

**EXPLORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A TRACCIÓN DE
PELÍCULAS ELABORADAS CON POLISACÁRIDOS PARA EL EMBALAJE DE
ALIMENTOS, MEDIANTE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

CÉSAR AUGUSTO BACCA GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
PROGRAMA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES
BOGOTÁ
2019**

**EXPLORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A TRACCIÓN DE
PELÍCULAS ELABORADAS CON POLISACÁRIDOS PARA EL EMBALAJE DE
ALIMENTOS, MEDIANTE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

CÉSAR AUGUSTO BACCA GONZÁLEZ

**Trabajo de grado para optar por el título de
Especialista en Procesos de Alimentos y Biomateriales**

Modalidad: Monografía

Asesora:

Diana Edith Molina Soler

Msc. Ingeniera de Alimentos

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
PROGRAMA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES**

BOGOTÁ

2019

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá 26 de Febrero de 2019.

Las opiniones y desarrollo de este trabajo de grado es responsabilidad del autor; el programa de ciencias básicas, tecnología e ingeniería de Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD verificara el cumplimiento de las condiciones requeridas para su desarrollo.

DEDICATORIA

A mi tribu: mi padre por ser grande entre los guerreros, mi madre por su poder creativo y mi hermana por su espíritu libre. A mi compañera de viaje Juliana, con mucho cariño.

A cada uno de los docentes, investigadores, artistas, profesionales, campesinos y soñadores, que contribuyen de una u otra forma a impulsar la cadena de alimentos y desean un mejor mundo para todos, les deseo mucha inspiración.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los docentes y personal del programa de la Especialización en Procesos de Alimentos y Biomateriales de la UNAD, quienes me brindaron su conocimiento, especialmente a la profesora Diana Edith Molina por su importante asesoría en el desarrollo de esta monografía, al Dr. José Vicente Ortiz por su asistencia en el planteamiento de la propuesta y su constante orientación para avanzar en la entrega del documento, y con mucho cariño a la Dra. Norma Beatriz Jurado Cortes cuyo apoyo y gestión hicieron este sueño posible.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3 ANTECEDENTES	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. MARCO TEÓRICO.....	20
4.1. Biopolímeros	20
4.1.1. Celulosa	22
4.1.2. Almidones.....	23
4.1.3. Quitosano	24
4.2. Elaboración de películas biodegradables	26
4.2.1. Películas de Quitosano.....	27
4.2.2. Películas de Hidroxipropilmetilcelulosa - HPMC.....	28
4.2.3. Películas de Almidón de papa	29
4.3. Ensayos Mecánicos a Tracción.....	30
4.3.1. Módulo de Elasticidad	32
4.3.2. Deformación y Esfuerzo de Fluencia.....	33
4.3.3. Esfuerzo último o Esfuerzo a Tensión.....	34
4.3.4. Esfuerzo y deformación a ruptura	35
5. BÚSQUEDA Y CLASIFICACIÓN BIBLIOGRÁFICA	37
5.1. Condiciones de búsqueda sistemática	37
5.1.1. Quitosano	38
5.1.2. Hidroximetilpropilcelulosa - HPMC	39
5.1.3. Almidón de papa.....	40

5.2. Fases de refinamiento de la información.....	41
5.3. Clasificación bibliográfica	42
6. PONDERACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	44
6.1. Resultados preliminares de polisacáridos seleccionados.....	44
6.2. Análisis estadístico de resultados.....	52
6.2.1. Quitosano	53
6.2.2. Hidroximetilpropilcelulosa - HPMC	54
6.2.3. Almidón de papa.....	56
6.3. Análisis multicriterio	57
6.4. Análisis costo beneficio	61
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
8. CONCLUSIONES.....	67
9. RECOMENDACIONES	68
10. BIBLIOGRAFÍA.	69

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1: Revisión preliminar de artículos	41
Tabla 2: Resultados del segundo filtro bibliográfico	42
Tabla 3: Resultados del tercer filtro bibliográfico.....	42
Tabla 4: Resumen de la caracterización mecánica por cada artículo seleccionado..	44
Tabla 5: Número de artículos y cantidad de datos obtenidos por cada propiedad mecánica.....	48
Tabla 6: Resultado estadístico del Quitosano	53
Tabla 7: Valores de frecuencia estimada a partir de la base de datos examinada del Quitosano	54
Tabla 8: Resultado estadístico del HPMC.....	55
Tabla 9: Valores de frecuencia estimada a partir de la base de datos examinada del HPMC.....	55
Tabla 10: Resultado estadístico del almidón de papa	56
Tabla 11: Valores de frecuencia estimada a partir de la base de datos examinada del almidón de papa.....	57
Tabla 12: Comparación de los valores de la mediana, por cada polisacárido y propiedad mecánica	58
Tabla 13: Propiedades mecánicas a tensión de películas de polímeros convencionales	58
Tabla 14: Escala Saaty, considerado para el análisis comparativo entre los criterios: TS, EB y ME	59
Tabla 15: Matriz de pares, para el estudio multicriterio	60
Tabla 16: Obtención del auto vector de criterios	60
Tabla 17: Suma de los resultados para cada criterio	61
Tabla 18: Obtención de la matriz de alternativas	61
Tabla 19: Tabla de decisión para la selección de polisacáridos.....	61
Tabla 20: Costos obtenidos por cada materia prima	62
Tabla 21: Proporción de materias primas y el costo para producir cada película.....	62
Tabla 22: Relación beneficio costo.....	63

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Clasificación de biopolímeros.....	21
Figura 2 Molécula de Celulosa	22
Figura 3: Molécula de HPMC	23
Figura 4: Molécula de amilosa.....	24
Figura 5: Molécula de amilopectina	24
Figura 6: Molécula de Quitina.....	25
Figura 7: Molécula de Quitosano.....	26
Figura 8: Proceso para la obtención de películas de quitosano	28
Figura 9: Proceso para la obtención de películas de HPMC	29
Figura 10: Proceso para la obtención de películas de almidón de papa	30
Figura 11: Principales ensayos para caracterizar la resistencia mecánica de los materiales.....	31
Figura 12: Curva de Esfuerzo-Deformación de ensayos mecánicos a tensión	32
Figura 13: Curva investigativa de caracterización mecánica del quitosano, entre los años 2013-2018	38
Figura 14: Curva de tendencia investigativa de caracterización mecánica del HPMC, entre los años 2013-2018.....	39
Figura 15: Curva de tendencia investigativa de caracterización mecánica del almidón de papa, entre los años 2013-2018.....	41
Figura 16: Conjunto de datos de TS y EB del quitosano	49
Figura 17: Conjunto de datos de TS y EB del HPMC	49
Figura 18: Conjunto de datos de TS y EB del almidón de papa	50
Figura 19: Comparación de resultados de TS y EB entre los tres polisacáridos	51
Figura 20: Resumen de los módulos de elasticidad obtenidos.....	51
Figura 21: Comparación de resultados entre diferentes polisacáridos y su respectiva publicación	52
Figura 22: Distribución de la frecuencia para cada una de las propiedades mecánicas a tensión examinadas del quitosano.	54
Figura 23: Distribución de la frecuencia para cada una de las propiedades mecánicas a tensión examinadas del HPMC.	56
Figura 24: Distribución de la frecuencia para cada una de las propiedades mecánicas a tensión examinadas del Almidón de papa.....	57
Figura 25: Árbol de criterios para el objetivo de estudio.....	59

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Información sobre los artículos seleccionados	85
ANEXO B: Definiciones de análisis estadístico	89

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad
E	Módulo de elasticidad	MPa
M	Peso	Kg
L	Volumen en litros	L

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad
ε	Deformación	%
σ	Esfuerzo	MPa
ρ	Densidad	g/cm ³

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>EB</i>	Elongation at break (Elongación a ruptura)
<i>TS</i>	Tensile Strength (Esfuerzo a tensión)
<i>ME</i>	Módulo de elasticidad
<i>HPMC</i>	Hidroxipropilmetilcelulosa
MPa	Mega pascales
RPM	Revoluciones por minuto
<i>w/w</i>	Weight for weight (peso por peso)
<i>v/v</i>	Volumen por volumen
<i>w/v</i>	Weight/volumen (peso/volumen)
<i>NTC</i>	Norma Técnica Colombiana
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>COP</i>	Pesos colombianos

GLOSARIO

Almidones: Son hidratos de carbono que constituyen la principal fuente de reserva energética de los vegetales, y posee aplicaciones industriales y alimenticias.

Biodegradable: Condición por la cual un material puede degradarse por acción biológica.

Biopolímeros: Polímeros obtenidos principalmente de fuentes renovables

Celulosa: Material que conforma la pared de las células vegetales

Deformación a ruptura: En los ensayos a tensión, se presenta la deformación a ruptura cuando el material se desgarrá convencionalmente en dos secciones

Ensayos mecánicos a tensión: caracterización de las propiedades mecánicas de un material mediante la tracción de un elemento en dos extremos opuestos y alineados.

Esfuerzo a tensión: También conocido como Esfuerzo Último a Tensión – UTS (por sus siglas en inglés), es la resistencia máxima alcanzada por el material.

Módulo de elasticidad: También identificado como Módulo de Young, relaciona la deformación y esfuerzo de un material, mediante el valor de la pendiente de la curva en el régimen elástico.

Quitosano: Es un polisacárido compuesto por moléculas de glucosamina y obtenido de la quitina de crustáceos.

Polímero: Macromolécula formada por monómeros polimerizados, proveniente de fuentes sintéticas o naturales.

Polisacáridos: Hidratos de carbono constituido por largas cadenas de monosacáridos.

RESUMEN

La producción sostenible en la industria alimentaria puede alcanzarse cuando todos los elementos involucrados en su producción y distribución posean una baja repercusión en el ambiente, por lo cual se ha propuesto la implementación de polímeros biodegradables para el embalaje, pero convencionalmente han presentado una menor resistencia mecánica respecto a los polímeros derivados de hidrocarburos. Esta monografía es una revisión bibliográfica sistemática con análisis estadístico y multicriterio de las investigaciones publicadas entre los años 2013-2018, relacionadas con las propiedades mecánicas a tensión, de las películas producidas de los polisacáridos: quitosano, almidón de papa e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), comparando los esfuerzo a tensión, módulo de elasticidad, y deformación a ruptura,. Del estudio bibliográfico se encuentra que comparativamente el HPMC presenta las mejores propiedades mecánicas a tensión (Esfuerzo a tensión: 32,44 MPa; Deformación a ruptura: 17,37 %; Módulo de Elasticidad: 305 MPa), seguido muy de cerca por el Quitosano (Esfuerzo a tensión: 32,01 MPa; Deformación a ruptura: 15,5 %; Módulo de Elasticidad: 303,5 MPa) y finalmente el almidón de papa (Esfuerzo a tensión: 10,56 MPa; Deformación a ruptura: 11,89 %; Módulo de Elasticidad: 395 MPa). En la relación costo beneficio la mejor opción para Colombia es el almidón de papa, ya que el costo por kilogramo de esta materia prima (\$5.920) es más económico que el valor de importación del Quitosano (\$368.762) y el HPMC (\$26.800). Se espera que esta monografía promueva el uso de materias primas alternativas y motive la investigación en este campo en favor del medio ambiente y el progreso de la industria alimentaria.

Palabras Clave: Películas de polisacáridos, Ensayos a tensión, Hidroxipropilmetilcelulosa, Quitosano, Almidón de papa.

ABSTRACT

Sustainable production in the food industry can be achieved when all the elements involved in its production and distribution have a low impact on the environment, which is why the implementation of biodegradable polymers for packaging has been proposed, but conventionally they have presented a lower mechanical resistance with respect to polymers derived from hydrocarbons. This monograph is a systematic bibliographic review with statistical and multicriteria analysis of the research published between 2013-2018, related to the tension mechanical properties of films produced from polysaccharides: chitosan, potato starch and hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), comparing tension stress tests, modulus of elasticity, and deformation to rupture. From the study, it is found that HPMC comparatively presents the best mechanical properties at tension (Tension stress: 32.44 MPa, Deformation to rupture: 17.37%, Module of Elasticity: 305 MPa), followed very closely by the Chitosan (Tension stress: 32.01 MPa; Deformation to rupture: 15.5%; Modulus of elasticity: 303.5 MPa) and finally Potato starch (Tension stress: 10.56 MPa; Deformation to rupture: 11.89%; Elasticity Module: 395 MPa). In the cost-benefit relation, the best option for Colombia is potato starch, since the cost per kilogram of this raw material (COP \$5,920) is cheaper than the import value of Chitosan (COP \$ 368,762) and HPMC (COP \$26,800). It is expected that this monograph will promote the use of alternative raw materials and motivate research in this field in benefit of the environment and the progress of the food industry.

Keywords: PolysaccharidesFilms, Tension tests, Hydroxypropylmethylcellulose, Chitosan, Potato starch.

INTRODUCCIÓN

Los medios de envase y embalaje tradicionales permiten la conservación e inocuidad de los alimentos desde su producción y hasta su disposición al consumidor final. Pero en la actualidad se ha convertido en un riesgo global el uso de polímeros convencionales principalmente por su limitada biodegradación en el ambiente respecto a otros materiales orgánicos (papel) y reutilizables (vidrio), lo cual ha incentivado un cambio en la fabricación de nuevos materiales biodegradables

Las tendencias actuales promueven la implementación de biopolímeros para embalar diversos tipos de productos alimentarios, que tradicionalmente eran conservados en empaques de plástico convencional (Polietileno de alta densidad, polipropileno, entre otros) (Souza, Cerqueira, Martins, & Casariego, 2010). El desarrollo de películas biodegradables o biopolímeros, elaboradas con materias primas obtenidas entre otros de la producción agrícola o recursos del mar (tubérculos como la yuca, caparzones de crustáceos, etc.), poseen propiedades higroscópicas o de barrera para gases únicas (Averous, 2012), que satisface la demanda de consumidores responsables y regulaciones ambientales, (Cutter, 2006).

En la presente monografía se examina el estado actual de las publicaciones científicas, principalmente divulgadas entre los años 2013-2018, mediante una revisión bibliográfica sistemática y análisis multicriterio de la caracterización mecánica a tensión en películas obtenidas de los polisacáridos: quitosano, almidón de papa e hidroxipropilmetilcelulosa - HPMC, siendo las propiedades mecánicas de esfuerzo a tensión, deformación a ruptura y módulo de elasticidad, de gran importancia para garantizar una adecuada resistencia de las películas en aplicaciones de embalaje en alimentos. La revisión bibliográfica sistemática facilitó la obtención del estado actual de las publicaciones bajo los criterios mencionados y permite una trazabilidad de la información derivada del estudio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA

La industria de alimentos hace un amplio uso de empaques o embalajes de materiales no reciclables, que pueden tardar muchas décadas e incluso siglos en descomponerse (Pongrácz, 2007). Los biopolímeros y principalmente los polisacáridos como la quitina, celulosa y almidones, son una alternativa viable para la substitución de los polímeros tradicionales provenientes de hidrocarburos, degradándose en un corto periodo de tiempo, y proporcionando la conservación de los alimentos. Las propiedades mecánicas de resistencia a tensión, deformación a ruptura y módulo de elasticidad, reflejan algunas de las características requeridas en la producción de embalajes resistentes a condiciones habituales, siendo diferente para cada uno de los polisacáridos de estudio.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿A partir de la búsqueda bibliográfica, cuál de los polisacáridos: almidón de papa, hidroxipropilmetilcelulosa y quitosano, con potencial aplicación en el embalaje de alimentos, presenta las mejores propiedades mecánicas a tensión?

1.3 ANTECEDENTES

En la actualidad existen diferentes publicaciones que estudian las propiedades mecánicas y físico-químicas de diferentes polisacáridos, entre otras aplicaciones, para la fabricación de embalajes y empaques biodegradable, siendo de interés en la actualidad la combinación de micro y nano compuestos naturales de relleno dentro de una matriz polimérica, como por ejemplo en la investigación de Simkovic (2013), lo planteado por Coelho (y otros, 2017) en la que se estudia la estimulación de campos eléctricos a películas de almidon-celulosa y sus efectos sobre el comportamiento mecánico de estas películas, o el trabajo de Akhtar (y otros, 2013) quienes evalúan el comportamiento de películas de HPMC expuestas a diferentes condiciones de luz. Sin embargo, no existe ningún estudio bibliográfico sistemático que haya recopilado información para explorar y analizar el comportamiento mecánico a tracción de películas de los polisacáridos: almidón de papa, hidroxipropilmetilcelulosa y quitosano, dirigidos al embalaje de alimentos, y evaluar entre estos materiales el mejor comportamiento de resistencia a tracción, deformación y módulo de elasticidad.

2. JUSTIFICACIÓN

Gran parte de los alimentos producidos a nivel mundial son transportados mediante embalajes de plástico derivados de hidrocarburos, que permite la inocuidad y protección del producto hasta llegar al consumidor, del 37% de los polímeros producidos para embalaje, un 69% se destina a la industria de alimentos (Pongrácz, 2007), pero esta tendencia ha ocasiona progresivamente un gran riesgo para el ambiente debido principalmente a los altos niveles de “CO₂” por la quema de estos polímeros al final de su ciclo de vida (Navia, Ayala, & Villada, 2014), la acumulación de empaques en rellenos sanitarios y cuerpos de agua (Azeredo, Miranda, Ribeiro, Rosa, & Nascimento, 2012).

Con el fin de cambiar las tendencias en el uso de plásticos convencionales se promueve desde los centros de investigación académica y la industria, la introducir de polímeros naturales o biopolímeros provenientes de fuentes renovables para la fabricación de envases y embalajes con un alto potencial de degradación en el ambiente y una menor generación de emisiones de “CO₂” (Lordanskii, y otros, 2018), brindando condiciones de biocompatibilidad con los alimentos, todo esto reflejado por el creciente número de investigación clasificadas en el portal de Scopus (2018), donde cada año aumenta las publicaciones generadas en un promedio anual de 11%, para un total de 23.793 artículos (Entre los años 1986 y 2017), liderado principalmente por EEUU, China y Alemania, y la aprobación de aproximadamente 1200 patentes en los últimos 10 años (Patentscope, 2018).

El interés de la presente investigación se centra en comparar la información obtenida de artículos científicos publicados entre los años 2013 y 2018, sobre la resistencia mecánica a tracción o tensión de las películas de los polisacáridos almidón de papa, quitina e hidroxipropilmetilcelulosa - HPMC, por su alto interés investigativo en el embalaje, transporte y conservación de alimentos, y de esta forma identificar el potencial uso de estos embalajes para la sustitución de empaques producidos con polímeros convencionales, siendo la resistencia mecánica a tracción uno de los principales factores en la protección de los productos durante su transporte, debido a que los embalajes deberán resistir el peso del producto.

La síntesis de toda la información propuesta anteriormente permitirá a los futuros desarrolladores y/o empresas de productos de embalaje para el sector alimentario, ampliar el rango de materias primas que puede seleccionar para la obtención de películas y también elegir dentro de esta gama de materiales, la resistencia mecánica idónea para proteger los alimentos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar el comportamiento mecánico a tracción de películas elaboradas con polisacáridos utilizadas en el embalaje de productos alimenticios, mediante la revisión bibliográfica especializada.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer el estado del arte en cuanto a la elaboración y condiciones de caracterización mecánica de películas obtenidas de los polisacáridos: hidroxipropilmetilcelulosa, almidón de papa y quitosano.

Presentar la información derivada de bases de datos científicos, registrados principalmente entre los años 2013 y 2018, sobre propiedades mecánicas a tracción de las películas elaboradas con los polisacáridos seleccionados, mediante una revisión sistemática.

Comparar la información recopilada de las propiedades mecánicas a tracción de los polisacáridos seleccionados, mediante un análisis multicriterio.

4. MARCO TEÓRICO

Un empaque o embalaje se define como “un medio seguro y rentable para la distribución de productos” (Elizondo, Baudrit, & Gallo, 2011), las principales funciones de un emabalaje se centra en: proteger el producto ante efectos mecánicos de transporte o manipulación, contención en función de la naturaleza del producto, prevención contra efectos microbiológicos y/o químicos, entre otros (Marsh & Bugusu, 2007). Para su fabricación en la industria alimentaria se utilizan materiales tradicionales como el plástico, por su amplia versatilidad, bajo costo, resistencia a los agentes ambientales, alta relación de peso-volumen y resistencia mecánica (Bastioli, 2001). Los empaques plásticos son comúnmente elaborados con polímeros como el cloruro de polivinilo (PVC), polietilen-tereftalato (PET), polipropileno (PP), polietileno (PE) y poliestireno (PS) (Peelman, Ragaert, DeMeulenaer, Adons, & Peeters, 2013), monómeros que presentan una alta resistencia a la degradación en el ambiente, debido a modificaciones químicas durante la polimerización u otras etapas del proceso (Elizondo, Baudrit, & Gallo, 2011).

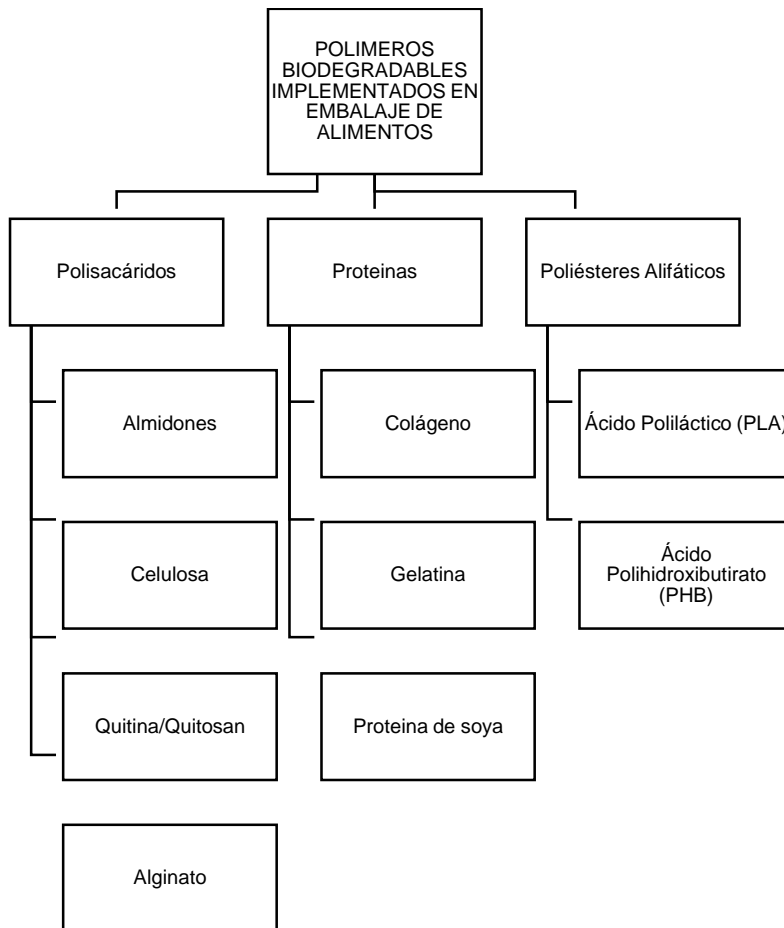
De acuerdo a las cifras reportadas por Novo (2009), cada minuto a nivel mundial la humanidad consume un millón de bolsas plásticas, que pueden tardar hasta 500 años para su degradación (Gross & Kalra, 2002), generando problemas medio ambientales por su acumulación, incidiendo considerablemente en la muerte de fauna marina y terrestre, entre otras consecuencias.

