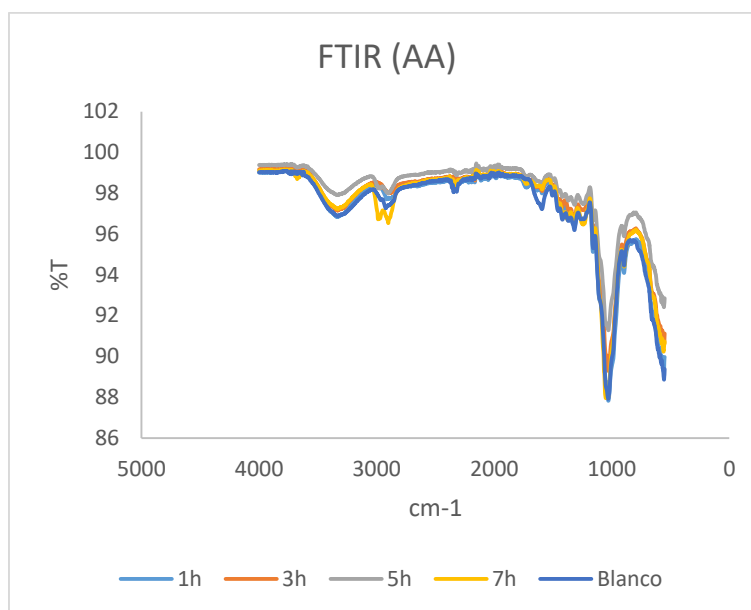


Figura 15 Análisis de espectroscopia infrarroja para los diferentes tratamientos a 1, 3, 5 y 7 horas, con AA.

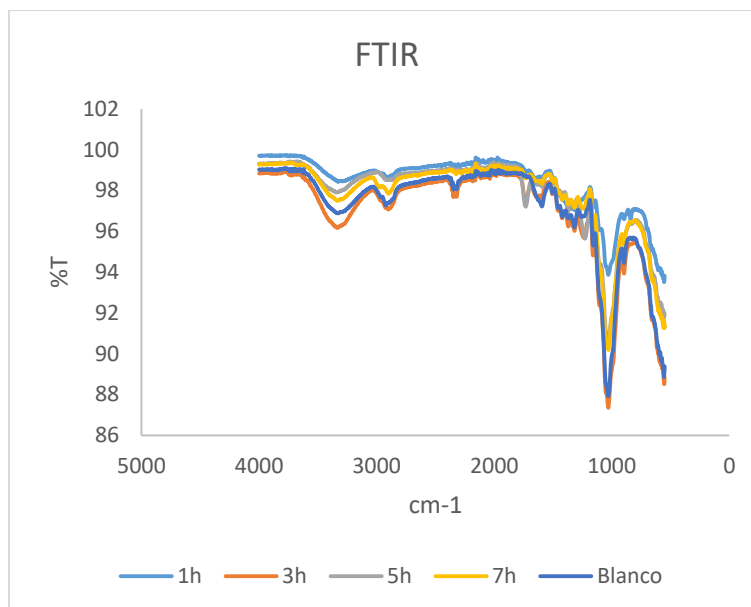


Figura 16 Análisis de espectroscopia infrarroja para los diferentes tratamientos a 1, 3, 5 y 7 horas, con AAc.

En la figura 15 y 16, se pueden apreciar las distintas bandas que se presentan en la MCA a diferentes tratamientos, donde se muestra una tensión entre los 3700-3000 cm^{-1} el cual se relaciona con el estiramiento de los grupos Hidroxilo (O-H) que corresponden a la estructura original de la MC, mientras que en los 1700 - 1730 cm^{-1} aproximadamente, se encuentran una banda de tensión en los grupos acetato (C=O), tal como lo menciona (Foresti et al., 2014).

