



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 5 (2): 089-113. Julio-Diciembre, 2014
<http://www.rvcta.org>
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)
© Asociación RVCTA, 2014. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles

Sodium alginate in the development of edible films

Daniel Alexander **Méndez Reyes***, Juan Pablo **Quintero Cerón**, Henry Alexander **Váquiro Herrera**,
José Fernando **Solanilla Duque**

Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Programa de Ingeniería Agroindustrial.
Barrio Santa Helena, parte alta, Ibagué, Colombia.

*Autor para correspondencia: damendezre@ut.edu.co

Aceptado 30-Enero-2015

Resumen

Alginato, es un término que se refiere a un grupo de polisacáridos presentes en las algas pardas, los cuales cuentan con una importancia especial para diferentes industrias (alimentaria, textil, farmacéutica, cosmética, entre otras), atribuida a su capacidad para formar geles fuertes en presencia de cationes calcio (Ca^{+2}). El alginato de sodio es la forma más comercializada de alginato y sus aplicaciones en la industria alimentaria hoy en día están generando avances en el desarrollo de nuevos e innovadores biomateriales con características únicas, tales como, propiedades de barrera contra la pérdida de humedad causada por la deshidratación en alimentos de alto contenido de humedad, soporte para el transporte de compuestos antimicrobianos y probióticos entre otros, para mantener la calidad de productos alimentarios en almacenamiento. En este trabajo se recopiló información referente a la incidencia de diferentes polímeros, biocompuestos, aditivos y del proceso de gelificación en la producción de películas comestibles destinadas a la ingeniería del empaque.

Palabras claves: agente entrecruzante, alginato de sodio, gelificación, propiedades reológicas, películas comestibles.

Abstract

Alginate is a term related to a group of polysaccharides produced from brown seaweeds, which have special importance for different industries (food, textile, pharmaceutical, cosmetic), attributed to its capacity to form strong gels in presence of calcium cations (Ca^{+2}). Sodium alginate is the most common and commercialized form of alginate and its applications in the food industry now a day is bringing advances in the development of new and innovative biomaterials with unique features such as a barrier properties against weight loss caused by dehydration in high humidity products, material carrier of antimicrobial and prebiotic compounds, among others, with the aim to keep foodstuff quality trough storage. In the present review was summarize information regarding incidence of different polymers, biocompounds, additives and gelation process on the production of edible films based on sodium alginate and their perspectives in packaging engineering.

Key words: crosslinker agent, edible films, gelation, rheological properties, sodium alginate.

INTRODUCCIÓN

Los recursos marinos son una amplia y variada fuente de compuestos bioactivos y biomoléculas, que en la actualidad representan un ítem de interés en el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones. Dentro de estos se encuentran las algas, organismos que se pueden clasificar entre microalgas, que incluyen dinoflagelados, baciliariofitas, entre otras, y macroalgas, tales como las verdes, pardas y rojas. Este último grupo, y en especial las algas pardas, son materia prima y objeto de estudio en la extracción de ficocoloides tales como el alginato (Basha *et al.*, 2011). La extracción del alginato de sodio a partir de algas comprende 2 etapas principalmente, una donde se lleva a cabo un pretratamiento ácido para convertir las sales insolubles de alginato en ácido alginico, el cual es extraído en una segunda etapa con medio alcalino para obtener alginato de sodio soluble, que luego pasa a la fase acuosa del proceso y finalmente se lleva a un proceso de separación líquido-sólido, precipitación y secado (Vauchel *et al.*, 2009). Dependiendo de la especie de la que se extrae el alginato de sodio esta puede durar algunas horas, así como repeticiones para obtener cantidades óptimas a

partir de las algas, además, se ha demostrado que después de 2 horas de proceso de extracción, el alginato empieza un proceso de despolimerización que reduce los rendimientos en la extracción (Blanco-Pascual *et al.*, 2014). Terminada la extracción, es comercializado frecuentemente en forma de sal sódica, potásica o magnésica, siendo el de sodio el más utilizado en la industria agroalimentaria y farmacéutica.

En la actualidad el alginato ha experimentado un avance exitoso, especialmente en el desarrollo de tecnologías emergentes que comprenden: la generación de barreras en alimentos frescos y de humedad intermedia, apósitos biodegradables en el tratamiento de algunas patologías del ser humano, encapsulación en films de diversas sustancias, entre ellas fitocompuestos, fármacos y enzimas (Liakos *et al.*, 2013; Soukoulis *et al.*, 2014), inmovilización de microorganismos como bifidobacterias, bacterias ácido lácticas (Cui *et al.*, 2000; Concha-Meyer *et al.*, 2011), transporte de nanopartículas, compuestos antimicrobianos (Millette *et al.*, 2007; Bajpai *et al.*, 2012), hasta el diseño de matrices con liberación controlada de herbicidas y nutrientes minerales para el sector agrícola (Silva *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2011).