4.1. Biopolímeros

Los biopolímeros son principalmente macromoléculas sintetizadas por seres vivos, cuya principal alcance en la industria del envase y embalajes se centra en desempeñar las mismas funciones que cumplen los polímeros sintéticos, en cuanto a sus propiedades mecánicas y condiciones de barrera de gases, junto con una alta biodegradabilidad y biocompatibilidad con los productos alimenticios a conservar (Seniha-Güner, Yağcı, & Erciyas, 2006). El término de biodegradabilidad se aplica a aquellos polímeros que son descompuestos mediante la ruptura de sus enlaces a través de microorganismos, hasta obtener los componentes básicos en forma de dióxido de carbono, agua, material orgánico y metano (Avérous, 2012), siendo posible controlar su velocidad de degradación definiendo entre otros los rangos de temperatura, oxígeno y humedad (Elizondo, Baudrit, & Gallo, 2011). Los polímeros biodegradables se pueden clasificar en aquellos obtenidos por fuentes vegetales o biomasa animal (entre los que se encuentran los polisacáridos y proteínas), combinaciones de estos compuestos (Vieira, AltenhofenDaSilva, OliveiraDosSantos, & Beppu, 2011), polímeros convencionales derivados del petróleo (como por ejemplo

el ácido poliláctico - PLA), y los biopolímeros producidos por microorganismos (como la celulosa o el xantano) (Mensitieri, Di-Maio, Buonocore, Nedi, & Oliviero, 2011). En la Figura 1 se muestra en detalle esta clasificación.

Figura 1 Clasificación de biopolímeros



Fuente: Gabor & Tita, 2012

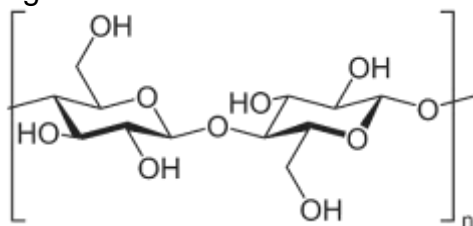
Los polisacáridos de celulosa, almidón y quitina, o proteínas de caseína, colágeno, soya y suero de leche, son utilizados en el envasado y empaquetamiento de alimentos, convirtiéndose en una buena opción para el remplazo de polímeros tradicionales (Grujic, Vukic, & Gojkovic, 2017). El procesamiento de biopolímeros en la obtención de diferentes tipos de empaques o embalajes, implementa las mismas tecnologías aplicadas para el procesamiento de polímeros sintéticos, como: extrusión, soplado e inyección (Villada & Acosta, 2007). Una de las principales fuentes potenciales de biopolímeros se encuentra en cultivos de plantas de alto rendimiento productivo (maíz, papa, madera, entre otros), de las que se extraen almidones y celulosa (Vroman & Tighzert, 2009).

Los biopolímeros basados en lípidos, como la cera de abejas y surfactantes, se aplican en el desarrollo de revestimientos comestibles para frutas (Vargas, Pastor, Albors, Chiralt, & González-Martíne, 2008), como también el quitosano, celulosa, alginato, pectina, y principalmente almidones de papa, yuca y maíz, cuya obtención se destaca por su bajo costo, fácil procesamiento y biodegradabilidad (Cagri, Ustunol, & Ryser, 2004), por ello una gran parte de las investigaciones de biopolímeros se han centrado en el estudio de los almidones (Tabi, Sajo, Szabo, Luyt, & Kovacs, 2010). A su vez, los biopolímeros obtenidos de proteínas como los colágenos, gelatinas, suero de leche, caseína, proteína de soja y gluten de trigo se han implementado para envolver salchichas y otros productos cárnicos (Wang & Padua, 2005). A continuación, se describe las principales características de algunos polisacáridos.

4.1.1. Celulosa

La celulosa es el principal componente de algas verdes y paredes celulares de plantas, conformado por la unión de β -glucosa con enlaces β -1,4-O-glucosídicos en una estructura lineal y rígida se forma de grupos OH con puentes de hidrogeno (Ver Figura 2), y entre otras fuentes es posible encontrar un contenido del 90% de celulosa en el algodón y en la madera entre 40-50% (mezclado principalmente con lignina) (Coffey, A., & A., 1995). La celulosa es inmiscible con otras sustancias, por lo cual se suele procesar mediante tratamientos alcalinos en éteres de celulosa, obteniendo: multicelulosa (MC), hidroxipropilcelulosa (HPC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y carboximetilcelulosa (CMC) (Klemm, Heublein, Fink, & Bohn, 2005). Los éteres de celulosa, como por ejemplo, la hidroxipropilmetilcelulosa y metilcelulosa tienen amplias aplicaciones en la industria alimentaria por su formación de geles termorreversibles, (J.J. & O., 1999).

Figura 2 Molécula de Celulosa

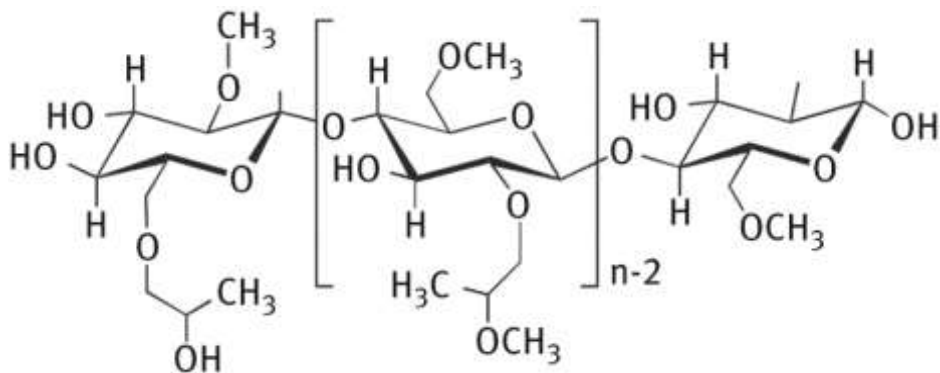


Fuente: Klemm, Heublein, Fink, & Bohn, 2005

Las cadenas de hidroxipropilos y grupos metilos conforman la estructura de la HPMC (Ver Figura 3), usado tradicionalmente en alimentos, como estabilizantes para aumentar la vida útil en anaquel y conservados en refrigeración, como medio para controlar la pérdida de humedad y absorción de aceites durante la cocción de frituras (Akiyama, Kashimoto, Fukuda, Suzuki, & Kitsuki, 2005). Debido a sus propiedades

mecánicas y de barrera frente a gases, se ha estudiado el uso de la HPMC para la producción de películas en el recubrimiento de alimentos, mejorando el efecto de la permeabilidad del vapor de agua (Park & Chinnan, 1995). También se ha podido comprobar que el HPMC presenta mejores propiedades mecánicas de esfuerzo a tensión y módulo de elasticidad, en comparación con el CMC (Nemazifard, Kavooosi, Marzban, & Ezedi, 2017).

Figura 3: Molécula de HPMC

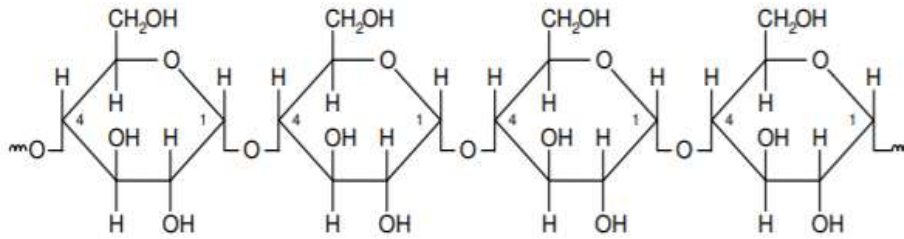


Fuente: Coffey, A., & A., 1995

4.1.2. Almidones

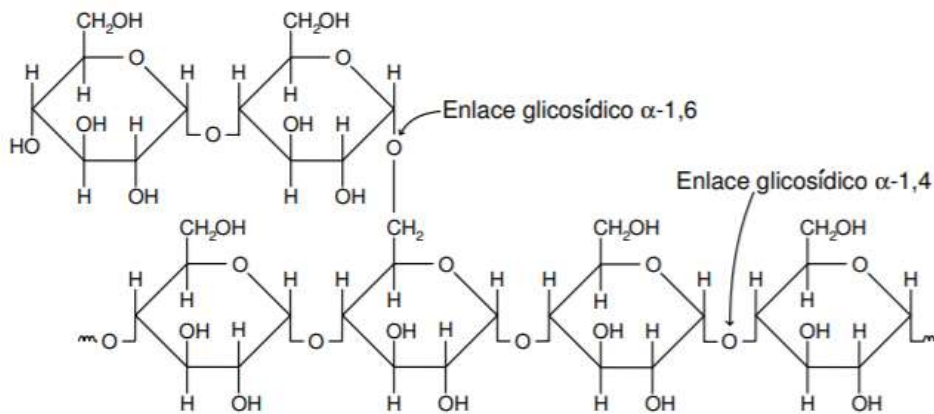
Los granos de almidón están compuestas por macromoléculas de amilosa (Figura 4) y amilopectina (Figura 5), en diferentes proporción según el almidón utilizado, aunque se suele generalizar en una distribución de 25% de amilosa y 75% amilopectina en el caso del almidón de papa (Valero-Valdivieso, Ortegón, & Uscategui, 2013). La amilosa es soluble en agua caliente, está constituida por estructuras en forma de hélice de 200 a 20.000 moléculas de glucosa, unidas por enlaces α - 1,4, con un peso molecular entre 0,1 a 1×10^6 g/mol (Wolfe, 1996). Por su parte la amilopectina presenta enlaces glicosídicos α - 1,4 y α - 1,6, con ramificaciones que contienen de 10.000 a 20 millones de moléculas de glucosa y un peso molecular entre 1×10^4 y 1×10^9 g/mol. La principal característica de la amilopectina es la capacidad de cristalización, mientras la parte amorfa del almidón se compone de ramificaciones de amilosa y amilopectina, estas dos variables, junto con el peso molecular y proceso de conformado del polímero, afectan las propiedades mecánicas del biopolímero producido (Wolfe, 1996).

Figura 4: Molécula de amilosa.



Fuente: Avilés, 2006

Figura 5: Molécula de amilopectina



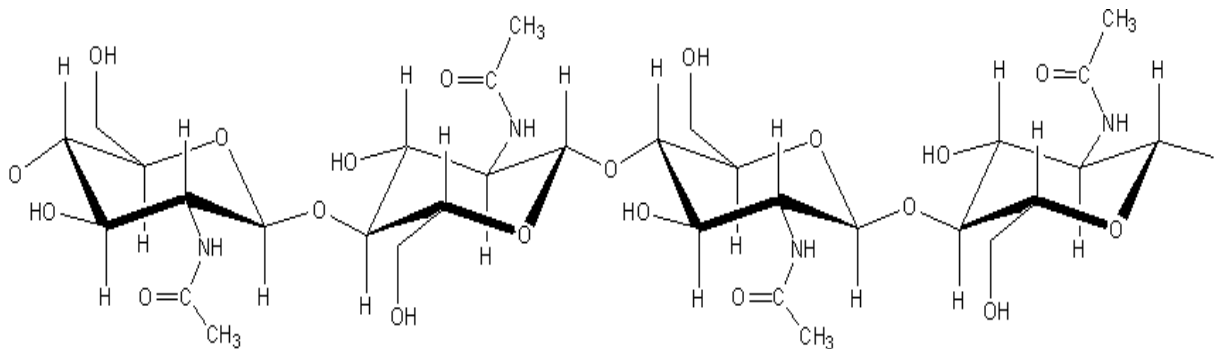
Fuente: Avilés, 2006

La papa es un tallo subterráneo o tubérculo, con un alto contenido de agua, es uno de los alimentos primordiales de la humanidad y es ampliamente usado en la producción de almidón a escala industrial, principalmente por su reducida retrogradación y temperatura de gelatinización, respecto a otros almidones (Hoover, 2010), alterando su estructura molecular, morfología (tamaño de grano), contenido de amilosa y amilopectina, según la variedad de papa seleccionada, lo cual a su vez afecta su comportamiento en potenciales aplicaciones como el desarrollo de biopolímero (Šimkova, Lachman, Hamouz, & Vokal, 2013).

4.1.3. Quitosano

El quitosano es derivado de la quitina, material que forma parte de los exoesqueletos o caparazón de muchos insectos, crustáceos, hongos y moluscos, suministrando una función de soporte estructural a estos organismos (Rinaudo, 2006). La fórmula química de la quitina es $C_8H_{13}O_5N$ (Ver Figura 6), y se caracteriza por su color blanco, alta dureza, insolubilidad en agua, alto grado de cristalinidad y cadenas orientadas de forma paralela al igual que la celulosa (Várum & Smidsrad, 1995).

Figura 6: Molécula de Quitina

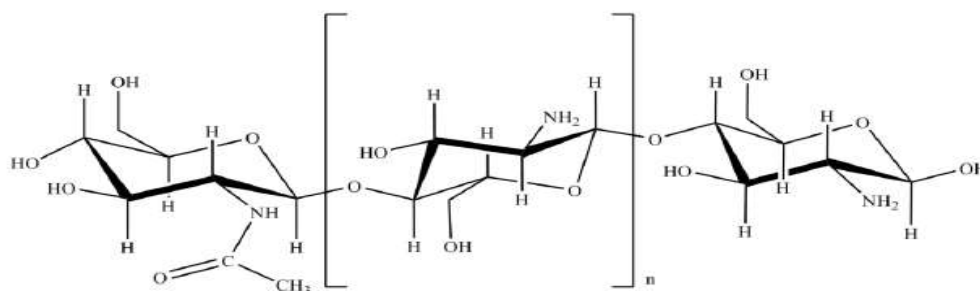


Fuente: Várum & Smidsrad, 1995

Para la obtención del quitosano, se requiere procesar el exoesqueletos de crustáceos con molinos hasta convertirlo en polvo, luego se suministra una etapa de hidrolisis acida por medio de soluciones de ácido clorhídrico - HCl e hidróxido de sodio - NaOH, o mediante hidrolisis por bacterias ácidas-lácticas en fermentadores para recuperar la proteína, eliminando las impurezas inorgánicas, decoloración de la proteína y una etapa de desacetilación químico o enzimático, obteniéndose el quitosano con un grado de desacetilación de 60% o el quitano con un grado de 100% (C. Lárez-Velásquez, 2006).

El quitosano está conformado por cadenas 2-N-acetil-D-glucosamina y 2-D-glucosamina unidas por enlaces β (1-4), obtenido a partir de la quitina mediante procesos termo alcalinos, siendo la etapa de acetilación la que otorga la característica viscosa y solubilidad en medios ligeramente ácidos o soluciones neutras (Vasnev, Tarasov, Markova, Vinogradova, & O. Garkusha, 2006). En la "Figura 7" se muestra la molécula de quitosano.

Figura 7: Molécula de Quitosano



Fuente: Várum & Smidsrad, 1995

4.2. Elaboración de películas biodegradables

A partir del año 1990 se ha intensificado las investigaciones en la obtención de películas de polisacáridos, por provenir de fuentes abundantes y renovables, con las cuales remplazar los polímeros convencionales implementados en el embalaje de alimentos, proceso que ha evolucionado hasta la actual incorporación de plastificantes (para mejorar las propiedades mecánicas elásticas, como el glicerol o sorbitol), micro componentes, materiales hidrofóbicos (como surfactantes), o incluso la combinación de múltiples polisacáridos para crear compuestos que integran múltiples propiedades (Dominguez-Courney & Jiménez-Munguía, 2012).

Las películas de biopolímeros se producen por lo general, a partir de macromoléculas con un alto peso molecular, lo cual afecta entre otras propiedades la flexibilidad, permeabilidad, fragilidad, porosidad y densidad del biopolímero (Bastioli, 2001). La producción de películas se realiza convencionalmente mediante dos métodos: proceso en seco y proceso en húmedo. En el primero se aprovecha las propiedades termoplásticas de algunos biopolímeros, mezclados con una baja proporción de plastificante, y a una temperatura por encima de la zona de transición vítrea (estado que afecta la porción amorfa del material entre la interface viscosa y rígida), a través de métodos de compresión o extrusores que alteran la red altamente reticular del producto resultante, disminuyendo la solubilidad. Por su parte el proceso en húmedo se caracteriza por una preparación de solución con un alto contenido de humedad u otros disolventes orgánicos (Elizondo, Baudrit, & Gallo, 2011).

Entre las posibles ventajas de las películas de biopolímeros como medio de empaque destaca su biodegradabilidad, propiedades organolépticas y capacidad de incorporar agentes microbianos o suplementos nutritivos (Rhim & Ng, 2007) (Durango, Soares, & Arteaga, 2011). Por lo general los revestimientos y películas son producidos a partir de lípidos (acetil glicéridos, cera de abejas, parafina aceite mineral y vegetal),

proteínas (colágeno, caseína, gelatina, proteínas del suero de queso) y polisacáridos, clasificados en hidrocoloides (polisacáridos o proteínas, con baja permeabilidad al oxígeno, pero alta absorción de agua), lípidos (con baja permeabilidad al agua), y compuestos que combinan las mejores propiedades de las otras biomoléculas (Krochta, Baldwin, & Nisperos-Carriedo, 1994). La selección entre uno u otro material o diversas combinaciones de plastificantes, aceites, pigmentos, antioxidantes y/o agentes microbianos, dependerá de las condiciones a las cuales se someterá la película (Jensen, Lim, & Barbut, 2015).

Los plastificantes afectan las propiedades mecánicas y físicas de los embalajes, por tener un alto punto de fusión, sirviendo como barrera en la permeabilidad del vapor de agua, y en la formación de puentes de hidrogeno, que a su vez reducen las fuerzas intermoleculares en las cadenas de los polímeros, aumentando la flexibilidad y resistencia mecánica, siendo los más implementados el glicerol y sorbitol (Mchugh & Krochta, 1994). El sorbitol presenta las mejores propiedades de barrera de vapor, y la combinación de plastificantes y lípidos aumenta aún más este factor (García, Martino, & Zaritzky, 2000). Se ha demostrado que la adición de aceite de girasol, disminuye la permeabilidad del vapor de agua de embalajes producidos de almidón de maíz (García, Martino, & Zaritzky, 2000). En el caso de los almidones la incorporación de plastificantes tienen por función dotar al polímero termoplástico de puentes de hidrogeno estables y aumentar el espacio inter molecular, aumentando la flexibilidad del almidón (Mali, Sakanaka, Yamashita, & Grossmann, 2005).

En la actualidad existen diversos métodos para la preparación y obtención de estas películas a escala laboratorio o pequeña escala, orientadas a obtener el máximo potencial de polimerización de cada uno de los polisacáridos usados en el proceso, para alcanzar las características de los polímeros convencionales en el embalaje de alimentos, siendo el método más común el vaciado en placa o "casting", por su relativa facilidad en la obtención de películas expuestas a diversas condiciones (Orozco, 2017). A continuación, se presenta un resumen de los métodos convencionales para la obtención de películas de los polisacáridos seleccionados.

4.2.1. Películas de Quitosano

Para la obtención de las películas usualmente se toma como materias primas: el quitosano en polvo (con un grado estandarizado de desacetilación de la quitina), Ácido acético (en diferentes calidades, por ejemplo: 95%) y opcionalmente un plastificante (glicerol y/o agua)

La preparación sugerida por Thakhiew, Champahom, Devahastin, & Soponronnarit (2015), establece disolver 1,5% (w/v) o también 1,5 % "w/w" de quitosano según Sogut & Seydim (2018), en ácido acético al 1% (v/v), luego mezclarlo con una agitación de 700 RPM por 6 horas. Posteriormente se agrega el glicerol, por ejemplo al 25% v/v del

quitosan o al 0,3% (w/w) según Sogut & Seydim (2018), y nuevamente se agita a 700 RPM por 1 hora.

En el anterior procedimiento es posible incluir una etapa de centrifugación adicional y estabilización para la eliminación de burbujas. Se vierte la solución en un molde (usualmente una placa de acrílico, Teflón® o vidrio), a condiciones de temperatura ambiental (20-25°C) o controlada (por ejemplo: 40 ° C), desecando durante 48 horas. Finalmente se hace el desmolde de la película y se caracteriza sus propiedades mecánicas. El resumen del proceso se muestra en la figura 8, (Thakhiew, Champahom, Devahastin, & Soponronnarit, 2015).

Figura 8: Proceso para la obtención de películas de quitosano



Fuente: Thakhiew, Champahom, Devahastin, & Soponronnarit (2015)

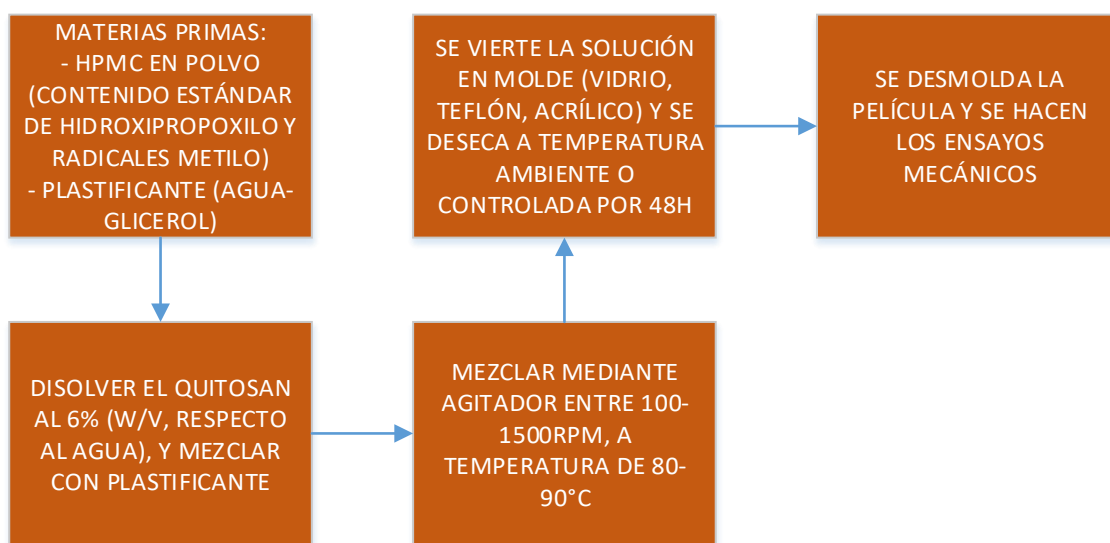
4.2.2. Películas de Hidroxipropilmetilcelulosa - HPMC

Las principales materias primas para la obtención de las películas son: HPMC en polvo (con un contenido estándar de hidroxilpropoxilo y radicales de metilo) y plastificante (glicerina y/o agua).