Por otra parte se señala que en los 1313 cm^{-1} la banda corresponde a los enlaces C-H y C-O de anillos aromáticos de la celulosa, otra de las bandas significativas se tienen a los 1022 cm^{-1} que corresponden a las vibraciones de los estiramientos de C-O, reportados para la mayoría de las fibras naturales (Chen et al., 1995)

En cada una de las bandas obtenidas se muestran áreas de picos distintos donde para el grupo C=O, se tiene que los tratamientos más pronunciados son AAc a 3h, mientras que los que cuentan con áreas de menor tamaño son los tratamientos de 3 y 5h, así mismo también se observa que el tratamiento de 7 h tiene un área intermedia en donde se encuentra el grupo OH, junto con el ensayo de 3 horas, lo que no se relaciona con el tamaño de la banda de 3h de los grupos C=O.

Se puede observar que dentro de los resultados obtenidos en el tratamiento donde se utiliza AAc se obtiene una mayor acetilación durante 3 h, mientras que en los tratamientos de AA se obtiene el mismo resultado pero con una duración de 5 h. Sin embargo la banda de grupos C=O de AAc no se sostiene al alcanzar las 7 h, por lo que disminuye, mientras que utilizando AA de igual forma disminuye al llegar a las 7 h de tratamiento.

7.3. Etapa 3. Determinación de % de Solubilidad para probetas

Al obtener las probetas se determinó el % de solubilidad que presentan de acuerdo al tipo de MCA que contienen, según el tratamiento que haya recibido anteriormente. A continuación en la figura 16 se muestra el comportamiento que presentó cada una de las diferentes probetas.

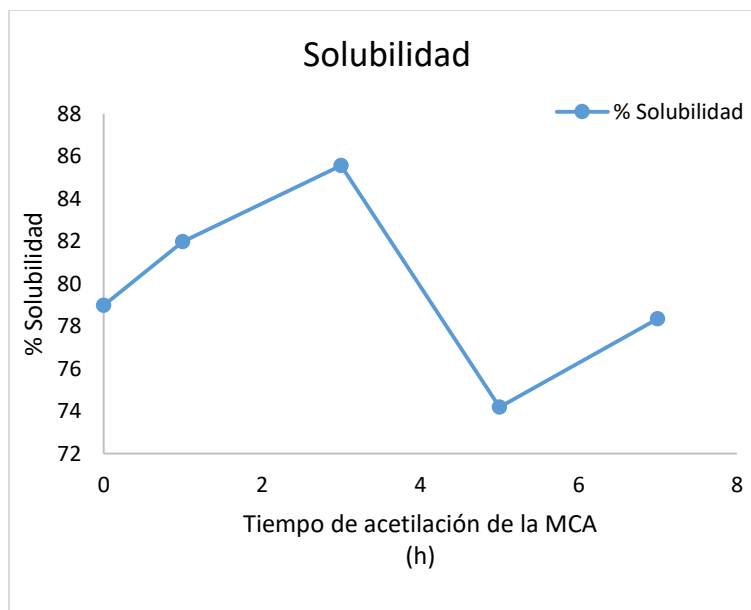


Figura 17 Porcentaje de solubilidad en probetas con MCA

Se puede observar que el porcentaje de solubilidad presento variaciones según la MCA que contenía en cada una de las probetas, donde en la probeta con MC sin acetilar presenta valores de 78.975%, mientras que en la probeta con 1 hora de tratamiento aumenta el porcentaje a un 81.976%, seguido de la que contiene un tratamiento de 3 horas con 85.553%, siendo la de menor solubilidad la que contiene

MCA de 5 horas con 74.180%; mientras que la de 7 horas presentó una solubilidad de 78.351%.

En el tratamiento de 5 horas se obtuvieron mejores resultados en el análisis, ya que presentó una mayor resistencia a desintegrarse la probeta, con lo que trata de repelar el agua presente, mientras que en caso contrario con la MCA de 3 hora se obtienen resultados completamente contrarios por lo que se desintegro más fácilmente.