Para la industria de alimentos sus propiedades gelificantes, espesantes, estabilizantes, emulsionantes, formadora de films y ligantes de moléculas de agua dan cuenta de su importancia. Funcionalidades que han sido utilizadas en el desarrollo de productos de alta viscosidad como jaleas, pastas de frutas (Grizotto *et al.*, 2006), en bebidas como leches achocolatadas en productos semisólidos como cremas heladas, y en dispersiones como salsas (Cubero *et al.*, 2002). Asimismo, estudios recientes han permitido producir geles fluidos térmicamente estables, los cuales son usados en la industria alimentaria en un amplio intervalo de aplicaciones. Este tipo de geles se producen a partir del control de la estructura del gel por medio de condiciones definidas para obtener propiedades deseables en el material, se puede producir a partir de la gelificación inducida con calcio de alginato y también en proteína de suero. Este tipo de geles, han demostrado ser un material prometedor para remplazar las características de textura y respuestas tribológicas de las gotas de aceites (Fernández-Farrés *et al.*, 2014).

Con respecto a la industria hortofrutícola, se ha diversificado el uso del alginato para el desarrollo de películas biopoliméricas con especial aplicación en sistemas de empaque, debido a la creciente preocupación por el uso y disposición de materiales de embalaje de alta persistencia en el ambiente. Esta utilidad se debe a la capacidad de su estructura molecular para formar una alta interacción entre cadenas adyacentes, tras la adición de cationes metálicos polivalentes (Ca^{+2} , Ba^{+2} , Sr^{+2}). Dicha capacidad es aprovechada en la elaboración de películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC), los cuales tienen la propiedad de soportar estrés mecánico (Remuñán-López y Bodmeier, 1997), retener la humedad en productos altamente perecederos, producir cambios en la atmósfera de los productos recubiertos, disminuir el pardeamiento enzimático en alimentos mínimamente procesados, así como

desórdenes fisiológicos (Fontes *et al.*, 2007).

Las PC son capas de material preformado que cubren o se ubican entre los componentes del alimento. Por su parte, los RC son generados mediante inmersión, impregnación, y/o atomización de alimentos o trozos de estos con soluciones formadoras de recubrimientos. Posterior al secado de dichas soluciones, se espera que formen una capa continua, con buena adherencia, que hará parte del alimento y actuará como una barrera entre el tejido cubierto y el medio circundante (Debeaufort *et al.*, 1998).

A lo anterior es importante agregar que tanto PC como RC basados en alginato de sodio (AS) pueden tener la capacidad de encapsular, conservar y liberar vitaminas, minerales y aditivos con actividad antifúngica, antibacteriana y antioxidante (Fontes *et al.*, 2008; Miguel *et al.*, 2008; Bierhalz *et al.*, 2012). Dichos atributos, propios de los sistemas de empaque activo (Han, 2013), dependen del grado de innovación proporcionado a las formulaciones, mediante la interacción con otros hidrocoloides (κ -carragenina, goma de mesquite, pectina, proteína aislada de leche) (Villagómez-Zabala *et al.*, 2008).

Investigaciones recientes también se han encaminado a superar algunas limitaciones que presentan las PC y RC en los productos tratados (Meneghel *et al.*, 2008), como son la poca barrera que ejerce al vapor de agua, un espesor adecuado y el oscurecimiento de estas matrices durante el almacenamiento (Fontes *et al.*, 2007). Del mismo modo ha surgido el interés por entender los mecanismos mediante los cuales se incrementan o disminuyen las propiedades de barrera al CO_2 , O_2 y H_2O (Wang *et al.*, 2010) como también las propiedades mecánicas a través del estudio de la reología de las formulaciones y el efecto de la proporción y naturaleza de las sustancias que han sido incorporadas a soluciones formadoras de los recubrimientos y películas (Xiao *et al.*, 2012), modificando la naturaleza del polímero por medio de la modificación del grado de entrecruzamiento o reticulación que estas

puedan presentar por la adición de iones polivalentes (Benavides *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta el panorama anteriormente descrito, el presente documento pretende sintetizar investigaciones recientes con respecto al desarrollo de PC a partir de alginato de sodio, prestando especial atención a su interacción con otras macromoléculas, aditivos, y fitonutrientes, y el efecto de estas sobre sus propiedades funcionales.