Según el método usado por (Fahs, Brogly, Bistac, & Schmitt, 2010), se prepara la mezcla de plastificante (como agua destilada o desionizada) y HPMC en una solución al 6% w/v, o también 15% (w/w) según Zhang (y otros, 2018), mediante una plancha con agitador, a una temperatura de 80-90°C y velocidad de agitación entre 100 (Zhang, Wang, Liu, Yu, Wang, Simon y Qian, 2018) y 1500 RPM (Otoni, Lodi, Lorevice, Leitão, Ferreira, Moura, Mattoso, 2018), posteriormente se acondiciona a una temperatura de 25°C por un periodo de 2 horas, hasta obtener una solución uniforme.

En este punto es posible agregar un 20% de glicerol respecto al contenido en peso del HPMC, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas (Zhang y otros, 2018). Luego para alcanzar el máximo poder de hidratación del HPMC, la solución es preservada a 5°C, aunque otros autores proponen desecarlo a temperatura de 25°C por 24 horas (Otoni, Lodi, Lorevice, Leitão, Ferreira, Moura, Mattoso, 2018). El material es vaciado en una placa de vidrio, y se deja secar a una temperatura específica o temperatura ambiente durante un periodo de 48 horas. Finalmente se hace el desmolde de la película y se realiza la caracterización mecánica. En la figura 9, se presenta el proceso para la obtención de las películas de HPMC, a partir del procedimiento mencionado.

Figura 9: Proceso para la obtención de películas de HPMC



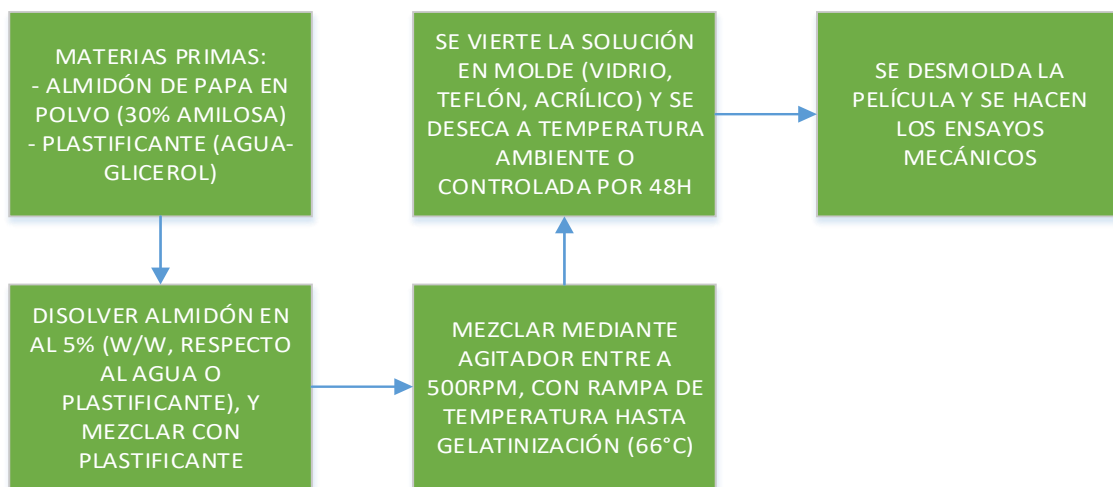
Fuente: Fahs, Brogly, Bistac, & Schmitt (2010)

4.2.3. Películas de Almidón de papa

El proceso para la obtención de películas de almidón, empieza por la formación del gel en presencia de calor y agua u otros plastificantes, que penetran en las regiones amorfas hasta el hinchamiento de los gránulos, hasta la pérdida de la estructura semicristalina; dicho proceso es conocido como gelatinización. Una vez se alcanza la formación del gel, se produce la desestructuración de la mezcla de almidón y plastificante, caracterizada por la formación de una matriz homogénea-amorfa y unión entre los puentes de hidrogeno en las moléculas del almidón. Finalmente ocurre la etapa de retrogradación durante el enfriamiento de la mezcla, con tendencia a un ordenamiento cristalino, manifestado por largos periodos de retrogradación por efecto de la amilopectina y breves periodos por el reordenamiento de la amilosa (Fritz., 1994).

Para la preparación de las películas de almidón de papa, se mezcla por lo general almidón en polvo (con un 30% de amilosa), plastificantes (glicerina, agua, etc.), en proporciones específicas de 5% w/w, aunque puede variar según la aplicación y procedimiento analizado, a una velocidad de 500 rpm, alcanzando la temperatura de gelatinización a 66°C según Farrag y otros (2018). En este punto es posible incluir una proporción de 0,3:1 de glicerina como plastificante, respecto al contenido de almidón (Basiak, Lenart & Debeaufort, 2017). Posteriormente se vierte la mezcla en placas de vidrio, y se acondiciona a una temperatura constante durante un periodo de tiempo, para el caso del ejemplo, por 48h. Para las pruebas mecánicas se desmoldan las muestras y se registran sus dimensiones (espesor, ancho y longitud calibrada). En la figura 10 se presenta el resumen del proceso descrito anteriormente.

Figura 10: Proceso para la obtención de películas de almidón de papa



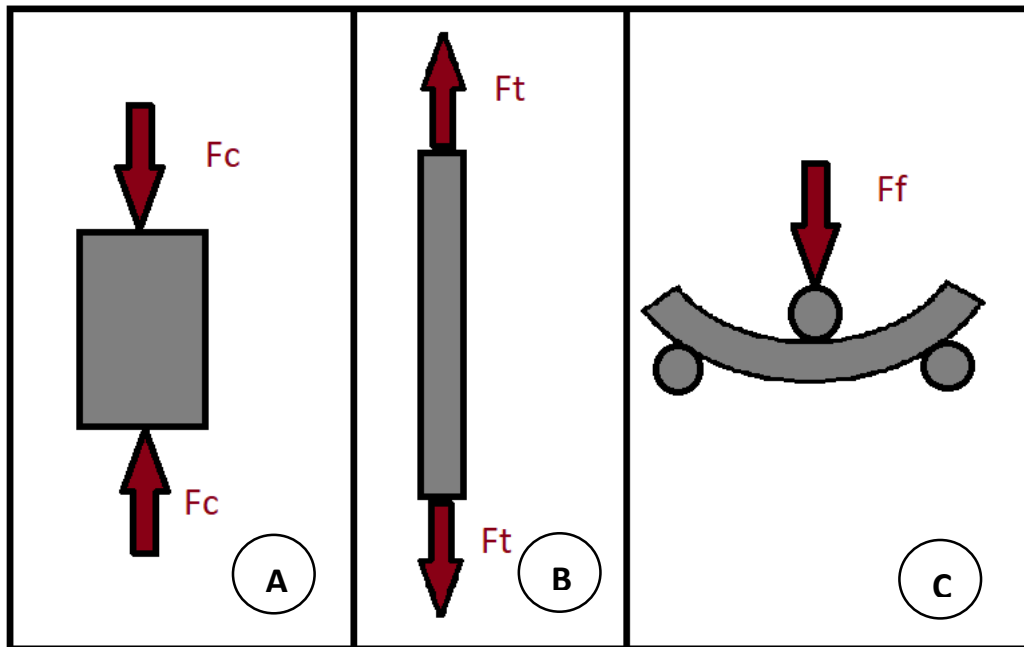
Fuente: Farrag y otros (2018)

Las películas obtenidas de almidón se caracterizan por su bajo costo de producción, y por poseer una buena barrera de gases, hidrosolubilidad y versatilidad en cuanto a la transformación de su comportamiento por procesos químicos; las principales desventajas son: alta densidad y fragilidad ante condiciones de alta humedad (Thiré, Simão, & Andrade, 2003).

4.3. Ensayos Mecánicos a Tracción

La caracterización mecánica de los materiales permite identificar el comportamiento de los polímeros ante diferentes condiciones de esfuerzo, lo cual ayuda a controlar el proceso y calidad de la producción, para diversas aplicaciones y configuraciones de ensayos mecánicos (Smith, 2004). En la siguiente “Figura 11” se muestran los principales ensayos a “A) Compresión”, “B) Tensión o Tracción” y “C) Flexión”.

Figura 11: Principales ensayos para caracterizar la resistencia mecánica de los materiales.

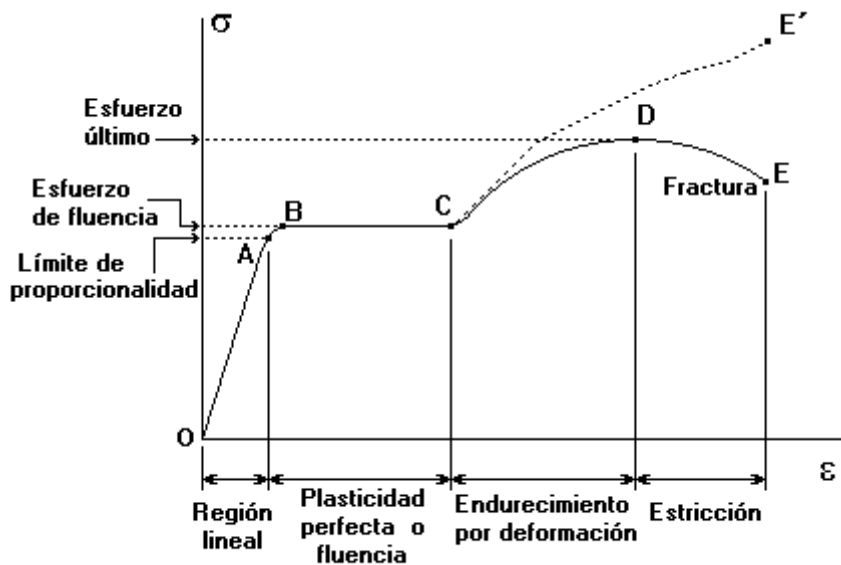


Fuente: Modificado a partir de Smith (2004)

Específicamente los ensayos a tracción o tensión permiten determinar: la deformación y resistencia del material ante una condición de esfuerzo (designado en unidades internacionales como N/mm^2 o MPa), bajo una velocidad o fuerza constante, hasta la fractura o falla de la pieza, obteniéndose curvas de esfuerzo-deformación (Ver Figura 11), de las cuales es posible obtener el módulo de elasticidad, y la deformación a ruptura del material ensayado (Smith, 2004).

Para el ensayo de tracción de biopolímeros y específicamente la caracterización de películas delgadas, los autores de diversas investigaciones (Hulda Mamani Chambi, 2011), aplican el protocolo de pruebas indicado en la norma ASTM D882 (ASTM., 2012), la cual especifica las condiciones de los ensayos de tracción para muestras de polímeros de lámina delgada con espesores menor a 1mm, describiendo el procedimiento de instalación, el tipo de equipo requerido para las pruebas y los alcances o resultados del ensayo; para muestras con espesores mayores se sugiere seguir lo indicado en la norma ASTM D638 (ASTM, 2014).

Figura 12: Curva de Esfuerzo-Deformación de ensayos mecánicos a tensión



Fuente: USevilla, 2018

La norma para muestras de polímeros de lámina delgada define una velocidad de ensayo de 12,5 a 250 mm/min, y sugiere una geometría de muestra tipo rectangular de 250 de largo y 15 mm de ancho. Por su parte la norma ASTM D638 establece la velocidad del ensayo en función de la deformación de las muestras, variando entre 1 a 500 mm/min, y respecto a la geometría de las muestras establece una sección de menor ancho en la zona de longitud calibrada (ASTM, 2014). En Colombia rige la Norma Técnica Colombiana NTC 942: "Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión de láminas plásticas delgadas", la cual es equivalente a la norma ASTM D882 (ICONTEC, 2006).

A continuación se muestra en detalle las principales propiedades que es posible obtener mediante los ensayos mecánicos a tracción.

4.3.1. Módulo de Elasticidad

Como se observa en la Figura 11, la región lineal entre el punto "O" y el límite de proporcionalidad "A", también conocida como zona elástica, se denomina "Módulo de Elasticidad" o "Módulo de Young", cuya pendiente se caracteriza por presentar un comportamiento de deformación constante respecto a la fuerza de tracción a la cual es sometido el material. Dicho valor representa la rigidez del material o resistencia a la deformación elástica, y se define como "la cantidad de deformación contenida

durante la utilización normal del material por debajo de su límite elástico y también como el grado de recuperación elástica del material durante el conformado” (Shackelford, 2005). Dicha linealidad en la zona elástica es una corroboración a partir de la ley de Hook (Ecuación 1), expresada en la siguiente ecuación, y cuya característica principal es la capacidad del material a retornar a su estado original, una vez es liberada la fuerza de tracción.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- σ : Esfuerzo presentado por el material (N/mm²)
- E: Modulo de elasticidad (N/mm²)
- ε : Deformación del material (%)

En las siguientes propiedades se extiende la explicación de estas variables.

4.3.2. Deformación y Esfuerzo de Fluencia

Una vez superado la zona proporcional (ver Figura 11, punto “B”), el material presenta una reducción del esfuerzo, observado en la gráfica del ensayo como un descenso en la pendiente de la curva, lo cual da inicio a la deformación plástica o cuasi permanente del material, cuyos valores de esfuerzo y deformación en dicha ubicación es posible calcular mediante las siguientes ecuaciones (Shackelford, 2005):

Deformación:

$$\varepsilon = (l-l_0)/l_0 * 100 = \Delta l/l_0 * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- ε : Deformación a fluencia del material (%)
- l : Longitud total del material en el punto de fluencia (mm)
- l_0 : Longitud inicial calibrada de la muestra en zona de fluencia (mm)
- Δl : Variación de la longitud al finalizar (mm)

Esfuerzo:

$$\sigma = F / A_0 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- σ : Esfuerzo a fluencia presentado por el material (N/mm²)
- F : Fuerza obtenida en el punto de fluencia (N)
- A_0 : Área transversal inicial de la muestra a ensayar (mm²)

4.3.3. Esfuerzo último o Esfuerzo a Tensión

En la figura 11 se observa que el punto a esfuerzo ultimo "D", es el esfuerzo alcanzado a resistencia o fuerza máxima, determinado convencionalmente con la máquina universal de ensayos mecánico; para obtener la curva de "Esfuerzo-Deformación de ingeniería", se supone un área transversal constante "A₀", pero en realidad a medida

que el material es sometido a una carga de tensión, se deforma tanto la longitud como el área transversal, que es posible trazar como curva de “Esfuerzo-Deformación Verdadera” (Observar en “Figura 11”, en la línea punteada de “C” a “E”). Para el caso de la caracterización de los polisacáridos ante esfuerzos últimos o máximos será considerada la curva de “Esfuerzo-Deformación de ingeniería”, cuya ecuación se muestra a continuación (Shackelford, 2005):

$$\sigma_{\max} = F_{\max} / A_0 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- σ_{\max} : Esfuerzo máximo presentado por el material (N/mm²)
- F_{\max} : Fuerza máxima (N)
- A_0 : Área transversal inicial de la muestra a ensayar (mm²)

4.3.4. Esfuerzo y deformación a ruptura

Una vez la muestra sometida a una prueba de tensión falla hasta su rotura, se habla de esfuerzo a fractura o rotura, cuya deformación es la máxima posible que puede alcanzar el material (Observar “Figura 11”, punto “E”). Para algunos materiales frágiles o elastómeros, el esfuerzo máximo coincide con el esfuerzo a fractura. La obtención esfuerzo y deformación a rotura se consigue a partir de las siguientes ecuaciones (Shackelford, 2005):

$$\sigma_{\text{roturaa}} = F_{\text{rotura}} / A_0 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- σ_{roturaa} : Esfuerzo de rotura (N/mm²)

- F_{rotura} : Fuerza en punto de fractura o falla del material (N)
- A_0 : Área transversal inicial de la muestra a ensayar (mm^2)

$$\epsilon_R = (l_f - l_0) / l_0 * 100 = \Delta l / l_0 * 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- ϵ_R : Deformación a ruptura (%)
- l_f : Longitud total del material en el punto de rotura (mm)
- l_0 : Longitud inicial calibrada (mm)
- Δl : Variación de la longitud en el punto de rotura (mm)

5. BÚSQUEDA Y CLASIFICACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La principal inquietud a responder con la presente monografía se centra en identificar entre los polisacáridos: quitosano, HPMC y almidón de papa, aquel que presenta las mejores propiedades mecánicas a tensión, por lo cual se establece una búsqueda bibliográfica sistemática (Phillips, Epps, Johnson, & Zwicky, 2018), que consiste en la implementación de un método de exploración de un conjunto de bases de datos científicas o repositorios, previamente establecidas a nivel nacional y mundial, cuyas publicaciones de revistas contengan información pertinente entorno a las principales propiedades mecánicas a evaluar (Esfuerzo a tensión, deformación a ruptura y módulo de elasticidad). Posteriormente mediante diferentes filtros se consiguen aquellos artículos que presentan relación con el tema de análisis, y así extraer los datos de interés para el estudio.

5.1. Condiciones de búsqueda sistemática

Para identificar el estado actual de la caracterización mecánica a tensión, de los tres polisacáridos seleccionados (hidroxipropilmetilcelulosa, almidón de papa y quitosano), aplicado en embalajes de alimentos, y publicados en rango de tiempo 2013-2018, se hace la búsqueda en las plataformas de SCOPUS (conjunto de artículos globales y artículos producidos en Colombia)¹, ScieceDirect², y los repositorios de publicaciones nacionales en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD³, Universidad Nacional de Colombia – UNAL⁴ y Scielo⁵ (artículos generados en Colombia), implementando diferentes ecuaciones de búsqueda, cuyos mejores resultados para cada tipo de polisacárido se muestra a continuación, junto con el análisis de la información obtenida.

Se establece un rango de búsquedas de 30 a 150 artículos en el portal ScienceDirect, para cada tipo de polisacárido debido al alto volumen de publicaciones encontradas y para centrar la información al objeto de estudio de interés en esta monografía. De la misma forma para las demás plataformas se examina progresivamente diferentes criterios de búsqueda, con el fin de encontrar el mayor número de estudios enfocados al tema tratado. Para cada caso se muestra la ecuación de búsqueda implementada.

¹ <https://www.scopus.com/>

² <https://sciencedirect.com>

³ <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co>

⁴ <https://revistas.unal.edu.co>

⁵ <https://search.scielo.org/>

5.1.1. Quitosano

Para el caso del quitosano o chitosán se estableció en SCOPUS y ScienceDirect el criterio de búsqueda: “Mechanical AND (Films OR Film) AND Chitosan AND (Packing OR Packaging)”, en la lista de “título, resumen y palabras clave”, encontrando un total de 277 documentos en SCOPUS y 144 en ScienceDirect, distribuidos anualmente según SCOPUS como se observa en la Figura 13.

Figura 13: Curva investigativa de caracterización mecánica del quitosano, entre los años 2013-2018



Fuente: Scopus

Según la plataforma de búsqueda SCOPUS, el país con el mayor número de publicaciones producidas en el tema de pruebas mecánicas a películas de quitosano, es actualmente China con 64 documentos, seguido por India con 33 e Irán con 22. Las dos áreas principales de difusión son las ciencias Químicas (117 documentos) y la Ciencia de los materiales (110 documentos). Bajo este criterio de búsqueda se pudo comprobar que Colombia ha divulgado un total de 5 publicaciones.

En el portal Scielo se utilizó la ecuación: " chitosan AND in:("col") AND year_cluster:("2017" OR "2015" OR "2016" OR "2014" OR "2013" OR "2018")", obteniendo un total de 27 documentos. Cuando se cambia el criterio de búsqueda de “chitosan” por “quitosano”, se obtiene un menor número de publicaciones (23), contenidas dentro del criterio anterior.

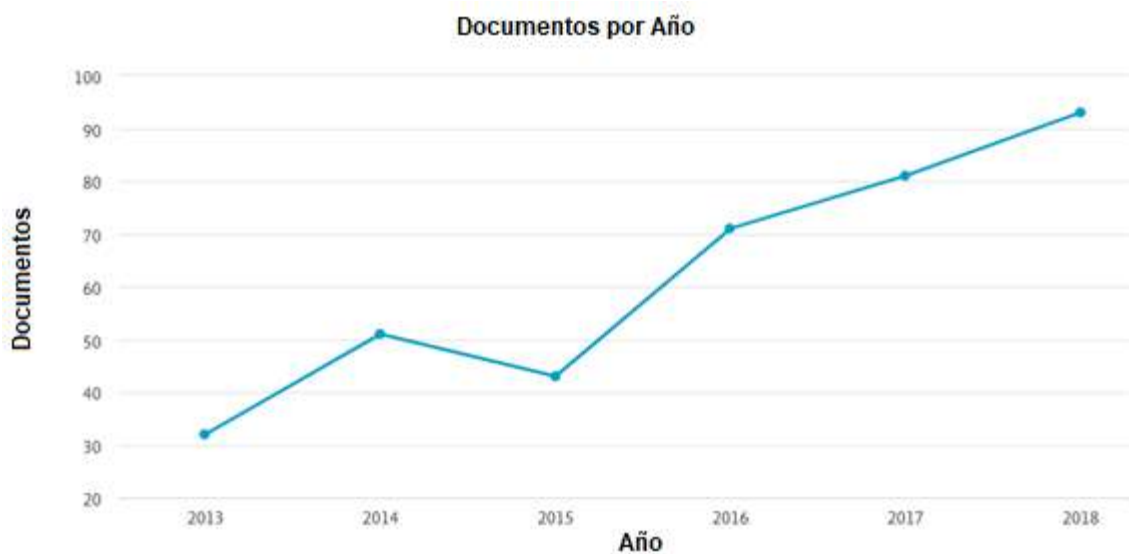
En el portal de la UNAD, no se encontraron documentos relacionados con las palabras “chitosan AND film” o “chitosano AND película”, dentro del título o palabras clave opcionales en la plataforma. Con el criterio “chitosano” se encontraron 3 documentos.

En el repositorio de revistas de la UNAL, la ecuación: “(film OR films) AND chitosan”, ofrece un total de 20 documentos. Su traducción en español (“chitosano AND película”), no entrega ningún resultado.

5.1.2. Hidroximetilpropilcelulosa - HPMC

Para el caso de la hidroximetilpropilcelulosa, HPMC o en forma más general celulosa, se establece inicialmente como criterio de búsqueda la ecuación: “TITLE-ABS-KEY (mechanical AND (films OR film) AND (hpmc OR hidroxipropilmetilcelulose OR cellulose) AND (packing OR packaging))”, obteniendo un total de 371 artículos en SCOPUS y 157 en Science Direct, distribuidos anualmente como se observa en la Figura 14, cuya sub área principal es la ciencia de los materiales, liderando su producción por China (80), India (35) y EEUU (35). Resaltan 3 artículos publicados en Colombia, pero al ajustar la ecuación con el filtro: “mechanical AND (films OR film) AND (hpmc OR hidroxipropilmetilcelulose OR cellulose) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Colombia"))” se obtiene un total de 10 documentos generados en Colombia.