En un estudio se realizaron películas biodegradables las cuales contenían almidón de Yuca oxidado acetilado, agua, glicerol y proteína de soya, donde obtuvieron una solubilidad inferior del 20.430%, mientras que el nivel superior llega hasta un 45.710%: por lo que concluyen que el almidón modificado no tuvo influencia significativa, sin embargo si influye la interacción de los diferentes componentes, especialmente en el contenido de glicerol ya que tiene un comportamiento hidrófilico y por lo tanto aumenta esta propiedad, así también el contenido de proteína ya que este tiene una influencia en la disminución de solubilidad de la película (Trujillo Rivera, 2014). Mientras que (Paul et al., 2007) realizo películas con almidón nativo y almidón oxidado de plátano, glicerol y una de ellas con la adición de aceite de girasol, las cuales se analizaron a 80 °C y 25°C, donde a una temperatura de 80°C la solubilidad más alta se tiene al utilizar almidón oxidado y almidón nativo, juntos con agua y glicerol, alcanzando un 65%, mientras que la solubilidad más baja la obtienen utilizando almidón nativo, agua, glicerol y aceite de girasol 35%; así mismo al colocar las películas a 25°C, la solubilidad más alta se alcanza con almidón oxidado, con agua y glicerol (cloro al 1.5%) a un 45%, mientras que la más baja contiene almidón nativo, agua, glicerol y aceite de girasol a un 16%, donde se tiene que las probetas a un 80°C junto con la adición de cloro activo aumenta su solubilidad mientras que las películas con aceite de girasol tiene un porcentaje más bajo de solubilidad debido al carácter hidrófobico dado por el aceite.

Al realizar una comparativa con los porcentajes de solubilidad obtenidos en las probetas, se tiene que dentro de formulación se agrega glicerol en un 2%, por lo que puede provocar este tipo de comportamiento al ser de carácter hidrofílico, sin embargo nuestro tema de interés es observar que reacción se tiene en la biopelícula al incluir MCA.

Otro estudio menciona la incorporación de almidón de sorgo acetilado, para la obtención de biopelículas, donde para el proceso de acetilación utilizaron AAc a diferentes concentraciones 2%, 4% y 6%, observaron que conforme más concentrado estuviera el reagente mayor % de acetilación obtenían, el porcentaje mayor de acetilación fue un 2.5%; donde al utilizar solamente almidón nativo obtuvieron un 13.4% de solubilidad, mientras que arrojaron valores más altos para películas con almidón acetilado, el valor más alto fue de un 26% el cual pertenece a la película con almidón reticulado y acetilado con AAc al 6%, así pues el autor (Mehboob et al., 2020) menciona que al presentarse un aumento de solubilidad en los almidones acetilados en comparación al almidón nativo se debe a que la solubilidad del almidón acetilado, está influenciado por la fracción de amilosa lixiviada de los gránulos al calentar en agua; es decir la acetilación aumenta la solubilidad debido a la hidrofilia de los grupos de sustitución que retienen las moléculas de agua al formar enlaces de hidrogeno en los gránulos de almidón. Podemos comparar con otro estudio donde realizaron películas con almidón de arroz nativo y acetilado, con un contenido medio y alto de amilosa donde menciona (Colussi et al., 2017) que la solubilidad de las películas de almidón de arroz y un contenido medio de amilosa fueron superior al 30%, mientras que al tener un contenido de amilosa alto se tenía una solubilidad mayor al 20%; se dice que la acetilación del almidón aumentó la solubilidad en agua de las películas, además de que la acetilación mejoro la formación de las películas proporcionando una mejor continuidad.

Realizando un comparativo se tiene que en nuestras probetas al incluir MCA, se comporta de manera distinta ya que aumenta la solubilidad, sin embargo en la hora 5 se logra disminuir, por lo que se llega a que la MC contiene una estructura con enlaces 1,4 β glucosidicos la cual es similar a la estructura de la amilosa la cual contiene enlaces 1,4 α glucosidicos, por lo que aumenta la solubilidad al carácter hidrofílico que presenta de los grupos de sustitución que se encargan de retener moléculas de agua, para formar enlaces de hidrogeno (Mehboob et al., 2020).

7.4. Etapa 4. Determinación de permeabilidad al vapor de agua con las probetas.

Se obtuvieron los resultados de WVP, de cada una de las probetas con diversos tratamientos, en las cuales se incorporó MCA con distintas horas de acetilación; a continuación en la figura 17 se muestran los valores obtenidos.