CONTENIDO

- 1.- Propiedades estructurales: arquitectura del alginato
- 2.- Propiedades reológicas del alginato de sodio en sistemas acuosos
- 3.- Interacción con otras biomoléculas, entrecruzantes y compuestos bioactivos
 - 3.1.- Propiedades mecánicas
 - 3.2.- Permeabilidad al vapor de agua: efecto barrera
 - 3.3.- Solubilidad en agua
 - 3.4.- Complejos polielectrolíticos
- 4.- Actualidad y perspectivas de uso del alginato de sodio en productos altamente perecederos

REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.- Propiedades estructurales: arquitectura del alginato

Se denomina alginato a algunas sales del ácido algínico, un polisacárido aniónico lineal que se encuentra mayoritariamente en las paredes celulares de algas pardas (Phaeophyceae) y como exopolisacárido de algunas bacterias como la *Pseudomonas aeruginosa* y la *Azotobacter vinelandii* (Remminghorst y Rehm, 2006; Draget y Taylor, 2011). El alginato está compuesto por bloques (copolímero) de ácido β -D-manurónico (M) y su epímero (C-5) ácido α -L-gulurónico (G), unidos por enlaces 1-4. La arquitectura de las moléculas es variada y también se pueden encontrar arreglos homopoliméricos así:

bloques MM (bloques de manuronato) o GG (bloques guluronato) y secuencias alternadas (MG) (Ertesvåg y Valla, 1998).

Investigadores como Müller *et al.* (2010) y Mørch (2007) han revisado ampliamente la información referente a las características físicas y estructurales del alginato bacteriano procedente de macroalgas así como la biosíntesis, modificaciones químicas y enzimáticas.

Por otra parte, numerosos estudios fisicoquímicos han sido llevados a cabo en cuanto a los mecanismos y características estructurales involucradas en el proceso de gelificación. Morris *et al.* (1978) y Grant *et al.* (1973) demostraron que iones polivalentes como el calcio inducían asociación entre cadenas adyacentes de ácido algínico, por consiguiente se propuso un modelo ilustrado de la zona de unión entre dichas cadenas conocido como “modelo caja de huevos” (‘eggs-box model’ por su traducción al inglés) (Fig. 1) (Li *et al.*, 2007), el cual se basa en la disposición en zigzag de 2 cadenas lineales de alginato entre las cuales se encuentran cationes calcio (2/1), estabilizando la estructura mediante uniones de los ácidos gulurónicos (G - Ca - G), los cuales se encuentran en proporción 4:1 (G - Ca).

Li *et al.* (2007), examinaron el modelo y propusieron que no era la única posible interpretación ya que las herramientas que utilizaron los primeros investigadores no eran robustas y existían algunas coyunturas que impedían explicar la estabilidad observada en los geles de alginato entrecruzados con calcio. Teniendo en cuenta sus planteamientos y haciendo uso de la difracción de rayos X, propusieron el modelo helicoidal, el cual se basa en la unión de 3 cadenas (3/1), y señalaron ser el más indicado para sistemas de gelificación lenta y aclararon que el “modelo caja de huevos” o conformación helicoidal 2/1 es la forma metaestable en sistemas que se entrecruzan con mayor velocidad.

Respecto a la temática, las estructuras propuestas son motivo de discusión (Braccini y

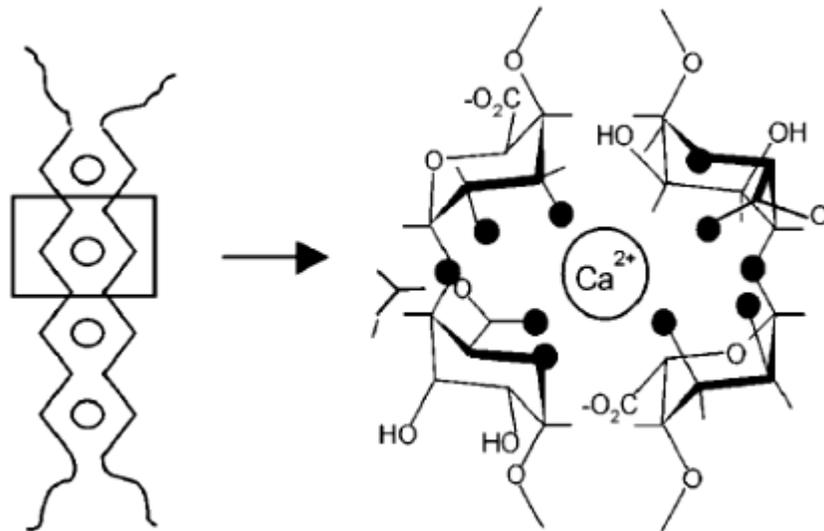


Figura 1.- “Modelo caja de huevos” (‘eggs-box model’) propuesto por Morris *et al.* (1978) y Grant *et al.* (1973).