Figura 14: Curva de tendencia investigativa de caracterización mecánica del HPMC, entre los años 2013-2018



Fuente: Scopus

Para delimitar el resultado de los artículos en ScienceDirect, se eliminan los criterios: “cellulose” y “packing OR packaging”, obteniendo 49 documentos en Science Direct, incorporados en la fase inicial del estudio bibliográfico.

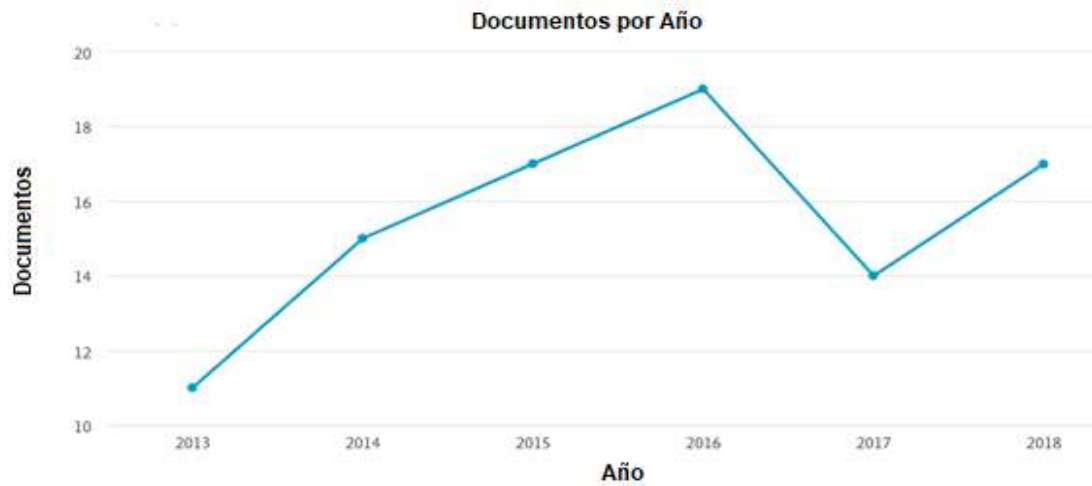
A nivel nacional el portal Scielo presenta un total de 13 documento, derivados a partir de la siguiente ecuación: (“hpmc” OR “hidroxipropilmetilcelulose” OR “cellulose”) AND (“film” OR “films”) AND in:(“col”) AND year_cluster:(“2017” OR “2015” OR “2016” OR “2014” OR “2013” OR “2018”) AND in:(“col”) AND year_cluster:(“2017” OR “2015” OR “2016” OR “2014” OR “2013”).

El repositorio de la UNAD contiene 1 documento con la palabra “cellulose AND film”, mientras el repositorio de revistas de la UNAL presenta 22 con el mismo criterio de búsqueda.

5.1.3. Almidón de papa

Mediante la ecuación “Mechanical AND (Films OR Film) AND (Potato AND Starch)”, se encontraron 92 documentos en SCOPUS, distribuidos anualmente como se observa en la Figura 15, de los cuales 2 pertenecen a Colombia, pero también destacan los siguientes tres países en publicaciones: Polonia (18), China (13) y Brasil (9). Resultaron 36 artículos con el mismo criterio de búsqueda en el portal de ScienceDirect. Mientras en la UNAD se estableció como criterio “starch AND film”, obteniendo 1 documento. En el repositorio de revistas de la UNAL se hallaron 7 artículos con la ecuación “potato AND starch AND film”. Mientras en el portal Scielo se encontraron 3 artículos con la ecuación: (“hpmc” OR “hidroxipropilmetilcelulose” OR “cellulose”) AND (film OR films) AND in:(“col”) AND year_cluster:(“2017” OR “2015” OR “2016” OR “2014” OR “2013” OR “2018”) AND in:(“col”) AND year_cluster:(“2017” OR “2015” OR “2016” OR “2014” OR “2013”).

Figura 15: Curva de tendencia investigativa de caracterización mecánica del almidón de papa, entre los años 2013-2018



Fuente: Scopus

De los anteriores gráficos destaca una mayor cantidad de investigaciones realizadas sobre las propiedades mecánicas a películas de quitosano y celulosa, frente a las publicadas de almidón de papa. También se observa un mayor número de artículos de investigación entre los años 2015 y 2016.

5.2. Fases de refinamiento de la información

Mediante los criterios de búsqueda planteados anteriormente, se obtuvieron un conjunto amplio de documentos de investigación (Tabla 1), para los materiales de interés:

Tabla 1: Revisión preliminar de artículos

Repositorio	Quitosano	HPMC	Almidón de papa
Science Direct	144	49	36
Scielo (Filtro: Colombia)	23	13	3
SCOPUS (Filtro: Colombia)	27	3	2
UNAD	0	3	7
Revistas UNAL	20	22	7
Total	214	90	55

Fuente: elaboración propia

Luego se examina cada uno de los documentos en búsqueda de corroborar preliminarmente la pertinencia sobre el tema de interés y la trazabilidad en la metodología implementada para la caracterización de las muestras. A partir de estas condiciones se obtiene el siguiente número de documentos (Tabla 2), del portal Science Direct y la compilación de investigaciones producidas a nivel nacional:

Tabla 2: Resultados del segundo filtro bibliográfico

Material	Quitosano	HPMC	Almidón de papa
Science Direct	117	23	29
Colombia	7	7	2
Total	124	30	31

Fuente: elaboración propia

5.3. Clasificación bibliográfica

Una vez seleccionados los documentos, se recopila la información base para la comparación de los ensayos mecánicos a tensión entre los diferentes polisacáridos y las referencias elementales de la publicación para futuras investigaciones, basado en las siguientes categorías:

- Información Básica: Nombre del artículo, autores, año de publicación, revista, volumen-numero.
- Información Ensayos Mecánicos a Tensión: Tipo de caracterización (Esfuerzo a tensión, Deformación a Ruptura y/o Módulo de Elasticidad), norma implementada, equipo usado para la prueba, velocidad de ensayos, condiciones ambientales y resultados obtenidos.

De las condiciones de búsqueda anterior, fue posible encontrar un gran número de publicaciones con inconsistencias o los cuales no presentaban la información mínima para incorporarlos dentro del estudio, obteniendo finalmente el siguiente conjunto de resultados presentados en la Tabla 3:

Tabla 3: Resultados del tercer filtro bibliográfico

Fuente	Quitosano	HPMC	Almidón de papa
Science Direct	71	17	17
Colombia	5	0	1
Total	76	17	18

Fuente: elaboración propia

Este conjunto de publicaciones fueron implementados para el análisis cualitativo-gráfico, estadístico descriptivo, análisis multicriterio y costo-beneficio, presentado en el siguiente capítulo.

En el documento anexo (Anexo 1), se muestra el conjunto de referencias de los artículos para el último filtro, en función de la búsqueda y clasificación descrita en el presente capítulo.

6. PONDERACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.1. Resultados preliminares de polisacáridos seleccionados

En la siguiente Tabla 4, se presenta la información extraída de los diferentes artículos, sobre las propiedades de esfuerzo a tensión - TS (por sus siglas en inglés), deformación a ruptura – EB, y Módulo de Elasticidad – ME, de los polisacáridos Quitosano (C), Hidroxipropilmetilcelulose-HPMC (H) y Almidón de papa (P), lo cual se complementa con la información global obtenida de los artículos y presentado en el Anexo 1. Los artículos con código terminado en “-col”, son fuentes de información generados en Colombia.

Tabla 4: Resumen de la caracterización mecánica por cada artículo seleccionado

Artículo	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)	NOTAS	Artículo	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)	NOTAS
C1	50,96	14,1	1307,03		C71	61,82	4,59		10.01
C2	29,9	5,32	9,68		C71	43,41	11,14		10.02
C3	9,45	4,86	3610		C71	31,89	30,51		10.03
C4	16,74	50,81	113,65		C71	68,47	15,37		10.04
C5	11,5	58			C71	43,6	17		10.05
C6	19	72			C71	37,93	20,58		10.06
C7	21,07	33,84	97,05		C71	55,83	4,58		10.07
C8	31,78	20,71			C71	36,85	27,34		10.08
C9	65,5	3,2			C71	23,87	37,67		10.09
C10	32,3	21,4	1680		C71	53,98	8,5		10.10
C11	52,22	2,22	3221,2		C71	38,25	10,12		10.11
C12	36,7	21,58			C71	32,01	17,23		10.12
C13	27,23	3,73	1346,82		C72-col	30,55		98,9	
C14	33,8	2,1	42,8		C73-col	1,697	27,322	6,419	
C15	13,97	16,58	554,25		C74-col	32,4	8,4	22,7	
C16	27,13	28			C75-col	3,3	0,57	4,5	3.1
C17	48,72	28,59			C75-col	1,8	0,83	1,8	3.2
C18	97,63	14,24			C76-col	120	8,51		4.1
C19	52,82	22,88			C76-col	351	42,4		4.2
C20	43,2	2,4	3100		C76-col	398	7,72		4.3
C21	46,7	17,9	2047		C76-col	107	13,8		4.4
C22	10,96	57,71			C76-col	372	15,5		4.5
C23	55	5,7	148		C76-col	309	26,5		4.6
C24	5,54	17,92	224,28		C76-col	210	2,46		4.7
C25	46,2	8,2			C76-col	231	1,5		4.8
C26	28	110			C76-col	656	2,77		4.9

Tabla 4. (Continuación)

Artículo	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)	NOTAS	Artículo	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)	NOTAS
C27	16,76	23,05	69,11		H1	54,93	26,09	828,57	
C28	0,0225	0,08	429		H2	15,05	24,86	270,28	
C29	21,24	26,13			H3	24,4	7	740	
C30	55,3	22	3830		H4	65,4	11,3	1400	
C31	40,84	62,8			H5	1	6,7	140	
C32	2,7	38,27			H6	30,83	6,06	1,45	5.1
C33	20	35	342		H6	52,3	11,89	1,74	5.2
C34	5,4	37,16	21,75		H6	67,28	17,37	1,76	5.3
C35-P17	3,05	108,21	0,02	1.0	H7	37,5	14	1275	
C36	6,99	72,7			H8	13,5	56	30	
C37	23,5	18			H9	16,5	27	305	
C38	27,14	26,3	103,18		H10	13,54	26,75		
C39	38,39	12,44	2419,69		H11	10,89	51,24	29,23	
C40	32,2	6,35	2064		H12	70,2	20,3		
C41	24,43	15,23			H13	33	7,5	1264	
C42	26,5	162,8			H14	32,44	3,67	1,43	
C43	26,8	50,9			H15	26,7	31	500	
C44	22,1	5,5	1000		H16	50,2	20,4	1875	
C45	38,37	4,17			H17	64,5	4,3	2492	
C46	0,02	0,0381	0,9744		P1	4,28	48,4		6.1
C47	36	5,72	1334		P1	4,85	58,1		6.2
C48	6	5,4			P2	6,16	10,27		
C49	3,4	28	61		P3	6,56	5,33	5,67	
C50	21,98	23,09	435,76		P4	88	2,7		
C51	10,7	9,2	265		P5	46,4	9	1190	
C52	66,2	10,8	3100		P6	66	5	3475	7.1
C53		3	957		P6	29	3	1775	7.2
C54	18,5	86,7	20,8		P6	21	19	1475	7.3
C55	145	11	3791	2.1	P6	12	37,5	550	7.4
C55	138	9	3870	2.2	P7	2,66	86,7		
C56	10,8	47,2	36,25		P8	8,8	53,4		
C57	95,33	7,02	3515		P9	22,2	6,5		8.1
C58	14,32	156,74			P9	24,9	6,5		8.2
C59	54,9	4,72			P10	37	4,75	1350	9.1
C60	52,77	14,32			P10	34,5	4,5	1350	9.2
C61		2,93	523,66		P10	13,5	13,5	635	9.3
C62	38		2220		P10	10,5	40,91	395	9.4

Tabla 4. (Continuación)

Artículo	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)	NOTAS	Artículo	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)	NOTAS
C63	8,25	31,26			P11	10,61		0,08	
C64	39,68	13			P12	1,73	0,42		
C65	31,8	16,2	24,37		P13	3,04	29	40	
C66	20	6	533		P14	7,33	68	188	
C67	8,4	19,6	134,6		P15	0,64	61,5	0,875	
C68	49,98	3,89	2,4		P16	6,65	13,5	6	
C69	31,8	32,4			C35-P17	31,7	3,07	14,51	
C70	21,3	38,9	191,5		P18-col	1,5		16,4	1.0

TS: Esfuerzo a tensión; EB: Deformación a ruptura; ME: Módulo de Elasticidad; C: Quitosano; H: Hidroxipropilmetilcelulose o HPMC; P: Almidón de papa; "-col": publicaciones en Colombia. Respecto a la columna de "notas", se presenta un índice numérico que servirá para explicar posteriormente los detalles del artículo específico.

Fuente: elaboración propia

A continuación se presenta la información de la columna de "notas" de la tabla anterior, donde se muestra el efecto al variar diferentes condiciones del proceso en los mismos artículos:

1.0: En el artículo con código "C35-P17", se realizan ensayos de tensión a polisacáridos de almidón de papa y quitosano, por lo cual se encuentra este código en los dos grupos de muestras.

2.1 y 2.2: En el artículo con código "C55" se presentan los resultados de muestras que fueron obtenidas por un método convencional (2.1) y con una etapa adicional de compresión (2.2).

3.1 y 3.2: Para los ensayos del artículo con código "C75-col", se implementaron dentro de la mezcla ácido acético (3.1) y ácido láctico (3.2).

4.1 a 4.9: del artículo con código "C76-col", se presenta el efecto sobre las propiedades mecánicas de tensión, al modificar el contenido de quitosano (%W/V) y temperatura de secado (2, 25 y 40°C), de la siguiente manera:

4.1: "0.5 CH (%W/V) - 2°C"

4.2: "1 CH (%W/V) - 2°C"

4.3: "1.5 CH (%W/V) - 2°C"

4.4: "0.5 CH (%W/V) - 25°C"

4.5: "1 CH (%W/V) - 25°C"

4.6: "1.5 CH (%W/V) - 25°C"

4.7: "0.5 CH (%W/V) - 40°C"

4.8: "1 CH (%W/V) - 40°C"

4.9: "1.5 CH (%W/V) - 40°C"

5.1, 5.2 y 5.3: Del artículo de investigación con código "H6", se hace referencia al uso de tres calidades comerciales de HPMC: HPMC Methocel® E15 (5.1), HPMC Methocel® K4M (5.2) y HPMC Methocel® E4M (5.3), con diferentes proporciones de metoxilo e hidroxipropilo.

6.1 y 6.2. La investigación con código "P1", presenta los efectos sobre las propiedades mecánicas al variar el flujo de aire de secado de las muestras obtenidas, por convección natural (6.1) y forzada (6.2).

7.1, 7.2, 7.3 y 7.4: En el artículo con código "P6", se muestra los resultados en las propiedades mecánicas al modificar el contenido de glicerol (respecto al porcentaje de peso de almidón), en 0% (7.1), 15% (7.2), 25% (7.3) y 35% (7.4).

8.1 y 8.2: Del artículo con código "P9", se obtienen diferentes resultados en los valores de esfuerzo a tensión y deformación a ruptura de las pruebas de tensión, al realizar los ensayos 3 meses (8.1) y 5 meses (8.2) posterior a la obtención de la película.

9.1, 9.2, 9.3 y 9.4: Del código de artículo "P10", se obtienen cuatro grupos de prueba al variar la humedad relativa – HR (33-53 %) y el momento en el que se realiza la prueba posterior a la obtención de la película (una semana y cinco semanas), de la siguiente forma:

9.1: "33% RH / 1 Semana"

9.2: "33% RH / 5 Semana"

9.3: "53% RH / 1 Semana"

9.4: "53% RH / 5 Semana"

10.01 a 10.12: El código de artículo "C71", presenta los resultados obtenidos de Esfuerzo a tensión y deformación a ruptura, al variar cuatro características del estudio: a) contrastar la temperatura ambiente de secado (25°C) - RT (por sus siglas en inglés "Room Temperature") y temperatura de tratamiento térmico (105°C) – HT (por sus siglas en inglés), expuestas por 24 horas; b) Dos tipos de quitosano, de alto peso molecular - HMw y bajo peso molecular – LMw; c) variación en el porcentaje de glicerina - Gly en la mezcla, con porcentajes de 0, 15 y 30%. De acuerdo a lo anterior los grupos fueron conformados de la siguiente manera:

10.01: "RT-HMw-Gly0%"

10.02: "RT-HMw-Gly15%"

10.03: "RT-HMw-Gly10%"

- 10.04: "HT-HMw-Gly0%"
- 10.05: "HT-HMw-Gly15%"
- 10.06: "HT-HMw-Gly30%"
- 10.07: "RT-LMw-Gly0%"
- 10.08: "RT-LMw-Gly15%"
- 10.09: "RT-LMw-Gly30%"
- 10.10: "HT-LMw-Gly0%"
- 10.11: "HT-LMw-Gly15%"
- 10.12: "HT-LMw-Gly30%"

Por lo anterior al unificar los resultados obtenidos para cada una de las propiedades mecánicas examinadas, se obtiene la siguiente Tabla 5, con el conjunto de muestras analizadas en el estudio:

Tabla 5: Número de artículos y cantidad de datos obtenidos por cada propiedad mecánica

Polisacárido	Muestras Individuales Examinadas	Muestras TS	Muestras EB	Muestras ME
Quitosano	97	95	95	48
HPMC	19	19	19	17
Almidón de papa	26	26	24	17
Total	142	140	138	82

TS: Esfuerzo a tensión; EB: Deformación a ruptura; ME: Módulo de Elasticidad

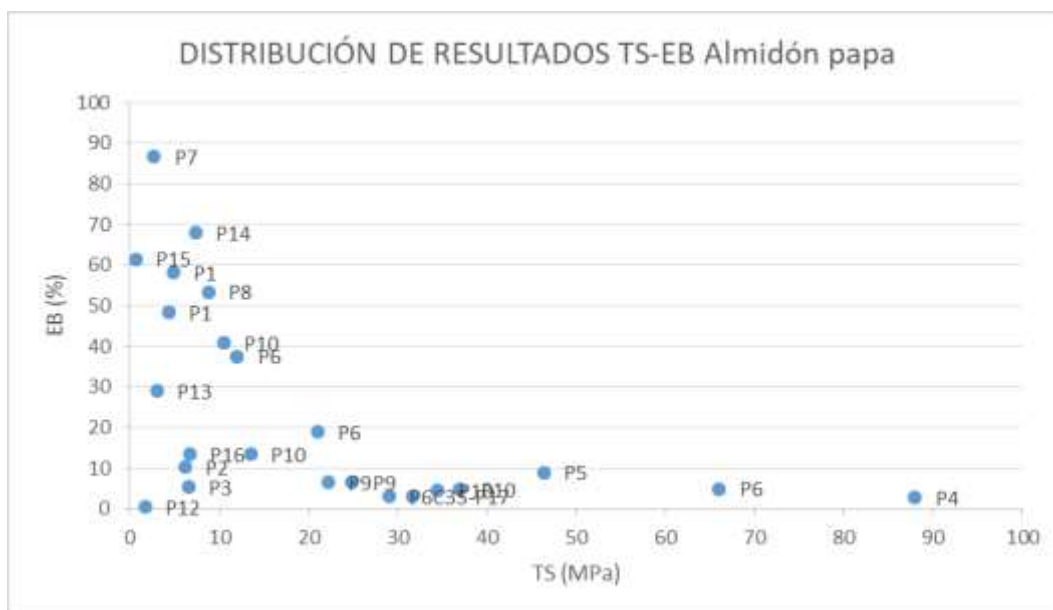
Fuente: elaboración propia

Los valores de las propiedades mecánicas a tensión, extraídas de cada artículo de investigación y presentado en la Tabla 4, representan los datos promedio obtenidos del conjunto de muestras ensayadas por cada uno de sus autores.

En la siguiente Figura 16 se observa la distribución de resultados de TS y EB, de los artículos examinados sobre ensayos de tensión al polisacárido quitosano. Cualitativamente, la gráfica presenta una alta densidad de resultados principalmente por debajo del 60% de deformación a ruptura y un esfuerzo a tensión concentrado en los valores menores a 100 MPa.

En la Figura 18 sobresale una tendencia de respuesta inversamente proporcional en las propiedades mecánicas de EB y TS del almidón de papa, hallando que en cuanto mayor es el valor de la deformación a ruptura (%) menor es la resistencia a tensión (MPa). Resalta el bajo valor del artículo de investigación con código "P12", el cual presenta un alto valor de pH (8-10), cuando convencionalmente las películas obtenidas con este polisacárido tienen un pH aproximado de 7, excepto cuando se hace modificaciones por acetilación donde es posible alcanzar valores de pH de 8-8,4 (Vargas, Martínez, & Velezmoro, 2016).

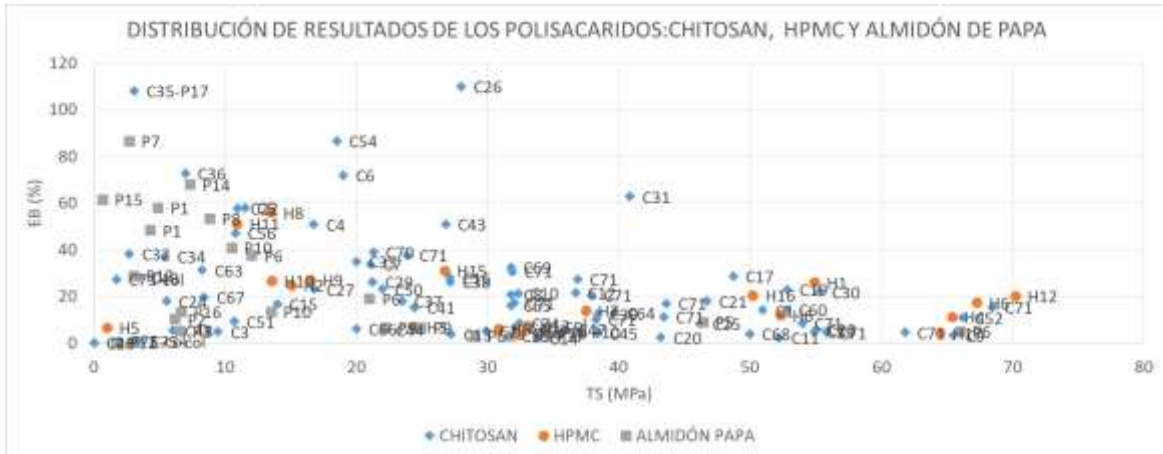
Figura 18: Conjunto de datos de TS y EB del almidón de papa



Fuente: elaboración propia

En la siguiente Figura 19 se muestra el conjunto de resultados de todas las pruebas a películas de quitosano, HPMC y almidón de papa, en el rango de deformación a ruptura entre 0-120 (%) y esfuerzo a tensión entre 0-80 (MPa), donde resalta cualitativamente un mayor conjunto de valores de la relación esfuerzo de tensión (TS) y deformación a ruptura (EB) para el material quitosano, respecto a los demás polisacáridos examinados.