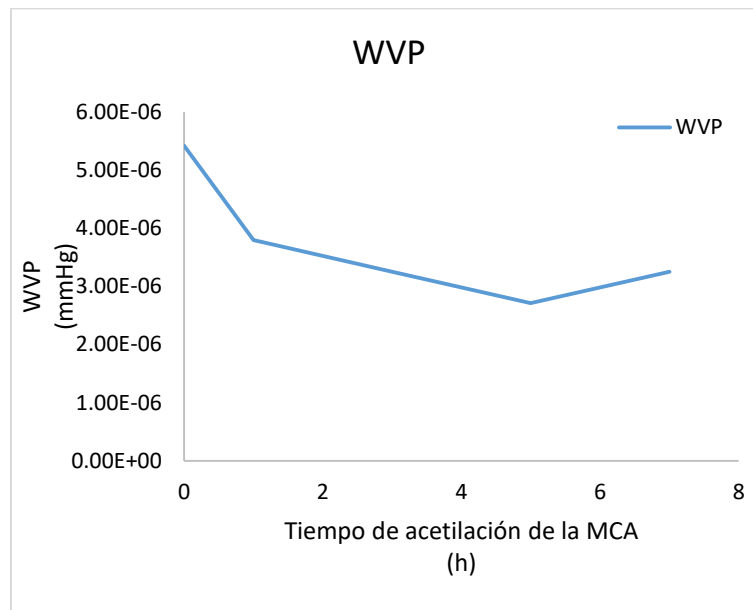


Figura 18 Permeabilidad al vapor de agua de las probetas con MCA

Se tiene que la menor permeabilidad de agua se presenta en la probeta con MCA de 5 horas con 2.7115×10^{-6} mmHg, seguido del tratamiento de 3 y 7 horas, con 3.254×10^{-6} y 3.254×10^{-6} mmHg, mientras que en el de 1 hora de acetilación se obtienen valores de 3.796×10^{-6} mmHg y por último la probeta testigo con 5.422×10^{-6} mmHg, estos ensayos fueron realizados a ($p < 0.05\%$).

En un estudio se realizaron películas biodegradables las cuales contenían almidón de Yuca oxidado acetilado, agua, glicerol y proteína de soya, donde obtuvieron una solubilidad inferior del 20.430%, mientras que el nivel superior llega hasta un 45.710%: por lo que concluyen que el almidón modificado no tuvo influencia significativa, sin embargo si influye la interacción de los diferentes componentes, especialmente en el contenido de glicerol ya que tiene un comportamiento hidrófilico y por lo tanto aumenta esta propiedad, así también el contenido de proteína ya que este tiene una influencia

en la disminución de solubilidad de la película (Trujillo Rivera, 2014). Mientras que (Paul et al., 2007) realizó películas con almidón nativo y almidón oxidado de plátano, glicerol y una de ellas con la adición de aceite de girasol, las cuales se analizaron a 80 °C y 25°C, donde a una temperatura de 80°C la solubilidad más alta se tiene al utilizar almidón oxidado y almidón nativo, juntos con agua y glicerol, alcanzando un 65%, mientras que la solubilidad más baja la obtienen utilizando almidón nativo, agua, glicerol y aceite de girasol 35%; así mismo al colocar las películas a 25°C, la solubilidad más alta se alcanza con almidón oxidado, con agua y glicerol (cloro al 1.5%) a un 45%, mientras que la más baja contiene almidón nativo, agua, glicerol y aceite de girasol a un 16%, donde se tiene que las probetas a un 80°C junto con la adición de cloro activo aumenta su solubilidad mientras que las películas con aceite de girasol tiene un porcentaje más bajo de solubilidad debido al carácter hidrófobico dado por el aceite.

Al realizar una comparativa con los porcentajes de solubilidad obtenidos en las probetas, se tiene que dentro de la formulación se agrega glicerol en un 2%, por lo que puede provocar este tipo de comportamiento al ser de carácter hidrofílico, tal y como se implementó en el presente estudio teniendo como interés primordial evaluar el efecto de la inclusión de la MCA sobre este parámetro, donde se puede apreciar una reducción estadísticamente significativa del grado de solubilidad de la película al incorporar la MCA con mayor grado de acetilación lograda en la presente investigación.