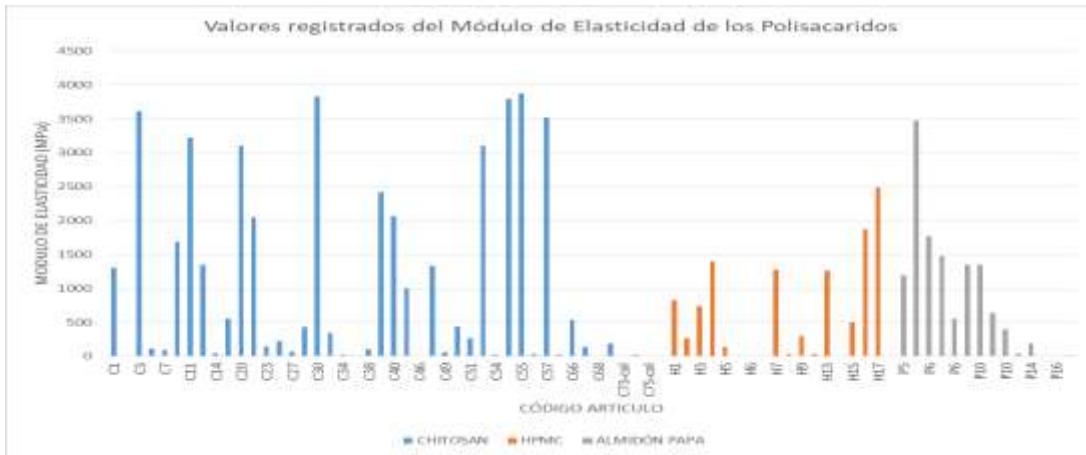
Figura 19: Comparación de resultados de TS y EB entre los tres polisacáridos



Fuente: elaboración propia

En el siguiente grafico (Figura 20) se muestra la distribución de resultados de los artículos que presentaban información sobre la caracterización del Módulo de Elasticidad (MPa) de las películas producidas en cada artículo, destacando el quitosano por encima de los demás materiales.

Figura 20: Resumen de los módulos de elasticidad obtenidos



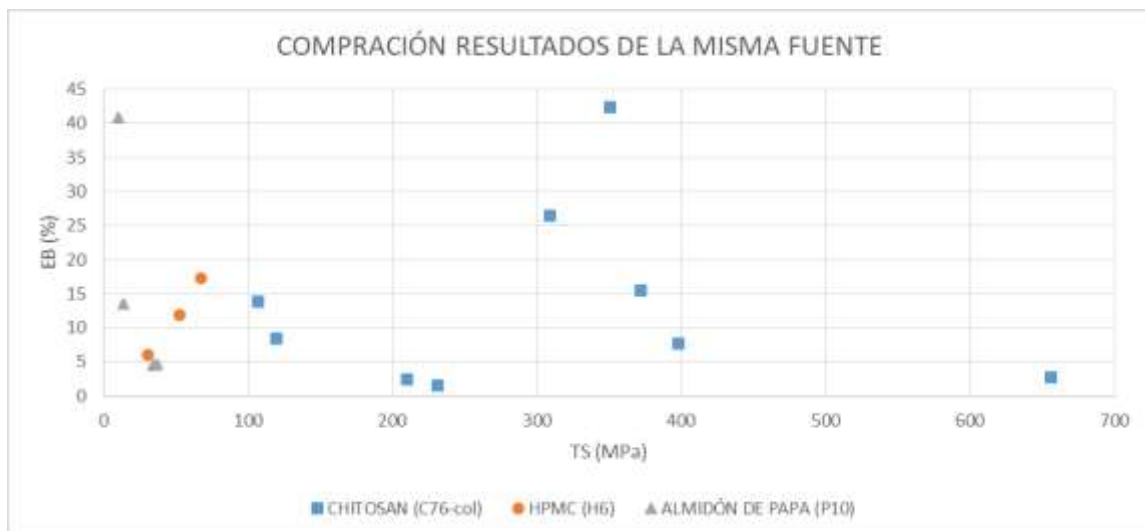
Fuente: elaboración propia

En la Figura 21 se comparan los resultados presentados en los artículos “C76-col” (quitosano), “H6” (HPMC) y “P10” (almidón de papa), donde se identifica para cada polisacárido un cambio en la respuesta entre los parámetros de deformación a ruptura y esfuerzo a tensión, en función de la modificación de las variables del proceso para la obtención de la película (Revisar el resumen de “notas” de la Tabla 4). En la investigación con código “C76-col”, se evalúa el efecto de tres mezclas con diferentes

porcentajes de quitosán (0.5%, 1.0%, and 1.5%), y también el resultado de los ensayos mecánicos a tensión al variar la temperatura de secado de cada película (2 °C, 25 °C, and 40 °C).

También en la Figura 21 se muestra el efecto ocurrido en el artículo “H6” sobre las propiedades mecánicas al variar la materia prima de HPMC (HPMC Methocel® E15, HPMC Methocel® K4M y HPMC Methocel® E4M). Por último se compara los resultados de ensayos a tensión, obtenidos en “P10” de almidón de papa, al modificar el acondicionamiento de las películas a diferentes niveles de humedad relativa (33-53%), y el periodo para la realización del ensayo (1 y 5 semanas, posteriores a la obtención de la película).

Figura 21: Comparación de resultados entre diferentes polisacáridos y su respectiva publicación



Fuente: elaboración propia

Del conjunto de datos mostrados en la figura anterior, destaca el efecto que puede tener la modificación de una o más variables del proceso, ya sea en las características propias de las materias primas, condiciones o procesamiento en la elaboración de la película.

6.2. Análisis estadístico de resultados

Mediante el análisis estadístico se busca ponderar el conjunto de los datos recopilados, para identificar tendencias y comparar el comportamiento mecánico del

esfuerzo a tensión (TS), elongación a ruptura (EB%) y módulo de elasticidad (ME), para cada uno de los polisacáridos seleccionados: Quitosano, HPMC y almidón de papa, estableciendo el promedio (media), rango, cantidad de datos registrados (cuenta), mínimo y máximo de los valores extraídos, desviación estándar, cuartiles y mediana, cuyas ecuaciones y definiciones se despliegan en el Anexo 2 (INEI, 2006) (Song, 2004). A continuación se exponen los resultados estadísticos obtenidos para cada polisacárido.

6.2.1. Quitosano

En la siguiente Tabla 6, se muestra el resumen de los datos estadísticos elegidos para el conjunto de muestras extraídas de los artículos de quitosano. De la tabla resalta el amplio rango entre los valores máximos y mínimos, para las tres propiedades mecánicas a tensión evaluadas (TS, EB y ME), análisis que es reforzado por los datos arrojados al calcular la desviación estándar.

Tabla 6: Resultado estadístico del Quitosano

VARIABLE	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)
Cuenta	95,00	95,00	48,00
Valor Máximo	656,00	162,80	3870,00
Valor Mínimo	0,02	0,038	0,02
Rango	655,98	162,76	3869,98
Media (Promedio)	59,16	24,42	1019,40
Cuartil 1	18,75	5,71	41,1625
Mediana (Cuartil 2)	32,01	15,50	303,50
Cuartil 3	52,50	28,30	1771,75
Desviación estándar	97,35	29,66	1304,69

Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos de la mediana se encuentran más próximos al valor mínimo de las muestras estimadas. En la siguiente tabla 7 y Figura 22 de distribución de frecuencias, se identifican los principales intervalos o clases, en los que resalta un mayor conjunto de datos para el esfuerzo a tensión – TS en la clase 72,91 MPa (81 datos), de la deformación a ruptura – EB en 18,12 % (54 datos), y para el módulo de elasticidad – ME en 430,02 MPa (25 datos).

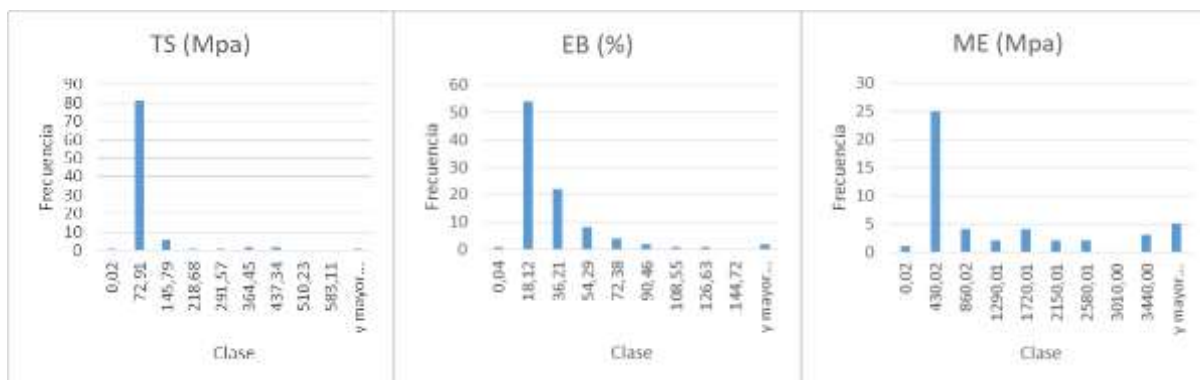
De los datos obtenidos destaca un amplio conjunto de muestras con un módulo de elasticidad - ME superior a 3440 MPa (aproximadamente el 17% de las muestras de quitosano, con información sobre el ME).

Tabla 7: Valores de frecuencia estimada a partir de la base de datos examinada del Quitosano

TS (Mpa)		EB (%)		ME (Mpa)	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,02	1	0,04	1	0,02	1
72,91	81	18,12	54	430,02	25
145,79	6	36,21	22	860,02	4
218,68	1	54,29	8	1290,01	2
291,57	1	72,38	4	1720,01	4
364,45	2	90,46	2	2150,01	2
437,34	2	108,55	1	2580,01	2
510,23	0	126,63	1	3010,00	0
583,11	0	144,72	0	3440,00	3
y mayor...	1	y mayor...	2	y mayor...	5

Fuente: elaboración propia

Figura 22: Distribución de la frecuencia para cada una de las propiedades mecánicas a tensión examinadas del quitosano.



Fuente: elaboración propia

6.2.2. Hidroximetilpropilcelulosa - HPMC

Para el HPMC se estableció la información estadística mostrada en la Tabla 8, donde se observa un rango y desviación estándar de resultados menor a los presentados

para el conjunto de resultados del quitosano, así mismo se comprueba que el cuartil 2 se aproxima más al valor de la media o promedio.

De la distribución de frecuencias presentado en la Tabla 9 y Figura 23, se identifica un mayor número de clases principales en las propiedades de TS (clases: “18,3”, “35,6” y valores mayores) y EB (clases: “16,74” y “29,84”).

Tabla 8: Resultado estadístico del HPMC

VARIABLE	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)
Cuenta	19,00	19,00	17,00
Valor Máximo	70,20	56,00	2492,00
Valor Mínimo	1,00	3,67	1,43
Rango	69,20	52,33	2490,57
Media (Promedio)	35,80	19,65	656,20
Cuartil 1	15,78	7,25	29,23
Mediana (Cuartil 2)	32,44	17,37	305,00
Cuartil 3	53,62	26,42	1264,00
Desviación estándar	21,87	14,80	760,77

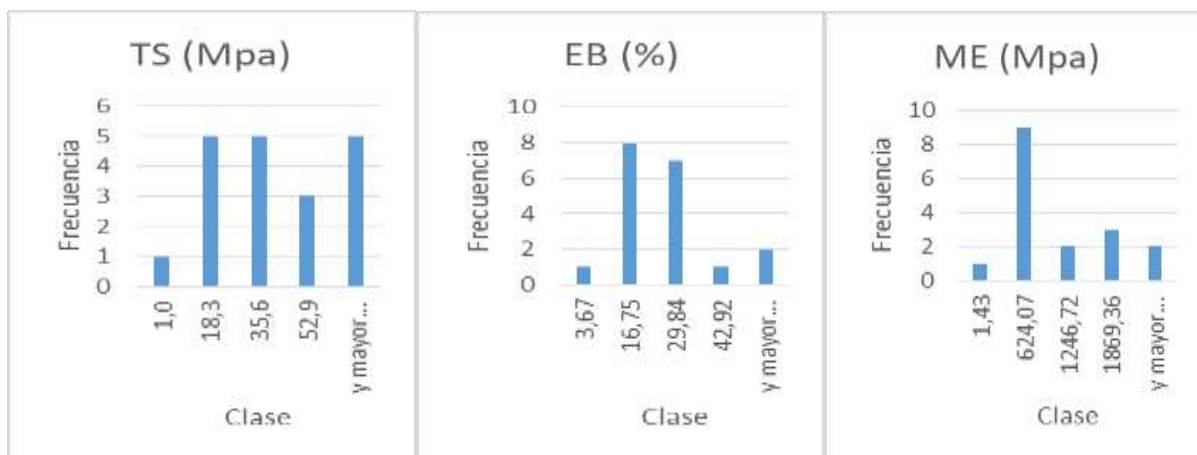
Fuente: elaboración propia

Tabla 9: Valores de frecuencia estimada a partir de la base de datos examinada del HPMC

TS (Mpa)		EB (%)		ME (Mpa)	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
1,0	1	3,67	1	1,43	1
18,3	5	16,75	8	624,07	9
35,6	5	29,84	7	1246,72	2
52,9	3	42,92	1	1869,36	3
y mayor...	5	y mayor...	2	y mayor...	2

Fuente: elaboración propia

Figura 23: Distribución de la frecuencia para cada una de las propiedades mecánicas a tensión examinadas del HPMC.



Fuente: elaboración propia

6.2.3. Almidón de papa

De forma similar a los datos estadísticos obtenidos para el quitosano, se encuentra un rango de valores muy amplio entre el mínimo y máximo de los datos obtenidos de los artículos, así mismo la desviación estándar es superior a la obtenida para el HPMC (excepto para la propiedad mecánica de TS).

Tabla 10: Resultado estadístico del almidón de papa

VARIABLE	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)
Cuenta	26,00	24,00	17,00
Valor Máximo	88,00	86,70	3475
Valor Mínimo	0,64	0,42	0,08
Rango	87,36	86,28	3474,92
Media (Promedio)	19,29	24,61	733,33
Cuartil 1	5,18	4,94	14,51
Mediana (Cuartil 2)	10,56	11,89	395,00
Cuartil 3	27,98	42,78	1350,00
Desviación estándar	21,36	25,54	942,74

Fuente: elaboración propia

También a diferencia del HPMC, la media se encuentra más alejada del valor de la mediana o del segundo cuartil, lo cual es posible corroborar en la siguiente Tabla 11 y Figura 24, de distribución de frecuencias, evidenciando una clase principal para cada

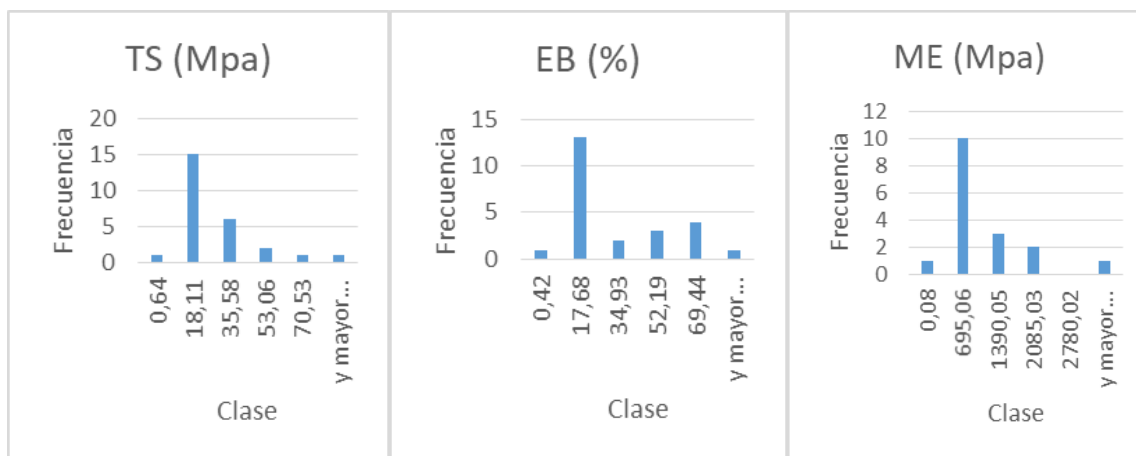
una de las propiedades de TS (clase: “18,11”, con 15 muestras), EB (clase: “17,68”, con 13 muestras) y ME (clase: “695,06” con 10 muestras).

Tabla 11: Valores de frecuencia estimada a partir de la base de datos examinada del almidón de papa

TS (Mpa)		EB (%)		ME (Mpa)	
Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia	Clase	Frecuencia
0,64	1	0,42	1	0,08	1
18,11	15	17,68	13	695,06	10
35,58	6	34,93	2	1390,05	3
53,06	2	52,19	3	2085,03	2
70,53	1	69,44	4	2780,02	0
y mayor...	1	y mayor...	1	y mayor...	1

Fuente: elaboración propia

Figura 24: Distribución de la frecuencia para cada una de las propiedades mecánicas a tensión examinadas del Almidón de papa.



Fuente: elaboración propia

6.3. Análisis multicriterio

Al comparar los valores de la mediana de los tres polisacáridos: Quitosano, HPMC y almidón de papa, se obtiene la siguiente Tabla 12:

Tabla 12: Comparación de los valores de la mediana, por cada polisacárido y propiedad mecánica

Polisacárido	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)
Quitosano	32,01	15,50	303,5
HPMC	32,44	17,37	305,0
Almidón de papa	10,56	11,89	395,0

TS: Esfuerzo a tensión; EB: Deformación a ruptura; ME: Módulo de Elasticidad

Fuente: elaboración propia

De los datos resumidos se evidencia una similitud entre el Quitosano y el HPMC para los valores del módulo de elasticidad (ME) y esfuerzo a tensión (TS), también se destaca el almidón de papa por poseer una menor resistencia y deformación respecto a los otros dos polisacáridos, pero tiene un mayor módulo de elasticidad. Así mismo se observa que el HPMC tiene el mejor resultado en las propiedades de elasticidad a ruptura (EB) y esfuerzo a tensión (TS). En cuanto a la deformación del material a ruptura, los tres materiales presenta entre si una desviación estándar de aproximadamente 2,788%.

Para aproximarse a la respuesta que permita la selección del mejor polisacárido entre los tres examinados en esta monografía, mediante el estudio bibliográfico sistemático y extracción de los valores de experimentación de los artículos seleccionados, se hace necesario comparar estos resultados con los valores definidos para polímeros convencionales provenientes de fuentes de hidrocarburos, expuestos en la siguiente Tabla 13 (Ramachandran, Iqbal, Sipaut, & Abdullah, 2011):

Tabla 13: Propiedades mecánicas a tensión de películas de polímeros convencionales

Tipo de polímero	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)
Polietileno de baja densidad (LDPE)	13	126	156
Polietileno de alta densidad (HDPE)	19	576	640
Polipropileno	27	435	590

Fuente: (Ramachandran, Iqbal, Sipaut, & Abdullah, 2011)

Como se observa en la tabla anterior los valores del módulo de elasticidad y deformación a ruptura sobrepasan los resultados obtenidos en la mediana de los polisacáridos examinados, excepto para el caso del polietileno de baja densidad LDPE, usado en bolsas plásticas. Los resultados de esfuerzo a tensión son muy próximos entre los polímeros examinados en la Tabla 13 y los resultados de la mediana obtenidos en el estudio bibliográfico presentados en la Tabla 12.

Para determinar entre los polisacáridos obtenidos el que presenta los mejores características para el ensayo a tensión, se realiza un análisis multicriterio, mediante el método conocido como proceso de jerarquía analítica o AHP (por sus siglas en inglés), ya que dicho método permite evaluar cada polisacárido en función de sus propiedades individuales y luego comparar cada uno de estos criterios, los cuales son definidos según la escala de importancia relativa establecida por Saaty (Ishizaka & Nemery, 2013), como se muestra en la Tabla 14:

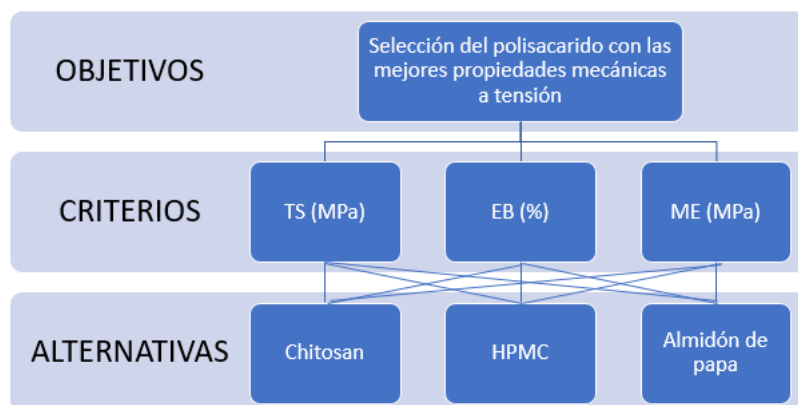
Tabla 14: Escala Saaty, considerado para el análisis comparativo entre los criterios: TS, EB y ME

Ponderación	Definición
1	Criterios igualmente preferidos
2	Débilmente preferida
3	Moderadamente preferida

Fuente: (Ishizaka & Nemery, 2013)

En la siguiente Figura 25, se muestran el árbol de alternativas para los criterios de interés (TS, EB y ME) (Ishizaka & Nemery, 2013):

Figura 25: Árbol de criterios para el objetivo de estudio



Fuente: Basado en las indicaciones de Ishizaka & Nemery (2013)

Para el caso de estudio de esta monografía, inicialmente se establece la importancia relativa entre los criterios: TS, EB y ME, basado en la escala de comparación de Saaty, considerando como prioridad “débil” la deformación a ruptura sobre el módulo de elasticidad, “moderada” entre la deformación a ruptura y el esfuerzo a tensión, y “débil” entre el módulo de elasticidad y el esfuerzo a tensión, como se muestra en la siguiente matriz de pares (Tabla 15), establecido a partir de la comparación de las propiedades mecánicas de los polisacáridos (Tabla 12) y los polímeros convencionales (Tabla 13).

Tabla 15: Matriz de pares, para el estudio multicriterio

Pares	TS	EB	ME
TS	1	1/3	1/2
EB	3	1	2
ME	2	1/2	1

Fuente: elaboración propia

Para determinar el orden de las prioridades y así establecer la clasificación entre criterios, se debe obtener el auto vector, primero elevando la matriz de la Tabla 15 al cuadrado y normalizando, como se muestra en la Tabla 16. El auto vector permite identificar el orden de las prioridades de los criterios evaluados (Ishizaka & Nemery, 2013).

Como era de esperar de la Tabla 16, se identifica preliminarmente que el criterio más influyente es la deformación a ruptura, seguido por el módulo de elasticidad, según la comparación de los valores presentados por los polisacáridos respecto a los polímeros convencionales.

Tabla 16: Obtención del auto vector de criterios

Criterio	Matriz de prioridad			Normalización	Auto vector
TS	3,0	0,916	1,66	5,576	0,16286949
EB	10,0	3,000	5,50	18,500	0,54036687
ME	5,5	1,660	3,00	10,160	0,29676364
Suma				34,236	1

Fuente: elaboración propia

Ahora al comparar los resultados cuantitativos de la mediana para cada uno de los valores o criterios de las propiedades mecánicas del ensayo a tensión de los polisacáridos examinados, sumando inicialmente los datos numéricos de cada criterio (Tabla 17) y luego normalizando (Tabla 18), se obtienen los siguientes resultados (Ishizaka & Nemery, 2013):

Tabla 17: Suma de los resultados para cada criterio

Polisacárido	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)
Quitosano	32,01	15,50	303,5
HPMC	32,44	17,37	305,0
Almidón de papa	10,56	11,89	395,0
Suma	75,005	44,755	1003,5

Fuente: elaboración propia

Tabla 18: Obtención de la matriz de alternativas

Alternativas	TS - Normalizado	EB - Normalizado	ME - Normalizado
Quitosano	0,42677155	0,34633002	0,30244145
HPMC	0,43250450	0,38811306	0,30393622
Almidón de papa	0,14072395	0,26555692	0,39362232

Fuente: elaboración propia

Finalmente se multiplica la matriz de alternativas (Tabla 18) por el auto vector obtenido en la Tabla 16, lo cual genera el siguiente resultado. De la tabla se corrobora que el HPMC es la mejor alternativa, seguido por el Quitosano, en función de la importancia relativa definida para cada criterio y las alternativas de polisacáridos tratados.

Tabla 19: Tabla de decisión para la selección de polisacáridos

Polisacárido	Resultado
Quitosano	0,34640602
HPMC	0,37036152
Almidón de papa	0,28322929

Fuente: elaboración propia

6.4. Análisis costo beneficio

La selección del polisacárido no puede limitarse a la comparación de los resultados ponderados de las propiedades mecánicas a tensión, ya que el efecto del precio de producción puede afectar dicha decisión (Ishizaka & Nemery, 2013). En esta sección se examinará el efecto del análisis costo-beneficio, considerando los resultados obtenidos en la sección anterior. Para el estudio de los costos se estima inicialmente el precio que puede tener la obtención de una película de cada polisacárido en función del valor de sus materias primas, asumiendo que se implementará el mismo proceso para la obtención de cualquiera de las películas. Se determina el costo mediante

cotizaciones y búsquedas para dicho fin en Quimiliz Ltda⁶, EBAY⁷ y Elementos Químicos Ltda⁸. En la siguiente Tabla 20 se resume los costos de las materias primas.

Tabla 20: Costos obtenidos por cada materia prima

Materia prima	Presentación	Costo Presentación (COP)	Costo Unitario (COP)	Costo Unitario (COP/kg)	Fuente
Almidón papa	25,0 (Kg)	148000	5920	5920,0	Quimiliz Ltda (cotización)
HPMC	25,0 (Kg)	670000	26800	26800,0	Quimiliz Ltda (cotización)
Quitosano	1,0 (Kg)	368762	368762	368762,0	Mercado EBAY
Glicerina	0,5 (L)	9000	18000	14285,7	Quimiliz Ltda (cotización)
Agua destilada	20,0 (L)	125000	6250	6250,0	Elementos Químicos Ltda
Ácido Acético	1,0 (L)	280000	280000	266666,7	Quimiliz Ltda (cotización)

Nota: para determinar el costo unitario (COP/kg), se estimaron los valores de densidad del glicerol (1,26 g/cm³) y ácido acético (1,05 g/cm³).

Fuente: elaboración propia

En la siguiente Tabla 21 se muestra la proporción de materias primas implementadas en la obtención de cada tipo de película, basado en las referencias incluidas en el presente estudio, y el costo de producir un kilogramo de las distintas películas.

Tabla 21: Proporción de materias primas y el costo para producir cada película

Alternativa	Polisacárido % (w/w)	Glicerol % (w/w)	Ácido Acético % (w/w)	Agua destilada % (w/w)	Costo Película (\$COP/kg)	Referencia
Quitosano	1,5	0,3	1	97,2	14316,0	Sogut & Seydim (2018)
HPMC (a)	15	3,0	NA	82,0	9573,6	Zhang & otros (2018)
Almidón papa (b)	5	1,5	NA	93,5	6354,0	Basiak, Lenart & Debeaufort (2017)

Nota: a) Glicerol 3% w/w (20% respecto al valor de HPMC); b) Proporción 1:0,3 (proporción de Almidón: Glicerol).

Fuente: elaboración propia

⁶ <http://quimiliz.com/>

⁷ <https://www.ebay.com/>

⁸ <http://www.elementosquimicos.com.co/>

Finalmente para tomar la decisión final, apoyado en la relación beneficio-costos, se normalizan los costos de cada polisacárido, y se divide el resultado en la tabla de decisión (Tabla 19), por el costo normalizado obtenido en la siguiente Tabla 22.

Tabla 22: Relación beneficio costo

Polisacárido	Resultado	Costos (COP/kg)	Normalización Costos	Beneficio/Costo
Qitosano	0,34640602	14316,0	0,47335543	0,73180954
HPMC	0,37036152	9573,6	0,31654908	1,16999715
Almidón papa	0,28322929	6354,0	0,21009549	1,34809793

Fuente: elaboración propia

De la relación beneficio-costos se deduce que la mejor opción para la fabricación de embalajes de películas para alimentos, es el almidón de papa, seguido por el HPMC.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los diferentes filtros aplicados en el estudio bibliográfico sistemático, y los artículos de investigación finalmente seleccionados, respecto al amplio conjunto de publicaciones encontradas inicialmente, permite valorar entre otros la rigurosidad de los métodos para la caracterización de las propiedades mecánicas implementados por sus autores. Para el caso del quitosano fueron descartados aproximadamente un 75% de los artículos propuestos originalmente, para el HPMC un 81% fue retirado y del almidón de papa se mantuvo tan solo el 32,7%.

Para la obtención del último filtro de la revisión bibliográfica preliminar (sección “5.3: Clasificación bibliográfica”), se encontraron inconsistencias en los artículos generados en Colombia, como gráficos de datos incompletos (Escobar-Sierra & Perea-Mesa, 2017), o presentación exclusiva del valor de la fuerza de tensión (este dato presente alta variabilidad debido al efecto del área transversal de la película o muestra ensayada, cuyas dimensiones tampoco fueron expuestas en el artículo) (Algecira Enciso & Saavedra Hortua, 2010). En otros casos son ensayados otros polisacáridos diferentes a los propuestos en el estudio de la monografía.

Respecto a las referencias de ScienceDirect, en algunos casos se encontraron incompatibilidades entre los datos mostrados en las gráficas de esfuerzo-deformación y los datos numéricos (Riaz, A., y otros, 2018), también en ocasiones se cometen errores al designar las unidades de las propiedades mecánicas, por ejemplo Kaewklin, P.; Siripatrawan, U.; Suwanagul, A; Lee, Y. S. (2018) presenta las dimensiones del esfuerzo en N (Newtons), cuando en realidad es necesario designarlo como “N/mm²”, o en otros artículos no se presenta un método para la realización de los ensayos a tensión, siendo eliminados del estudio por la baja confiabilidad que presentaban.

En otros casos no es reportada toda la información de las materias primas implementadas, por lo cual se hace más difícil la trazabilidad de los datos obtenidos, y de esta forma es difícil comparar propiedades mecánicas entre el mismo grupo de polisacáridos, incluso cuando fueron sometidos al mismo proceso. Por ejemplo en los artículos de Akyuz, L., Kaya, M., Mujtaba, M. (y otros, 2018) y Rahmani, B. (2017), no especifican el grado de desacetilación del quitosano, siendo de gran importancia por el efecto que tiene en las propiedades mecánicas a tensión (entre otras propiedades), como fue reportado por Galvis-Sánchez, A. C. (y otros, 2018). Entre los artículos que usaron almidón de papa para la obtención de las películas, resalta la publicación de Li, J. (y otros, 2015), donde se limitan a definir el proveedor de la materia prima, pero no especifican el contenido de amilosa del almidón, cuya mayor proporción se ha comprobado, aumenta el esfuerzo último y disminuye la deformación de las películas sometidas a ensayos de tensión (Cano, A. y otros, 2014).

Cada variación en las diferentes etapas del proceso para la obtención de las películas de polisacáridos, como la modificación de la formulación o incluso la intensidad en el uso de un equipo, puede afectar el comportamiento mecánico a tracción de la película, pero a su vez mejorar o afectar negativamente otras características, como la permeabilidad, fragilidad y/o porosidad, por lo cual se hace necesario identificar las principales propiedades que afectan el producto a desarrollar, y establecer las pruebas que logran caracterizar dichas propiedades e interacciones.

En aquellas publicaciones donde se evalúa el comportamiento mecánico de las películas de polisacáridos expuestas a diferentes condiciones (temperatura de secado, diferentes calidades de materia prima, contenido de plastificante, entre otros), es posible en algunos casos encontrar una línea de tendencia (como por ejemplo en el artículo de HPMC con código "H6"), pero en otros casos presenta una alta variación (examinar publicación de Quitosano con código: "C76-col"), debido principalmente a la interacción entre múltiples variables que afectan el comportamiento mecánico de la película en modos que siguen siendo objeto de estudio.

De los datos extraídos para el estudio bibliográfico resalta un alto número de publicaciones que no presentan todos los resultados esperados de las tres propiedades mecánicas a tensión, de interés para la presente monografía: Esfuerzo a tensión (2 de los artículos no presentan esta propiedad), deformación a ruptura (4 artículos no entregan esta información) y módulo de elasticidad (Aproximadamente el 42% de los artículos de investigación examinados no dan información de esta propiedad).

Para obtener un mayor conjunto de resultados de propiedades mecánicas a tensión, se debieron emplear de forma aproximada los valores que fueron documentados de forma gráfica en algunos artículos. Cerca del 18,3% de las publicaciones presenta los resultados en forma gráfica, desestimando la importancia de los resultados numéricos sobre las propiedades del ensayo a tensión de interés.

Otra debilidad encontrada entre los investigadores que hacen este tipo de caracterización es comparar los datos obtenidos de manera porcentual. Pero en la mayoría de los artículos se publicaban tablas con los datos numéricos, e incluso adjuntaban las gráficas, siendo de gran interés para identificar el comportamiento mecánico de la película en toda la prueba a tensión.

De la información obtenida en el análisis estadístico, y específicamente del resultado de la mediana de cada polisacárido, es posible sugerir al HPMC: 32,44 (valor mediana de TS) y 17,37 (valor mediana de EB), como la mejor opción en cuanto a las

propiedades de esfuerzo a tensión - TS y deformación a ruptura - EB, seguido por el quitosano: 32,01 MPa (valor mediana de TS) y 15,5% (valor mediana de EB). Y para el módulo de elasticidad - ME, basados también en la mediana de todos los datos evaluados, es posible considerar al almidón de papa: 395 MPa (valor mediana de ME) como la mejor selección.

La tabla y graficas de frecuencia, obtenidas en el analisis estadístico de resultados, demuestran un alto conjunto de resultados que se encuentran distantes del promedio y mediana de las propiedades mecánicas examinadas. En el caso del quitosano existe un alto conjunto de muestras (81 de 95) con un valor de esfuerzo a tensión cercano a 72,91Mpa, mientras su valor promedio se establece en 59,16Mpa y la mediana en 32,01 Mpa. En el caso del HPMC también ocurre algo similar para el esfuerzo a tensión – TS. En contraste el almidón de papa presenta una concentración de frecuencias más próxima al promedio y mediana.

Mediante el análisis multicriterio fue posible ponderar cada uno de los criterios que se deseaban analizar de las propiedades mecánicas a tensión de los polisacáridos en estudio, obteniéndose como mejor respuesta nuevamente el HPMC. Para la evaluación considerada, se planteó una ponderación débil (“2”) y moderada (“3”), pero incluso considerando una ponderación más fuerte (por ejemplo 1-3-6), se obtendría el mismo orden de selección, primero el HPMC (0, 3707), luego el quitosano (0,3422) y finalmente el almidón de papa (0,28703).

En el planteamiento beneficio-costos, se tuvieron en cuenta el precio de las materias primas adquiridas en Colombia, siendo difícil encontrar el quitosano (con un costo por kilogramo de película producida de 14.316 pesos colombianos) y el HPMC (con un costo por kilogramo de película producida de 9573,6 pesos colombianos), en el comercio local, teniendo que recurrir a la importación que encarece aún más la producción de las películas, por lo cual el almidón de papa es la mejor opción para mercados similares que poseen una producción interna de almidones (con un costo por kilogramo de película producida de 6.354 pesos colombianos).

De los datos comparativos entre los polímeros convencionales (Tabla 13) y los polisacáridos examinados (Tabla 12), se comprueba que el quitosano y HPMC poseen las mejores posibilidades de competir con las propiedades a tensión del polietileno de baja densidad, siendo uno de los polímeros de fuentes petroquímicas más implementado en la producción de embalajes como bolsas plásticas (Pongrácz, 2007).

8. CONCLUSIONES

Existen múltiples variables en la producción de las películas que afecta el comportamiento mecánico de los materiales, como son las características propias de las materias primas, formulación de las mezclas, condiciones en el proceso para la elaboración de las películas (velocidad de agitación, rampas de temperatura, método de moldeo, acondicionamiento ambiental, entre otros parámetros), pero también es necesario incluir controles rigurosos en la medición dimensional de las muestras obtenidas, especificar todos los detalles del equipo utilizado para las mediciones (marca, modelo, software, capacidad de la celda de carga, uso de dispositivo extensómetro, etc.), condiciones del ensayo (principalmente velocidad de la prueba y condiciones ambientales) y método de ensayo (norma o protocolo aplicado y ecuaciones para determinar los valores principales esperados: Esfuerzo a tensión, porcentaje de deformación y módulo de elasticidad).

Los resultados de propiedades mecánicas a tensión permiten valorar la resistencia de las películas de polisacáridos sometidas a dicha situación, pero es necesario estimar en conjunto todas las demás propiedades físico, químicas y biológicas, para definir un biopolímero que cubra todas las expectativas esperadas en el embalaje de alimentos: producto económico, facilidad en la obtención de las películas, resistencia a las condiciones propias de los diferentes alimentos a transportar (cambios de temperatura, permeabilidad de vapores, protección del ambiente externo, etc.), capacidad de aislamiento del alimento con el ambiente circundante, control en la proliferación de microorganismos, restringir los efectos de la contaminación cruzada, biodegradabilidad, entre otros.

La gran dispersión de resultados demuestra el efecto que posee cada una de las variables implícitas en la elaboración de una película, y para el caso del estudio bibliográfico la búsqueda se limitó al desarrollo de películas obtenidas a escala laboratorio, por lo cual al escalar la producción a un nivel industrial de embalajes para alimentos se requiere nuevamente determinar los efectos del proceso, siendo de gran utilidad implementar los ensayos mecánicos para establecer controles de calidad de las propiedades de módulo de elasticidad, deformación a ruptura y esfuerzo a tensión.

9. RECOMENDACIONES

El proceso para la obtención de la información de los ensayos mecánicos, presenta una mayor complejidad en cuanto que no todos los artículos informan cuantitativamente sobre los resultados obtenidos, siendo necesario establecer valores aproximados extraídos de la información suministrada en las gráficas, por lo cual para futuras investigaciones en la caracterización mecánica de películas de polisacáridos se sugiere evidenciar tanto los datos numéricos y las gráficas, para tener una mayor comprensión de las capacidades mecánicas reales del material.

Un conjunto de resultados de esfuerzo a tensión y deformación a ruptura, que fueron presentados en las gráficas de la sección “6.1. Resultados preliminares de polisacáridos seleccionados” e incluidos en el análisis estadístico, tuvieron un valor próximo a cero, lo cual contradice los márgenes esperados para cada uno de los polisacáridos propuestos. De la misma forma ocurre con los valores que se encuentran por encima de los resultados esperados. Para estos casos extremos se sugiere en lo posible hacer réplicas del procedimiento planteado para la caracterización mecánica a tensión de las películas obtenidas, y de esta forma comprobar los resultados.

Para comprender el comportamiento mecánico de las películas elaboradas de biopolímeros, y otros fenómenos que afectan la aplicación del producto, se requiere analizar el comportamiento molecular único de cada material, el procesamiento para la obtención de la materia prima, el método de elaboración de la película y las condiciones funcionales de los embalajes para alimentos. Por lo anterior, se sugiere a los futuros investigadores apoyar sus propuestas en la búsqueda sistemática, para unificar todos estos aspectos y comprender el efecto de cada parámetro en el resultado final.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Adel, A., El-shafei, A., Ibrahim, A., & Al-shemy, M. (2018). Industrial Crops & Products Extraction of oxidized nanocellulose from date palm (*Phoenix Dactylifera L.*) sheath fibers: Influence of CI and CII polymorphs on the properties of chitosan / bionanocomposite films. *Industrial Crops & Products*, 124(July), 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.073>
- Aguirre-loredo, R. Y., Velazquez, G., Gutierrez, M. C., Castro-rosas, J., Rangel-vargas, E., & Gómez-aldapa, C. A. (2018). Effect of air flow presence during the manufacturing of biodegradable films from polymers with different structural conformation, 17(July), 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.06.007>
- Ahmed, J., Mulla, M., Ali, Y., Arockia, L., & Thai, T. (2017). Food Hydrocolloids Mechanical, thermal, structural and barrier properties of crab shell chitosan / graphene oxide composite films. *Food Hydrocolloids*, 71, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.013>
- Aila-suárez, S., Palma-rodríguez, H. M., Rodríguez-hernández, A. I., Hernández-uribe, J. P., Bello-pérez, L. A., & Vargas-torres, A. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.022>
- Akhtar, M., Jacquot, M., Jamshidian, M., Imran, M., & Arab-tehrany, E. (2013). Food Hydrocolloids Fabrication and physicochemical characterization of HPMC films with commercial plant extract : Influence of light and film composition. *Food Hydrocolloids*, 31(2), 420–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.008>
- Akiyama, E., Kashimoto, A., Fukuda, K., Suzuki, T., & Kitsuki, T. (2005). Thickening properties and emulsification mechanisms of new derivatives of polysaccharides in aqueous solution. *Journal of colloid and interface science*, 282(2), 448-457.
- Akyuz, L., Kaya, M., Ilk, S., Selim, Y., Salaberria, A. M., & Labidi, J. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Effect of different animal fat and plant oil additives on physicochemical, mechanical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films, 111, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.045>
- Akyuz, L., Kaya, M., Mujtaba, M., Ilk, S., Sargin, I., Salaberria, A. M., Islek, C. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Supplementing capsaicin with chitosan-based films enhanced the anti-quorum sensin, antimicrobial, antioxidant, transparency, elasticity and hydrophobicity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115, 438–446. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.040>
- Algecira Enciso, N. A., & Saavedra Hortua, N. (2010). Evaluation of Edible Films of Cassava Starch and Isolated Soy Protein in the Preservation of Strawberries. *res. Nova*, 8(14), 171-182.

- Aljawish, A., Muniglia, L., Klouj, A., & Jasniewski, J. (2016). Food Hydrocolloids Characterization of films based on enzymatically modified chitosan derivatives with phenol compounds, 60, 551–558. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.032>
- Almeida, M. R., Magalh, J. M. C. S., Química, D. D. E., Engenharia, F. De, Porto, U., & Frias, R. R. (2018). Food Hydrocolloids the role of choline chloride-based deep eutectic solvent and curcumin on chitosan films properties, 81, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.025>
- Amir, S., Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Akbar, A. (2016). Synergistic reinforcing effect of TiO₂ and montmorillonite on potato starch nanocomposite films : Thermal, mechanical and barrier properties. Carbohydrate Polymers, 152, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.040>
- Amir, S., Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B., & Akbar, A. (2016). International Journal of Biological Macromolecules Modification of physicochemical and thermal properties of starch films by incorporation of TiO₂ nanoparticles. International Journal of Biological Macromolecules, 89, 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.078>
- Arruda, Q. De, Stefani, R., Aniceto, V., Jr, P., & Nat, I. (2015). Food Hydrocolloids Active chitosan / PVA films with anthocyanins from Brassica oleraceae (Red Cabbage) as Time Temperature Indicators for application in intelligent food packaging, 43, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.014>
- ASTM. (2004). ASTM D-5988: "Determinación de la biodegradación aeróbica de plásticos degradables por microorganismos". Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (2012). ASTM D882: "Standard Test Method for Tensile properties of Thin Plastic Sheeting". Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (2014). ASTM D638: "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics". Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Avérous, L. (2012). Biodegradable Polymers. En L. Avérous, & E. Pollet, Environmental Silicate Nano-Biocomposites (págs. 13-39). Springer.
- Averous, P. (2012). Biodegradable Polymers. In: Averous L, Pollet E (eds) Environmental silicate nano-biocomposites. London: Springer.
- Avilés, G. R. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Ingeniería y Ciencia, 2(4), 5-28.
- Azadbakht, E., Maghsoudlou, Y., Khomiri, M., & Kashiri, M. (2018). Development and structural characterization of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil: Potential as an antimicrobial carrier for packaging of sliced sausage. Food Packaging and Shelf Life, 17(November 2017), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.007>
- Azeredo, H., Miranda, K., Ribeiro, H., Rosa, M., & Nascimento, D. (2012). Nanoreinforced alginate–acerola puree coatings on acerola fruits. Journal of Food Engineering, 113(4), 505–510.