Otro estudio menciona la incorporación de almidón de sorgo acetilado, para la obtención de biopelículas, donde para el proceso de acetilación utilizaron AAc a diferentes concentraciones 2%, 4% y 6%, observaron que conforme más concentrado estuviera el reagente mayor % de acetilación obtenían, el porcentaje mayor de acetilación fue un 2.5%; donde al utilizar solamente almidón nativo obtuvieron un 13.4% de solubilidad, mientras que arrojaron valores más altos para películas con almidón acetilado, el valor más alto fue de un 26% el cual pertenece a la película con almidón reticulado y acetilado con AAc al 6%, así pues el autor (Mehboob et al., 2020) menciona que al presentarse un aumento de solubilidad en los almidones acetilados en comparación al almidón nativo se debe a que la solubilidad del almidón acetilado, está influenciado por la fracción de amilosa lixiviada de los gránulos al calentar en

agua; es decir la acetilación aumenta la solubilidad debido a la hidrofilia de los grupos de sustitución que retienen las moléculas de agua al formar enlaces de hidrógeno en los gránulos de almidón. Podemos comparar con otro estudio donde realizaron películas con almidón de arroz nativo y acetilado, con un contenido medio y alto de amilosa donde menciona (Colussi et al., 2017) que la solubilidad de las películas de almidón de arroz y un contenido medio de amilosa fueron superior al 30%, mientras que al tener un contenido de amilosa alto se tenía una solubilidad mayor al 20%; se dice que la acetilación del almidón aumentó la solubilidad en agua de las películas, además de que la acetilación mejoro la formación de las películas proporcionando una mejor continuidad.

Realizando un comparativo se tiene que en nuestras probetas al incluir MCA, se comporta de manera distinta ya que aumenta la solubilidad, sin embargo en la hora 5 se logra disminuir, por lo que se llega a que la MC contiene una estructura con enlaces 1,4 β glucosidicos la cual es similar a la estructura de la amilosa la cual contiene enlaces 1,4 α glucosidicos, por lo que aumenta la solubilidad al carácter hidrofílico que presenta de los grupos de sustitución que se encargan de retener moléculas de agua, para formar enlaces de hidrogeno (Mehboob et al., 2020).

X. CONCLUSIÓN

Fue posible establecer las condiciones para llevar a cabo la modificación química de la MCN proveniente de fibras de *Agave de lechuguilla Torr*, mediante el uso de dos tipos de reagentes como lo son el AA y AAc.

El uso de AA logra niveles de acetilación en tiempos de contacto más corto que con el usos de AAc, sin embargo el máximo nivel es equiparable utilizando ambos reagentes teniendo que a las 3 h con el uso de AA se obtiene un 10.463% de acetilación, mientras que para obtener valores equiparables con AAc se requiere de 5 h.

El proceso de acetilación fue eficiente al corroborarse mediante espectroscopía IR la presencia de bandas entre los 1700-1730 cm^{-1} correspondientes a los grupos C=O, presentes para las muestras de MCA y ausentes en las de MCN, y cuya intensidad varia en relación directa con el GS y % de acetilación de la muestra correspondiente.

La inclusión de la MCA reduce el carácter hidrofílico de biopelículas a base de almidón de maíz utilizando glicerol como agente plastificante ya que se obtienen valores de PVA de 2,711E-06 mmHg al incluir MCA del tratamiento correspondiente a 5 h y de 74.180% de solubilidad, para el mismo tratamiento, los cuales son significativamente menores que los presentados por películas adicionadas con MCN.

XI. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, C. A. J., Rodríguez López, P., Rivera Villarreal, R., De Los, M., Rechy, Á., & Roth, V. (2004). *Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto*. *VII(22)*, 7–19.
- Barreiro, P., & Ruiz, M. (1996). PROPIEDADES MECÁNICAS y CALIDAD de FRUTOS . DEFINICIONES y MEDIDAS INSTRUMENTALES. *Fruticultura Profesional*, *77*, 1–3.
- Caglieri, S. C., & Macaño, H. R. (2016). Acetilación de aminas alifáticas y aromáticas: Estudio teórico. *Informacion Tecnologica*, *27(2)*, 105–110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200013>
- Carlos, E. (2010). *Hoja de datos de seguridad del acido acetico*. 4. <http://www.laseguridad.ws/dataquim/elemento/InformeEmergencia.php?...>
- Castillo, Q., Cano, P., & Berlanga, R. (2012). Establecimiento y aprovechamiento de lechuguilla. *Comisión Nacional Forestal-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.*, 33.
- Castillo Quiroz, D., Berlanga Reyes, C. A., & Cano Pineda, A. (2005). Recoleccion, Extraccion Y Uso De La Fibra de Lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) En El Estado De Coahuila. *INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación Especial.*, *6*, 1–13.
- Chen, X. G., Schweitzer-Stenner, R., Asher, S. A., Mirkin, N. G., & Krimm, S. (1995). Vibrational assignments of trans-N-methylacetamide and some of its deuterated isotopomers from band decomposition of IR, visible, and resonance Raman spectra. *Journal of Physical Chemistry*, *99(10)*, 3074–3083. <https://doi.org/10.1021/j100010a017>
- Colussi, R., Pinto, V. Z., El Halal, S. L. M., Biduski, B., Prietto, L., Castilhos, D. D., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2017). Acetylated rice starches films with different levels of amylose: Mechanical, water vapor barrier, thermal, and

biodegradability properties. *Food Chemistry*, 221, 1614–1620.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.129>

Doctoral, T. (2014). *Raquel montes martínez*.

Domènech, A. V. (2018). *Microfibrilación in situ de mezclas biobasadas de pla*.

Esguerra, Y., & Forero, L. (2020). *Caracterización de propiedades mecánicas de fibras naturales para usos en concretos hidráulicos*. 50.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/12002>

Foresti, M. L., Tupa, M. V, Ávila Ramírez, J. A., Cerrutti, P., & Vázquez, A. (2014). Acetilación sostenible de biopolímeros mediada por un alfa-hidroxiácido de origen natural. *Anales Acad. Nac. de Cs. Ex., Fís. y Nat., Tomo, 66*, 69–81.

Garay, R., & Henriquez, M. (2012). Tratamiento químico de acetilación en madera de *Pinus radiata*. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 14(1), 103–113.
<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2012000100009>

Góngora, J. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5), 6–9.
http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf

Grado, T. D. E. F. D. E. (2020). *Grado en Ingeniería Mecánica MINUSVÁLIDAS Memoria y Anexos*.

Health, N. J. D. &. (2005). *Anhídrido Acético (Acetic Anhydride)*.
<https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0005sp.pdf>

Hernández, R., Lugo, E. C., Díaz, L., & Villanueva, S. (2005). Introducción El Agave lechuguilla Torrey (en adelante lechuguilla) es una planta que pertenece a la familia de las. *E- Gnosis Revista Digital Científica y Tecnológica*, 3, 3–12.

Isidro, L. A. G. (2019). *Establecimiento de las condiciones para la obtención de micro*

celulosa a partir de fibras de lechuguilla (Agave lechuguilla Tor.) mediante tratamiento químico-mecánico.

Lerma, T. A., Collazos, S., & Córdoba, A. (2016). Effect of side chain length of carbamates on the surface properties of porous interpenetrating networks. *Journal of Science with Technological Applications*, 1(November 2016), 30–38. <https://doi.org/10.34294/j.jsta.16.1.3>

Madrid Rodríguez, J. M. (2020). Bioplásticos en la industria el automóvil. *Revista CEA*.

Mehboob, S., Ali, T. M., Sheikh, M., & Hasnain, A. (2020). Effects of cross linking and/or acetylation on sorghum starch and film characteristics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 786–794. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.144>

Monroy, G. (2013). Las fibras textiles. *Tecnología de La Confección Textil*, 1–5.

Morales, Y. G. (2009). *Universidad de sonora*.

Narvaez, J. (n.d.). *Películas comestibles*.

Paul, B., Luis, A., Juan, P., Claudia, A., Parcial, C., Preparadas, D. E. P., & Almidón, C. O. N. (2007). *Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30220203003>*.

Perdomo M, G. A. (2002). Revista Iberoamericana Polímeros Volumen 3(2) Abril 2002 Perdomo Plásticos y medio ambiente PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE. *Revista Iberoamericana Polímeros*, 3(2)(2), 2.