- Balti, R., Ben, M., Sayari, N., Yacoubi, L., Rabaoui, L., Brodu, N., & Massé, A. (2017). International Journal of Biological Macromolecules Development and characterization of bioactive edible films from spider crab (*Maja crispata*) chitosan incorporated with *Spirulina* extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1464–1472. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.046>
- Bansal, M., Chauhan, G. S., Kaushik, A., & Sharma, A. (2016). International Journal of Biological Macromolecules Extraction and functionalization of bagasse cellulose nanofibres to Schiff-base based antimicrobial membranes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 887–894. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.045>
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2017). International Journal of Biological Macromolecules Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>
- Bastioli, C. (2001). Global status of the production of biobased packaging materials. *Starch-Stärke*, 53(8), 351-355.
- Bonilla, J., & Sobral, P. J. A. (2016). Food Bioscience Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. *Food Bioscience*, 16, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.07.003>
- Bonilla, J., Fortunati, E., Atarés, L., Chiralt, A., & Kenny, J. M. (2014). Food Hydrocolloids Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol e chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*, 35, 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.002>
- Bonilla, J., Poloni, T., Lourenço, R. V., & Sobral, P. J. A. (2018). Food Bioscience Antioxidant potential of eugenol and ginger essential oils with gelatin / chitosan films. *Food Bioscience*, 23 (August 2017), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.03.007>
- C. Lárez-Velásquez. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en química*, 1, 15-21.
- Cagri, A., Ustunol, Z., & Ryser, E. (2004). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, 67(4), 833-848.
- Chang, W., Liu, F., Sharif, H. R., Huang, Z., Goff, H. D., & Zhong, F. (2018). Preparation of chitosan films by neutralization for improving their preservation effects on chilled meat. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.026>
- Chi, K., & Catchmark, J. M. (2018). Food Hydrocolloids Improved eco-friendly barrier materials based on crystalline nanocellulose / chitosan / carboxymethyl cellulose polyelectrolyte complexes. *Food Hydrocolloids*, 80, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.003>

Cie, K., & Sartowska, B. (2016). Modification of the microstructure of the films formed by gamma irradiated starch examined by SEM, 118, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.04.027>

Coelho, C. C. S., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., Pastrana, L. M., Freitas-silva, O., Vicente, A. A. Teixeira, J. A. (2017). Effect of moderate electric fields in the properties of starch and chitosan films reinforced with microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 174, 1181–1191. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.007>

Coffey, D., A., B., & A., H. (1995). Cellulose and cellulose derivatives. En S. Ed, & M. Dekker, *Food polysaccharides and their applications* (págs. 123-153). NewYork: CRC Press.

Costa, M. J., Cerqueira, M. A., Ruiz, H. A., Fougnyes, C., Richel, A., Vicente, A. A., ... Aguedo, M. (2015). Use of wheat bran arabinoxylans in chitosan-based films : Effect on physicochemical properties. *Industrial Crops & Products*, 66, 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.003>

Cutter, C. (2006). Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat Science*, 110(3), 131–42.

Ding, C., Zhang, M., & Li, G. (2015). Preparation and characterization of collagen / hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) blend film. *Carbohydrate Polymers*, 119, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.057>

Dolly, M. R. (2009). Estudio de la Producción de Empaques Plásticos Biodegradables a partir de bioresinas en la Empresa Halcón Plásticos LTDA de Bucaramanga. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander.

Dominguez-Courney, M., & Jiménez-Munguía, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: Propiedades y aplicaciones. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6(2), 110-121.

Durango, A., Soares, N., & Arteaga, M. (2011). Filmes y revestimientos comestibles como empaques activos biodegradables en la conservación de alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 122 - 128.

Elizondo, M. C., Baudrit, J. V., & Gallo, A. C. (2011). Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. *Rev Soc Quím Perú*, 77(4), 292-306.

Erim, F. B., & Kalaycio, Z. (2017). International Journal of Biological Macromolecules Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract, 101, 882–888. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.174>

Escobar-Sierra, D. M., & Perea-Mesa, Y. P. (2017). Manufacturing and evaluation of Chitosan, PVA and Aloe Vera hydrogels for skin applications . *DYNA*, 84(203), 134 - 142.

Esteghlal, S., Niakosari, M., Mohammad, S., Hosseini, H., Reza, G., & Hossein, G. (2016). International Journal of Biological Macromolecules Gelatin-hydroxypropyl

methylcellulose water-in-water emulsions as a new bio-based packaging material. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.065>

Fahs, A., Brogly, M., Bistac, S., & Schmitt, M. (2010). Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) formulated films: Relevance to adhesion and friction surface properties. *Carbohydrate Polymers*, 80(1), 105-114.

Farrag, Y., Malmir, S., Montero, B., Rico, M., Rodríguez-Llamazares, S., Barral, L., & Bouza, R. (2018). Starch edible films loaded with donut-shaped starch microparticles. *LWT*, 98, 62-68.

Ferreira, A. R. V, Torres, C. A. V, Freitas, F., Sevrin, C., Grandfils, C., Reis, M. A. M.Coelhoso, I. M. (2016). Development and characterization of bilayer films of FucoPol and chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 147, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.089>

Fritz., H. (1994). Study of production of thermoplastics and fibers based mainly on biological material. Stuttgart: European commission.

Gabor, D., & Tita, O. (2012). *Acta Universitatis Cibiniensis Series E: Food Technology*, 16(2), 3-19.

Galvis-Sánchez, A. C., Castro, M. C. R., Biernacki, K., Gonçalves, M. P., & Souza, H. K. S. (2018). Natural deep eutectic solvents as green plasticizers for chitosan thermoplastic production with controlled/desired mechanical and barrier properties. *Food Hydrocolloids*, 82, 478–489. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.026>

García, M., Martino, M., & Zaritzky, N. (2000). Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Journal of Food Science*, 65(6), 941-947.

Ghelejlju, S. B., Esmaili, M., & Almasi, H. (2016). International Journal of Biological Macromolecules Characterization of chitosan – nanoclay bionanocomposite active films containing milk thistle extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.02.012>

Giannakas, A., Vlachá, M., Salmas, C., Leontiou, A., Katapodis, P., Stamatis, H., & Barkoula, N. (2016). Preparation, characterization , mechanical , barrier and antimicrobial properties of chitosan / PVOH / clay nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 140, 408–415. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.072>

Gomes, V., Souza, L., Fernando, A. L., Ricardo, J., Pires, A., Freitas, P. Braz, F. M. (2017). Industrial Crops & Products Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial Crops & Products*, 107(February), 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.056>

Gomes, V., Souza, L., Pires, J. R. A., Freitas, P., Lopes, A. A. S., Fernandes, F. M. B., ... Luisa, A. (2018). Bionanocomposites of chitosan / montmorillonite incorporated with *Rosmarinus officinalis* essential oil : Development and physical characterization. *Food*

Packaging and Shelf Life, 16 (April), 148–156.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.009>

Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., & Aponte-Mayor, G. (2014). Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization. *DYNA*, 81(184), 158-163

Gross, R., & Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. *Science*, 297, 803-807.

Grujic, R., Vukic, M., & Gojkovic, V. (2017). Application of Biopolymers in the Food Industry. *Advances in Applications of Industrial Biomaterials*, 103-119.

Gursoy, M., Sargin, I., Mujtaba, M., Akyuz, B., Ilk, S., Akyuz, L. Erdem, N. (2018). International Journal of Biological Macromolecules False flax (*Camelina sativa*) seed oil as suitable ingredient for the enhancement of physicochemical and biological properties of chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 1224–1232. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.029>

Hassan, E. A., Fadel, S. M., & Hassan, M. L. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Influence of TEMPO-oxidized NFC on the mechanical, barrier properties and nisin release of hydroxypropyl methylcellulose bioactive films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 616–622. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.140>

Hoover, R. (2010). The Impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50, 835-847.

Huang, X., Xie, F., & Xiong, X. (2018). Surface-modified microcrystalline cellulose for reinforcement of chitosan film, 2018(March), 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.085>

Hulda Mamani Chambi*, C. F. (2011). Mechanical and water vapor permeability properties of biodegradable films based on methylcellulose, glucomannan, pectin and gelatin. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(3), 739-746.

ICONTEC. (2006). NTC 942: Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión de láminas plásticas delgadas. Bogotá: Icontec Internacional.

INEI. (2006). Glosario básico de términos estadísticos. Lima: Instituto Nacional de Estadística.

Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis*. New Delhi: John Wiley & Sons, Ltd.

J.J., K., & O., F. (1999). Thermoreversible gelation of aqueous methylcellulose solutions. *Macromolecules*, 32, 7070-7077.

Jafari, H., Pirouzifard, M., Khaledabad, M. A., & Almasi, H. (2016). International Journal of Biological Macromolecules Effect of chitin nanofiber on the morphological and physical properties of chitosan / silver nanoparticle bionanocomposite films.

International Journal of Biological Macromolecules, 92, 461–466.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.051>

Jensen, A., Lim, L., & Barbut, S. (2015). Development and characterization of soy protein films incorporated with cellulose fibers using a hot surface casting technique. *LWT-Food Sci Technol*, 60, 162–170.

Jiang, S., Liu, C., Wang, X., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). *LWT - Food Science and Technology* Physicochemical properties of starch nanocomposite films enhanced by self-assembled potato starch nanoparticles. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.053>

Kadam, D., & Lele, S. S. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Cross-linking effect of polyphenolic extracts of *Lepidium sativum* seedcake on physicochemical properties of chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 1240–1247. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.018>

Kadam, D., Shah, N., Palamthodi, S., & Lele, S. S. (2018). An investigation on the effect of polyphenolic extracts of *Nigella sativa* seedcake on physicochemical properties of chitosan-based films. *Carbohydrate Polymers*, 192(November 2017), 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.052>

Kaewklin, P., Siripatrawan, U., Suwanagul, A., & Suk, Y. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 523–529. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.124>

Kenny, M., Peponi, L., Sessini, V., & Arrieta, M. P. (2016). Processing of edible films based on nanoreinforced gelatinized starch, 132. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.02.026>

Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016). *Food Hydrocolloids* Barrier properties, mechanical properties and antimicrobial activity of hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite films incorporated with Thai essential oils. *Food Hydrocolloids*, 61, 609–616. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.018>

Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016). *LWT - Food Science and Technology* Combination of beeswax and nanoclay on barriers, sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.003>

Klemm, D., Heublein, B., Fink, H., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358-3393.

Krochta, J., Baldwin, E., & Nisperos-Carriedo. (1994). *Coatings and Films to Improve Food Quality*. Pennsylvania: Technomic.

Kumar, T., Gope, S., Mondal, D., Bhowmik, B., Rahaman, M., Maity, D. Chattopadhyay, D. (2014). International Journal of Biological Macromolecules Assessment of morphology and property of graphene oxide-

hydroxypropylmethylcellulose nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66, 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.02.054>

Lamarra, J., Giannuzzi, L., Rivero, S., & Pinotti, A. (2017). Assembly of chitosan support matrix with gallic acid-functionalized nanoparticles. *Materials Science & Engineering C*, 79, 848–859. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.104>

Leceta, I., Guerrero, P., Ibarburu, I., Dueñas, M. T., & Caba, K. De. (2013). Characterization and antimicrobial analysis of chitosan-based films. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 889–899. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.022>

Lee, M. H., Kim, S. Y., & Park, H. J. (2018). Food Hydrocolloids Effect of halloysite nanoclay on the physical, mechanical, and antioxidant properties of chitosan films incorporated with clove essential oil. *Food Hydrocolloids*, 84(April), 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.048>

Li, J., Ye, F., Liu, J., & Zhao, G. (2015). Food Hydrocolloids Effects of octenylsuccination on physical, mechanical and moisture-proof properties of stretchable sweet potato starch film. *Food Hydrocolloids*, 46, 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.017>

Li, X., Tu, H., Huang, M., Chen, J., Shi, X., Deng, H. Du, Y. (2017). *International Journal of Biological Macromolecules* Incorporation of lysozyme-rectorite composites into chitosan films for antibacterial properties enhancement, 102, 789–795. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.076>

Liu, J., Liu, S., Wu, Q., Gu, Y., Kan, J., & Jin, C. (2017). Food Hydrocolloids Effect of protocatechuic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antioxidant properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*, 73, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.035>

Liu, J., Meng, C., Liu, S., Kan, J., & Jin, C. (2017). Food Hydrocolloids Preparation and characterization of protocatechuic acid grafted chitosan films with antioxidant activity. *Food Hydrocolloids*, 63, 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.035>

Liu, P., Wang, R., Kang, X., Cui, B., & Yu, B. (2018). Ultrasonics - Sonochemistry Effects of ultrasonic treatment on amylose-lipid complex formation and properties of sweet potato starch-based films. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 44(February), 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.029>

Ma, W., Tang, C., Yang, X., & Yin, S. (2013). Food Hydrocolloids Fabrication and characterization of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L) protein isolate e chitosan composite films at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 31(2), 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.007>

Ma, X., Lv, M., Anderson, D. P., & Chang, P. R. (2017). Food Hydrocolloids Natural polysaccharide composites based on modified cellulose spheres and plasticized chitosan matrix. *Food Hydrocolloids*, 66, 276–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.038>

- Mali, S., Sakanaka, L., Yamashita, F., & Grossmann, M. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydr. Polym*, 60(3), 283–289.
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food Packaging—Roles, materials and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), 39-55.
- Mchugh, T., & Krochta, J. (1994). Sorbitol vs Glycerol-Plasticized whey protein edible films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4), 841-845.
- Mensitieri, G., Di-Maio, E., Buonocore, G., Nedi, I., & Oliviero, M. (2011). Processing and shelf life issues of selected food packaging materials and structures from renewable resources. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2), 72–80.
- Mondal, D., Bhowmick, B., Mollick, M. R., Maity, D., Mukhopadhyay, A., Rana, D., & Chattopadhyay, D. (2013). Effect of clay concentration on morphology and properties of hydroxypropylmethylcellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.064>
- Moraes, T. De, Oliveira, A. De, Alves, V. D., & Hickmann, S. (2018). Food Hydrocolloids Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace, 74, 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.007>
- Moreno, O., Atarés, L., & Chiralt, A. (2015). Effect of the incorporation of antimicrobial / antioxidant proteins on the properties of potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, 133, 353–364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.047>
- Mujtaba, M., Salaberria, A. M., Andres, M. A., Kaya, M., Gunyakti, A., & Labidi, J. (2017). International Journal of Biological Macromolecules Utilization of flax (*Linum usitatissimum*) cellulose nanocrystals as reinforcing material for chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 944–952. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.127>
- Navia, D. P., Ayala, A. A., & Villada, H. S. (2014). Interacciones empaque-alimento: migración. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 248.
- Nemazifard, M., Kavooosi, G., Marzban, Z., & Ezedi, N. (2017). Physical, mechanical, water binding, and antioxidant properties of cellulose dispersions and cellulose film incorporated with pomegranate seed extract. *International Journal of Food Properties*, 20(S2), S1501-S1514.
- Nouri, A., Tavakkoli, M., & Ghorbanpour, M. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Enhanced Antibacterial effect of chitosan film using Montmorillonite / CuO nanocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1219–1231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.119>
- Novo, M. (2009). La educación ambiental, una genuina educación para el desarrollo sostenible. *Revista de Educación*, 195-217.

Orozco, E. (2017). *Elaboración y caracterización de películas de mucilago de nopal-pectina: efecto de la concentración del mucilago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas*. Ciudad de México: UAEMEX.

Otoni, C. G., Lodi, B. D., Lorevice, M. V, Leitão, R. C., Ferreira, M. D., Moura, M. R. De, & Mattoso, L. H. C. (2018). Industrial Crops & Products Optimized and scaled-up production of cellulose-reinforced biodegradable composite films made up of carrot processing waste. *Industrial Crops & Products*, 121 (November 2017), 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.003>

Otoni, C. G., Lorevice, M. V, Moura, M. R. De, & Mattoso, L. H. C. (2018). On the Effects of hydroxyl substitution degree and molecular weight on mechanical and water barrier properties of hydroxypropyl methylcellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 185(November 2017), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.016>

Park, H., & Chinnan, M. S. (1995). Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. *J Food Eng*, 25, 497-507.

Peelman, N., Ragaert, P., DeMeulenaer, B., Adons, D., & Peeters, R. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 128-141.

Peng, Y., Wu, Y., & Li, Y. (2013). International Journal of Biological Macromolecules Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019>

Pereda, M., Dufresne, A., Aranguren, M. I., & Marcovich, N. E. (2014). Polyelectrolyte films based on chitosan / olive oil and reinforced with cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 101, 1018–1026. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.046>

Perone, N., Torrieri, E., Adalgisa, M., Cavella, S., Addeo, F., & Masi, P. (2014). ScienceDirect Structure and properties of hydroxypropyl methyl cellulose — Sodium caseinate film cross-linked by TGase. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(2), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.03.002>

Phillips, M., Epps, A. V., Johnson, N., & Zwicky, D. (2018). Effective Engineering Information Literacy Instruction: A Systematic Literature Review. *The Journal of Academic Librarianship*.

Pongrácz, E. (2007). *The Environmental Impacts of Packaging*. In M. Kutz, *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing* (pp. 237 - 278). Oulu, Finland: John Wiley & Sons, Inc.

Priyadarshi, R., Kumar, B., & Negi, Y. S. (2018). Chitosan film incorporated with citric acid and glycerol as an active packaging material for extension of green chilli shelf life. *Carbohydrate Polymers*, 195 (April), 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.089>

Priyadarshi, R., Kumar, B., Deeba, F., & Kulshreshtha, A. (2018). *Food Hydrocolloids* Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil as

active food packaging material. *Food Hydrocolloids*, 85(July), 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.003>

Rahmani, B., Hosseini, H., Khani, M., Farhoodi, M., Honarvar, Z., Feizollahi, E.; Shojaee-aliabadi, S. (2017). International Journal of Biological Macromolecules Development and characterisation of chitosan or alginate-coated low density polyethylene films containing *Satureja hortensis* extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.002>

Ramachandran, H., Iqbal, N., Sipaut, C., & Abdullah, A. (2011). Biosynthesis and Characterization of Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate-co-4-hydroxybutyrate) Terpolymer with Various Monomer Compositions by *Cupriavidus* sp. USMAA2-4. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 164(6), 867–877.

Rezaee, M., Askari, G., Emamdjomeh, Z., & Salami, M. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Effect of organic additives on physiochemical properties and anti-oxidant release from chitosan-gelatin composite films to fatty food simulant. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 844–850. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.122>

Rhim, J., & Ng, P. (2007). Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(4), 411–433.

Riaz, A., Lei, S., Akhtar, S., Wan, P., Chen, D., Jabbar, S., Zeng, X. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with apple peel polyphenols, 114, 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.126>

Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: properties and applications, *Progress in polymer science*, 603-632.

Rui, L., Xie, M., Hu, B., Zhou, L., Yin, D., & Zeng, X. (2017). A comparative study on chitosan / gelatin composite films with conjugated or incorporated gallic acid. *Carbohydrate Polymers*, 173, 473–481. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.072>

Sabiha-Hanim, S., & Siti-Norsafurah, A. (2012). Physical Properties of Hemicellulose Films from Sugarcane Bagasse. *Procedia Engineering*, 42 (August), 1390–1395.

Sadegh-hassani, F., & Nafchi, A. M. (2014). International Journal of Biological Macromolecules Preparation and characterization of bionanocomposite films based on potato starch / halloysite nanoclay. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.009>

Salaberria, A. M., Diaz, R. H., Labidi, J., & Fernandes, S. C. M. (2015). Reactive & Functional Polymers preparing valuable renewable nanocomposite films based exclusively on oceanic biomass – Chitin nanofillers and chitosan. *Reactive and functional polymers*, 89, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2015.03.003>

Salari, M., Sowti, M., Rezaei, R., & Ghanbarzadeh, B. (2018). *Food Hydrocolloids* Development and evaluation of chitosan based active nanocomposite films containing

bacterial cellulose nanocrystals and silver nanoparticles, 84(May), 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.037>

Sánchez-gonzález, L., Iván, J., Saavedra, Q., & Chiralt, A. (2013). Food Hydrocolloids Physical properties and antilisterial activity of bioactive edible films containing *Lactobacillus plantarum*. *Food Hydrocolloids*, 33(1), 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.011>

Santacruz, S., Rivadeneira, C., & Castro, M. (2015). Food Hydrocolloids Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food Hydrocolloids*, 49, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.019>

Seniha-Güner, F., Yağcı, Y., & Erciyes, A. (2006). Polymers from triglyceride oils. *Progress in Polymer Science*, 31(7), 633–670.

Shackelford, J. (2005). Mechanical properties. En *Introduction to materials science* (págs. 177-232). Pearson Education Inc.

Shankar, S., & Rhim, J. (2018). Food Hydrocolloids Preparation of sulfur nanoparticle-incorporated antimicrobial chitosan films. *Food Hydrocolloids*, 82, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.054>

Shen, Z., & Kamdem, D. P. (2015). *International Journal of Biological Macromolecules* Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 74, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.046>

Silva, R. T. De, Mantilaka, M. M. M. G. P. G., Ratnayake, S. P., Amaratunga, G. A. J., & Silva, K. M. N. De. (2017). Nano-MgO reinforced chitosan nanocomposites for high performance packaging applications with improved mechanical, thermal and barrier properties. *Carbohydrate Polymers*, 157, 739–747. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.038>

Šimkova, D., Lachman, J., Hamouz, K., & Vokal, B. (2013). Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chemistry*, 141, 3872–3880.

Simkovic, I. (2013). Unexplored possibilities of all-polysaccharide composites. *Carbohydrate Polymers*, 95, 697–715.

Siripatrawan, U., & Kaewklin, P. (2018). Food Hydrocolloids Fabrication and characterization of chitosan-titanium dioxide nanocomposite film as ethylene scavenging and antimicrobial active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 84, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.049>

Siripatrawan, U., & Vitchayakitti, W. (2016). Food Hydrocolloids improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. *Food Hydrocolloids*, 61, 695–702. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.001>

- Sivaselvi, K., & Ghosh, P. (2017). ScienceDirect Characterization of modified Chitosan thin film. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 442–451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.043>
- Sivaselvi, K., & Ghosh, P. (2018). ScienceDirect Polymer thin film coating on Biomaterial. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3418–3424. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.587>
- Smith, W. (2004). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Mexico: McGraw-Hill.
- Sogut, E., & Seydim, A. C. (2018). The Effects of Chitosan and grape seed extract-based edible films on the quality of vacuum packaged chicken breast fillets, 18(July), 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.07.006>
- Song, T. (2004). *Fundamentals of probability and statistics for engineers*. New York: John Willey & Sons, Ltd.
- Soni, B., Barbary, E., Schilling, M. W., & Mahmoud, B. (2016). Transparent bionanocomposite films based on chitosan and TEMPO-oxidized cellulose nanofibers with enhanced mechanical and barrier properties. *Carbohydrate Polymers*, 151, 779–789. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.022>
- Souza, B., Cerqueira, M., Martins, J., & Casariego, A. (2010). Influence of electric fields on the structure of chitosan edible coatings. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 330–335.
- Sun, L., Sun, J., Chen, L., Niu, P., Yang, X., & Guo, Y. (2017). Preparation and characterization of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active packaging material. *Carbohydrate Polymers*, 163, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.016>
- Tabi, T., Sajo, I., Szabo, F., Luyt, A., & Kovacs, J. (2010). Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing. *Express Polym Lett*, 4(10), 659–668.
- Tan, Y. M., Lim, S. H., Tay, B. Y., Lee, M. W., & Thian, E. S. (2015). Functional chitosan-based grapefruit seed extract composite films for applications in food packaging technology. *Materials Research Bulletin*, 69, 142–146. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.11.041>
- Thakhiew, W., Champahom, M., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2015). Improvement of mechanical properties of chitosan-based films via physical treatment of film-forming solution. *Journal of Food Engineering*, 158, 66–72.
- Thiré, M., Simão, R., & Andrade, T. (2003). Investigation of the surface morphology of plasticized cornstarch films,. *Acta Micro*, 175–179.
- USevilla. (03 de 07 de 2018). Universidad Sevilla. Obtenido de Ensayos Mecánicos: <https://rodas5.us.es/items/9e078194-9c0c-34a2-b657-0fd5c59d6a2f/2/viewscorm.jsp>
- Valero-Valdivieso, M., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y Perspectivas. *DYNA*, 80(181), 171–180.

- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223-230.
- Vargas, M., Pastor, C., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martíne. (2008). Development of Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: Possibilities and Limitations. *Fresh Produc*, 2, 32-40.
- Várum, K., & Smidsrad, O. (1995). Chitosans. En S. Ed, & M. Dekker, *Food polysaccharides and their applications* (págs. 551-537). NewYork: CRC Press.
- Vasnev, V., Tarasov, A., Markova, G., Vinogradova, S., & O. Garkusha. (2006). Synthesis and properties of acylated chitin and chitosan derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 64, 184-189.
- Vaštag, G., Popovic, S. Z., Markov, S. L., Šuput, D. Z., Hromiš, N. M., Lazic, V. L., Popovic, L. M. (2015). Optimization of chitosan biofilm properties by addition of caraway essential oil and beeswax. *Food Engineering*, 158, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.001>
- Vieira, M., AltenhofenDaSilva, M., OliveiraDosSantos, L., & Beppu, M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254–263.
- Vilela, C., Pinto, R. J. B., Coelho, J., Domingues, M. R. M., Daina, S., Santos, A. O., Sadocco, P. (2017). Food Hydrocolloids Bioactive chitosan / ellagic acid films with UV-light protection for active food packaging, 73, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.037>
- Villada, H., & Acosta, H. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*, 12(2), 5-13.
- Vlacha, M., Giannakas, A., Katapodis, P., Stamatis, H., Ladavos, A., & Barkoula, N. (2016). Food Hydrocolloids On the efficiency of oleic acid as plasticizer of chitosan / clay nanocomposites and its role on thermo-mechanical, barrier and antimicrobial properties e Comparison with glycerol. *Food Hydrocolloids*, 57, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.003>
- Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable Polymers. *Materials*, 2(2), 307-344.
- Wang, Q., & Padua, G. (2005). Properties of zein films coated with drying oils. *Agric Food Chem*, 53, 3444–3448.
- Wang, Y., Yu, L., Xie, F., Li, S., Sun, Q., Liu, H., & Chen, L. (2018). Industrial Crops & Products On the investigation of thermal / cooling-gel biphasic systems based on hydroxypropyl methylcellulose and hydroxypropyl starch. *Industrial Crops & Products*, 124(July), 418–428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.010>
- Wang, Y., Yu, L., Xie, F., Zhang, L., Liao, L., Liu, H., & Chen, L. (2016). Morphology and properties of thermal / cooling-gel bi-phasic systems based on hydroxypropyl methylcellulose and hydroxypropyl starch. *Composites Part B*, 101, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.06.081>

- Wolfe, D. (1996). *Química General, Orgánica y Biológica*. McGraw-Hill.
- Wu, M., Wang, L., Li, D., Mao, Z., & Adhikari, B. (2013). Effect of flaxseed meal on the dynamic mechanical properties of starch-based films. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.017>
- Wu, Y., Ying, Y., Liu, Y., Zhang, H., & Huang, J. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Preparation of chitosan / poly vinyl alcohol films and their inhibition of bio film formation against *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 2131–2137. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.061>
- Yang, W., Owczarek, J. S., Fortunati, E., Kozanecki, M., Mazzaglia, A., Balestra, G. M., Puglia, D. (2016). Antioxidant and antibacterial lignin nanoparticles in polyvinyl alcohol / chitosan films for active packaging. *Industrial Crops & Products*, 94, 800–811. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.061>
- Yoshida, C. M. P., Borges, V., Maciel, V., Eleonora, M., & Mendonça, D. (2014). LWT - Food Science and Technology Chitosan biobased and intelligent films : Monitoring pH variations. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.015>
- Youssef, A. M., Abou-yousef, H., El-sayed, S. M., & Kamel, S. (2015). International Journal of Biological Macromolecules Mechanical and antibacterial properties of novel high performance chitosan / nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 76, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.02.016>
- Yu, Z., Li, B., Chu, J., & Zhang, P. (2018). Silica in situ enhanced PVA / chitosan biodegradable films for food packages. *Carbohydrate Polymers*, 184(December 2017), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.043>
- Yuni, J., & Urbano, C. (2014). *Técnicas para investigar*. Argentina: Brujas. .
- Zdanowicz, M., & Johansson, C. (2016). Mechanical and barrier properties of starch-based films plasticized with two- or three component deep eutectic solvents. *Carbohydrate Polymers*, 151, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.061>
- Zhang, L., Lu, Y., Peng, Y., Yu, Y., Zhao, Y., Ma, Y., & Qian, J. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Microstructures and properties of photophobic films composed of hydroxypropyl methylcellulose and different salts, 120, 945–951. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.011>
- Zhang, L., Wang, X., Liu, H., Yu, L., Wang, Y., Simon, G. P., & Qian, J. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Effect of plasticizers on microstructure, compatibility and mechanical property of hydroxypropyl methylcellulose / hydroxypropyl starch blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, 119, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.064>
- Zhang, L., Zhao, Y., Qian, J., Jiang, S., Liu, J., & He, X. (2017). Relationship between multi-scale structures and properties of photophobic films based on hydroxypropyl methylcellulose and monosodium phosphate. *Carbohydrate Polymers*, 174, 572–579. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.083>

Zhang, W., Chen, J., Chen, Y., Xia, W., Xiong, Y. L., & Wang, H. (2016). Enhanced physicochemical properties of chitosan / whey protein isolate composite film by sodium laurate-modified TiO₂ nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 138, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.031>

Zhang, X., Xiao, G., Wang, Y., Zhao, Y., Su, H., & Tan, T. (2017). Preparation of chitosan-TiO₂ composite film with efficient antimicrobial activities under visible light for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 169, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.073>

ANEXOS

ANEXO A: Información sobre los artículos seleccionados

Publicaciones de quitosano

Cód.	AÑO	AUTORES
C1	2018	Sogut, E.; Seydim, A. C.
C2	2018	Xuejiao Huang; Fei Xie; Xiaopeng Xiong
C3	2018	Priyadarshi, R., Sauraj, Kumar, B., Deebea, F., Kulshreshtha, A., & Negi, Y. S.
C4	2018	Abeer Adel; Amira El-Shafei; Atef Ibrahim; Mona Al-Shemy
C5	2018	Ubonrat Siripatrawan, Patinya Kaewklin
C6	2018	Min Hyeock Lee, Seong Yeon Kim, Hyun Jin Park
C7	2018	Mahdieh Salari, Mahmood Sowti Khiabani, Reza Rezaei Mokarram, Babak Ghanbarzadeh, Hossein Samadi Kafil
C8	2018	Wu, Yunbo; Ying, Ye; Liu, Yuhong; Zhang, Haijiang; Huang, Jianying
C9	2018	Wei Chang; Fei Liu; Hafiz Rizwan Sharif; Zhengnong Huang; H.Douglas Goff; Fang Zhong
C10	2018	Shankar, S., & Rhim, J. W.
C11	2018	Priyadarshi, R., Sauraj, Kumar, B., & Negi, Y. S.
C12	2018	Ehsan Azadbakht; Yahya Maghsoudlou; Morteza Khomiri; Mahboobeh Kashiri
C13	2018	Akyuz, L.; Kaya, M.; Mujtaba, M.; Ilk, S.; Sargin, I.; Salaberria, A. M.; Islek, C.
C14	2018	Almeida, C. M. R., Magalhães, J. M. C. S., Souza, H. K. S., & Gonçalves, M. P.
C15	2018	Gursoy, Mehtap; Sargin, Idris; Mujtaba, Muhammad; Akyuz, Bahar; Ilk, Sedef; Akyuz, Lalehan; Kaya, Murat; Cakmak, Yavuz S; Salaberria, Asier M; Labidi, Jalel
C16	2018	Riaz, A., Lei, S., Akhtar, H. M. S., Wan, P., Chen, D., Jabbar, S., ... Zeng, X.
C17	2018	Kadam, Deepak; Lele, S S
C18	2018	Rezaee, Mahsa; Askari, Gholamreza; EmamDjomeh, Zahra; Salami, Maryam
C19	2018	Kadam, Deepak; Shah, Nirali; Palamthodi, Shanooba; Lele, S S
C20	2018	Chi, K., & Catchmark, J. M.
C21	2018	Victor Gomes Lauriano Souza; João R.A. Pires; Patricia Freitas Rodrigues; Andreia A.S. Lopes; Francisco M.B. Fernandes; Maria Paula Duarte; Isabel M. Coelho; Ana Luisa Fernando
C22	2018	Kaewklin, P.; Siripatrawan, U.; Suwanagul, A; Lee, Y. S.
C23	2018	Jeannine Bonilla; Talita Poloni; Rodrigo V. Lourenço; Paulo J.A. Sobral
C24	2018	Akyuz, L., Kaya, M., Ilk, S., Cakmak, Y. S., Salaberria, A. M., Labidi, J., ... Sargin, I.
C25	2018	Afsaneh Nouri, Mohammad Tavakkoli Yarak, Mohammad Ghorbanpour, Shilpi Agarwal, Vinod Kumar Gupta
C26	2018	Zhen Yu; Baoqiang Li; Jiayu Chu; Peifeng Zhang
C27	2018	de Moraes Crizel, T.; de Oliveira Rios, A.; D. Alves, V.; Bandarra, N.; Moldão-Martins, M.; Hickmann Flôres, S.
C28	2018	K. Sivaselvi; Pijush Ghosh

C29	2017	Balti, R., Mansour, M. B., Sayari, N., Yacoubi, L., Rabaoui, L., Brodu, N., & Massé, A.
C30	2017	Vilela, C.; Pinto, R. J. B.; Coelho, J.; Domingues, M. R. M.; Daina, S.; Sadocco, P.; Freire, C. S. R.
C31	2017	Liu, J., Liu, S., Wu, Q., Gu, Y., Kan, J., & Jin, C.
C32	2017	Rahmani, Bahareh; Hosseini, Hedayat; Khani, Mohammadreza; Farhoodi, Mehdi; Honarvar, Zohreh; Feizollahi, Ehsan; Shokri, Babak; Shojaee-Aliabadi, Saeedeh
C33	2017	Souza, V. G. L.; Fernando, A. L.; Pires, J. R. A.; Rodrigues, P. F.; Lopes, A. A. S.; Fernandes, F. M. B.
C34	2017	Mujtaba, M.; Salaberria, A. M.; Andres, M. A.; Kaya, M.; Gunyakti, A.; Labidi, J.
C35-P17	2017	Coelho, Caroline C S; Cerqueira, Miguel A; Pereira, Ricardo N; Pastrana, Lorenzo M; Freitas-Silva, Otniel; Vicente, António A; Cabral, Lourdes M C; Teixeira, José A
C36	2017	Ahmed, J.; Mulla, M.; Arfat, Y. A.; Thai T, L. A.
C37	2017	Lamarra, J; Giannuzzi, L; Rivero, S; Pinotti, A
C38	2017	Liyun Rui; Minhao Xie; Bing Hu; Li Zhou; Danyang Yin; Xiaoxiong Zeng
C39	2017	Li, X.; Tu, H.; Huang, M.; Chen, J.; Shi, X.; Deng, H.; Du, Y.
C40	2017	Kalaycioğlu, Z., Torlak, E., Akın-Evingür, G., Özen, İ., & Erim, F. B.
C41	2017	Zhang, X.; Xiao, G.; Wang, Y.; Zhao, Y.; Su, H.; Tan, T.
C42	2017	Sun, L., Sun, J., Chen, L., Niu, P., Yang, X., & Guo, Y.
C43	2017	Xiaofei Ma; Miaomiao Lv; Debbie P. Anderson; Peter R. Chang
C44	2017	De Silva, R. T.; Mantilaka, M. M. M. G. P. G.; Ratnayake, S. P.; Amaratunga, G. A. J.; deSilva, K. M. N.
C45	2017	Liu, J.; Meng, C.guang; Liu, S.; Kan, J.; Jin, C.hai.
C46	2017	Sivaselvi, K.; Ghosh, P.
C47	2016	Yang, W.; Owczarek, J. S.; Fortunati, E.; Kozanecki, M.; Mazzaglia, A.; Balestra, G. M.; Puglia, D.
C48	2016	Siripatrawan, U.; Vitchayakitti, W.
C49	2016	Bonilla, J.;Sobral, P.J.A.
C50	2016	Jafari, H.; Pirouzifard, M. K.; Khaledabad, M. A.; Almasi, H.
C51	2016	Soni, B.; Hassan, E. B.; Schilling, M. W.; Mahmoud, B.
C52	2016	Abdulhadi Aljawish; Lionel Muniglia; Amira Klouj; Jordane Jasniewski; Joël Scher; Stephane Desobry
C53	2016	Bansal, Monica; Chauhan, Ghanshyam S; Kaushik, Anupama; Sharma, Avantika
C54	2016	Ferreira, A. R. V.; Torres, C. A. V.; Freitas, F.; Sevrin, C.Grandfils, C.; Reis, M. A. M.; Coelho, I. M.
C55	2016	Vlacha, M., Giannakas, A., Katapodis, P., Stamatis, H., Ladavos, A., & Barkoula, N. M.
C56	2016	Beigzadeh Ghelejlou, Sara; Esmaili, Mohsen; Almasi, Hadi
C57	2016	Giannakas, A.; Vlacha, M.; Salmas, C.; Leontiou, A.; Katapodis, P.; Stamatis, H.; Ladavos, A.
C58	2016	Zhang, W.; Chen, J.; Chen, Y.; Xia, W.; Xiong, Y. L.; Wang, H.
C59	2015	Tan, Y. M.; Lim, S. H.; Tay, B. Y.; Lee, M. W.; Thian, E. S.
C60	2015	Hromiš, N. M.; Lazić, V. L.; Markov, S. L.; Vaštag, Ž. G.; Popović, S. Z.; Šuput, D. Z.; Popović, L. M.
C61	2015	Youssef, A. M.; Abou-Yousef, H.; El-Sayed, S. M.; Kamel, S.
C62	2015	Salaberria, A. M.; Diaz, R. H.; Labidi, J.; Fernandes, S. C. M.

C63	2015	Costa, M. J.; Cerqueira, M. A.; Ruiz, H. A.; Fougnyes, C.; Richel, A.; Vicente, A. A.; Aguedo, M.
C64	2015	Shen, Z.; Kamdem, D. P.
C65	2015	Pereira, V. A.; de Arruda, I. N. Q.; Stefani, R.
C66	2014	Bonilla, J.; Fortunati, E.; Atarés, L.; Chiralt, A.; Kenny, J. M.
C67	2014	Pereda, M.; Dufresne, A.; Aranguren, M. I.; Marcovich, N. E.
C68	2014	Yoshida, C. M. P.; Maciel, V. B. V.; Mendonça, M. E. D.; Franco, T. T.
C69	2013	Peng, Y.; Wu, Y.; Li, Y.
C70	2013	Ma, W.; Tang, C.-H.; Yang, X.-Q.; Yin, S.-W.
C71	2013	Leceta, I.; Guerrero, P.; Ibarburu, I.; Dueñas, M. T.; De La Caba, K.
C72-col	2017	Escobar-Sierra, Diana Marcela; Perea-Mesa, Yuli Paola.
C73-col	2018	Grande-Tovar, Carlos David; Serio, Annalisa; Delgado-Ospina, Johannes; Paparella, Antonello; Rossi, Chiara; Chaves-López, Clemencia
C74-col	2017	Grande, Carlos David; Mangadlao, Joey; Fan, Jingjing; De Leon, Al; Delgado-Ospina, Johannes; Rojas, Juan Gabriel; Rodrigues, Debora F.; Advincula, Rigoberto
C75-col	2014	J. Velásquez-Cock; E. Ramírez; S. Betancourt; J.-L. Putaux; M. Osorio; C. Castro; P. Gañán; R. Zuluaga
C76-col	2018	Homez-Jara, A., Daza, L. D., Aguirre, D. M., Muñoz, J. A., Solanilla, J. F., & Váquiro, H. A.

Publicaciones HPMC

Cód	AÑO	AUTORES
H1	2018	Zhang, L.; Lu, Y.; Peng, Y.; Yu, Y.; Zhao, Y.; Ma, Y.; Qian, J.
H2	2018	Wang, Y.; Yu, L.; Xie, F.; Li, S.; Sun, Q.; Liu, H.; Chen, L.
H3	2018	Zhang, L.; Wang, X. F.; Liu, H.; Yu, L.; Wang, Y.; Simon, G. P.; Qian, J.
H4	2018	Otoni, C. G.; Lodi, B. D.; Lorevice, M. V.; Leitão, R. C.; Ferreira, M. D.; Moura, M. R. d.; Mattoso, L. H. C.
H5	2018	Hassan, E. A.; Fadel, S. M.; Hassan, M. L.
H6	2018	Otoni, C. G., Lorevice, M. V., Moura, M. R. d., & Mattoso, L. H. C.
H7	2017	Zhang, L.; Zhao, Y.; Qian, J. Y.; Jiang, S.; Liu, J.; He, X. L.
H8	2016	Klangmuang, P., & Sothornvit, R.
H9	2016	Yanfei Wang; Long Yu; Fengwei Xie; Liang Zhang; Ling Chen
H10	2016	Esteghlal, S.; Niakosari, M.; Hosseini, S. M. H.; Mesbahi, G. R.; Yousefi, G. H.
H11	2016	Klangmuang, P., & Sothornvit, R.
H12	2015	Ding, C.; Zhang, M.; Li, G.
H13	2014	Perone, N.; Torrieri, E.; Nicolai, M. A.; Cavella, S.; Addeo, F.; Masi, P.
H14	2014	Ghosh, T. K.; Gope, S.; Mondal, D.; Bhowmik, B.; Mollick, M. M. R.; Maity, D.; Chattopadhyay, D.
H15	2013	Sánchez-González, L.; Quintero Saavedra, J. I.; Chiralt, A.
H16	2013	Mondal, D.; Bhowmik, B.; Mollick, M. M. R.; Maity, D.; Mukhopadhyay, A.; Rana, D.; Chattopadhyay, D.
H17	2013	Akhtar, M. J.; Jacquot, M.; Jamshidian, M.; Imran, M.; Arab-Tehrany, E.; Desobry, S.

Publicaciones Almidón de papa

Cód	AÑO	AUTORES
P1	2018	Aguirre-Loredo, R. Y., Velazquez, G., Gutierrez, M. C., Castro-Rosas, J., Rangel-Vargas, E., & Gómez-Aldapa, C. A.
P2	2018	Liu, P.; Wang, R.; Kang, X.; Cui, B.; Yu, B.
P3	2017	Basiak, E.; Lenart, A.; Debeaufort, F.
P4	2016	Oleyaei, S. A.; Almasi, H.; Ghanbarzadeh, B.; Moayedi, A. A.
P5	2016	Zdanowicz, M.; Johansson, C.
P6	2016	Sessini, V., Arrieta, M. P., Kenny, J. M., & Peponi, L.
P7	2016	Oleyaei, S. A.; Zahedi, Y.; Ghanbarzadeh, B.; Moayedi, A. A.
P8	2016	Jiang, S.; Liu, C.; Wang, X.; Xiong, L.; Sun, Q.
P9	2014	Cieśla, K., & Sartowska, B.
P10	2015	Moreno, O.; Atarés, L.; Chiralt, A.
P11	2015	S. Santacruz; C. Rivadeneira; M. Castro
P12	2015	Li, J.; Ye, F.; Liu, J.; Zhao, G.
P13	2014	Cano, A.; Jiménez, A.; Cháfer, M.; González, C.; Chiralt, A.
P14	2014	Sadegh-Hassani, F.; Mohammadi Nafchi, A.
P15	2013	Aila-Suárez, Selene; Palma-Rodríguez, Heidi M; Rodríguez-Hernández, Adriana I; Hernández-Uribe, Juan P; Bello-Pérez, Luis A; Vargas-Torres, Apolonio
P16	2013	Min Wu; Li-jun Wang; Dong Li; Zhi-huai Mao; Benu Adhikari
C35- P17	2017	Coelho, Caroline C S; Cerqueira, Miguel A; Pereira, Ricardo N; Pastrana, Lorenzo M; Freitas-Silva, Otniel; Vicente, António A; Cabral, Lourdes M C; Teixeira, José A
P18- col	2014	Montoya, U.; Zuluaga, R.; Castro, C.; Goyanes, S.; Gañán, P.

ANEXO B: Definiciones de análisis estadístico

Cuenta: Es la suma total del conjunto de muestras valoradas.

Valor mínimo: Es el menor de los valores de todos los elementos examinados en un conjunto.

Valor máximo: Es el mayor de los valores de todos los elementos examinados en un conjunto.

Rango (Recorrido): Establece la amplitud entre un conjunto de valores, obtenido entre la diferencia del valor mayor por el menor.

Distribución de Frecuencia: es la agrupación de datos en categorías o clases independientes, entregando la frecuencia absoluta acumulada o número de apariciones de un valor en un conjunto de datos, denotado por la siguiente ecuación:

$$N_i = n_1 + n_2 + \dots + n_i = \sum_{j=1}^i n_j$$

Media (Promedio): Medida de la tendencia central, obtenido al dividir la suma del conjunto de datos por el número de muestras, expresado mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde:

\bar{x} : Media de los valores observados

x_n : Último valor registrado

n: número total de muestras examinadas

Mediana: Es el punto medio de una distribución de valores, inicialmente ordenados de menor a mayor:

$$\tilde{X} = Li + \frac{\left(\frac{N}{2}\right) - N_{i-1}}{n_i} \cdot c_i$$

Donde:

Li: Es el límite inferior de la mediana

N_{i-1} : Frecuencia absoluta acumulada de la clase media

N: Total de muestras

n_i : Frecuencia de la clase media

c_i : Amplitud del intervalo de la clase media

Cuartiles: Se establece como una medida de posición no central, que dividen la distribución en cuatro intervalos (cada uno contiene el 25% de la distribución). Q1 representa el primer cuartil (25% de la distribución menor), El cuartil Q2 contiene el 50% de la distribución y es igual a la mediana. Finalmente Q3 es el cuartil que contiene el 75% de la distribución. Los cuartiles se representan mediante la siguiente ecuación:

$$Q_r = L_i + \left(\frac{\left(\frac{rN}{4}\right) - N_{i-1}}{n_i} \right) (c)$$

Donde:

Q_r : Cuartil que se desea calcular

L_i : Límite inferior del cuartil

N: Total de datos

N_{i-1} : Frecuencia absoluta acumulada

n_i : Frecuencia absoluta del cuartil

c: Amplitud del intervalo

Desviación estándar: Mide la dispersión del conjunto de datos examinados y se expresa en las mismas unidades de las muestras evaluadas.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Donde:

x_i : Valor específico dentro del conjunto de datos

\bar{x} : Es el valor de la media

n: Es la cantidad de datos examinados sin agrupar