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>

Quiles, L. G. (2021). *Desarrollo e implementación de estrategias de mejora de las*

propiedades estéticas de biopolímeros. / Lidia García Quiles.

Rivas, C. F. (2012). Envases Activos E Inteligentes: Control De La Calidad Y Seguridad Del Producto. *Instituto Tecnológico de Embalaje y Logística*, 34.

Rodríguez, T. F. (2022). *Producción y caracterización de materiales biobasados mediante impresión 3D.*

ROTH. (2018). Ficha de datos de seguridad Anhídrido Acético. *Roth*, 2006(1907), 1–18. https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/0/SDB_0183_ES_ES.pdf

Rpecv, M. (2007). *Tema 5 Enlace Químico I Geometría molecular Objetivos del tema Terminología utilizada Teoría de Lewis Distribución electrónica en las moléculas covalentes.*

Salazar, L. A. (2017). Efecto de la modificación química por acetilación de fibra de bagazo de caña y almidón de mapiz utilizando extrusión reactiva para posible aplicación en materiales biodegradables con mayor estabilidad al agua. *Universidad Autónoma de Sinaloa*, 52–96.

Teodoro, A. P., Mali, S., Romero, N., & De Carvalho, G. M. (2015). Cassava starch films containing acetylated starch nanoparticles as reinforcement: Physical and mechanical characterization. *Carbohydrate Polymers*, 126, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.021>

Trujillo Rivera, C. T. (2014). " Obtención De Películas Biodegradables A Partir De Almidón De Yuca (Manihot Esculenta Crantz) Título De La Tesis : " Obtención De Películas Biodegradables A Partir De Almidón De Yuca (Manihot Escu / Enta Crantz) Doblemente Modificado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 121. <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/65/004-2-1-013.pdf?sequence=1>

Yan, Q., Hou, H., Guo, P., & Dong, H. (2012). Effects of extrusion and glycerol content on properties of oxidized and acetylated corn starch-based films. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 707–712. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.048>

Zamudio-Flores, P. B., & Bello-Pérez, L. . (2013). Elaboracion y caracterizacion de peliculas de glicoproteinas ontenidas mediante reaccion de Maillard utilizando almidon acetilado y aislado proteico de suero lacteo. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 401–413.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v12n3/v12n3a4.pdf>

XII. ANEXOS

10.1. Anexo 1 Análisis de datos con método Student't para %Acetilo a ($p < 0.05\%$).

Tabla 3 Diferencias significativas Reactivos VS tiempo

Level					Least Sq Mean
Ácido acético 5	A				10.463
Anhídrido acético 3	A				10.463
Anhídrido acético 7	A	B			09.460
Ácido acético 7		B	C		07.166
Anhídrido acético 1		B	C		07.070
Anhídrido acético 5			C		06.020
Ácido acético 3				D	02.293
Ácido acético 1				D	0.560

10.2. Anexo 2 Análisis de datos con método Student't para GS, a ($p < 0.05\%$)

Tabla 4 Diferencias significativas Reactivos VS tiempo

Level					Least Sq Mean
Ácido acético 5	A				0.439
Anhídrido acético 3	A				0.4333
Anhídrido acético 7	A	B			0.378
Ácido acético 7		B	C		0.296
Anhídrido acético 1		B	C		0.289
Anhídrido acético 5			C		0.238
Ácido acético 3				D	0.088
Ácido acético 1				D	0.021

10.3. Anexo 3 Análisis de datos con método Student's para porcentaje de Solubilidad, a ($p < 0.05\%$).

Tabla 5 Análisis de datos para porcentaje de solubilidad

Level				Least Sq Mean
Tratamiento 3	A			85.553
Tratamiento 1		B		81.976
Testigo			C	78.975
Tratamiento 7			C	78.351
Tratamiento 5			D	74.180

10.4. Anexo 4 Análisis de datos con método Student's para WVP, a ($p < 0.05\%$).

Tabla 6 Análisis de datos para WVP

Level				Least Sq Mean
Testigo	A			5.422e-6
Tratamiento 1		B		3.796e-6
Tratamiento 7		B	C	3.254e-6
Tratamiento 3		B	C	3.254e-6
Tratamiento 5			C	2,711e-6