Pérez, 2001). A pesar de esto el modelo de “caja de huevos” es el que mejor se acopla o ejemplifica dímeros de ácido alginico con alto contenido de ácido gularónico unidos mediante Ca^{+2} (Sikorski *et al.*, 2007).

2.- Propiedades reológicas del alginato de sodio en sistemas acuosos

Diferentes industrias (alimentaria, textil, farmacéutica, cosmética) utilizan en sus instalaciones fluidos generalmente no newtonianos, quiere decir que su viscosidad varía con la temperatura y el esfuerzo cortante aplicado. En algunos casos la presencia de pequeñas cantidades de polímero produce cambios importantes en el comportamiento de la fase líquida, lo cual se traduce en repercusiones sobre el diseño de equipos de transporte, mezclado, entre otros. (Sandford y Baird, 1983).

El uso de las propiedades funcionales del alginato como su poder emulsificante, estabilizante y gelificante ha retomado vital

importancia por sus aplicaciones en la biotecnología destinada a la industria, debido a las diversas posibilidades en el desarrollo de nuevos e innovadores productos; algunos de estos son mostrados en el Cuadro 1.

Gómez-Díaz y Navaza (2003) evaluaron dispersiones acuosas de AS en concentraciones de 1,5 g/L, el comportamiento reológico mostró que se comportan como fluidos no newtonianos pseudoplásticos. Cuando se efectuaron incrementos en la temperatura los fluidos sufrieron un descenso en la viscosidad, mostrando una tendencia lineal. De la misma forma, cuando se incrementaron las concentraciones de AS y se mantuvieron constantes temperaturas de 25 °C y 40 °C la viscosidad se incrementó. Estos resultados fueron contrastados con mezclas acuosas de CMC (carboximetilcelulosa) en las mismas concentraciones que las estudiadas en AS, los investigadores concluyeron que una menor proporción de AS puede causar mayor incremento en la viscosidad aparente del fluido, razón por la cual es recomendado como

Cuadro 1.- Microorganismos, productos transportados y/o encapsulados en films de alginato.

Matriz	Organismo y/o compuesto bioactivo	Función	Referencia
Almidón - alginato de sodio - glicerol	Bacterias ácido lácticas (<i>Carnobacterium maltaromaticum</i>) y nisina.	Inhibición de crecimiento de <i>Listeria monocytogenes</i> en productos listos para el consumo.	Concha-Meyer <i>et al.</i> (2011)
Película de alginato de sodio	Encapsulación de <i>Lactobacillus plantarum</i> .	Desarrollar biomateriales con actividad antibacteriana contra <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .	Brachkova <i>et al.</i> (2011)
Alginato de sodio	Sal (NaCl).	Actuar como susceptor comestible sobre productos preparados en microondas como alternativa a los empaques con capas metálicas.	Albert <i>et al.</i> (2012)
Alginato de sodio	Lactosa.	Estudio de interacción y efecto de este azúcar en propiedades mecánicas.	Bajdik <i>et al.</i> (2009)
Alginato de sodio - polietilenglicol (PEG) - glicerol	Lisozima. Nisina. Extracto de semilla de uva. EDTA (ácido etilendiaminotetraacético).	Diseño de films con actividad antimicrobiana contra <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Listeria innocua</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> . Se evaluaron propiedades mecánicas.	Cha <i>et al.</i> (2002)
Alginato de sodio - pectina - glicerol	Natamicina.	Evaluar efecto de bacteriocina sobre propiedades mecánicas, ópticas, morfológicas.	Bierhalz <i>et al.</i> (2012)
Alginato de sodio - puré de manzana - glicerol	N-acetilisteína. Aceites esenciales: orégano, canela, limoncillo. Compuestos aislados: carvacrol, cinamaldehído, citral.	Películas con actividad antimicrobiana.	Rojas-Grati, Avena-Bustillos <i>et al.</i> (2007)
Alginato de sodio - glicerol	Ginseng blanco, rojo y blanco extruido.	Estudio de propiedades físicas y desarrollo de películas con actividad antioxidante. Producción de films con actividad antibacteriana frente a <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Listeria monocytogenes</i> .	Norajit <i>et al.</i> (2010) Norajit y Ryu (2011)
Alginato de sodio - glicerol	Aceite esencial de orégano.	Conferir actividad antibacteriana frente a <i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella enteritidis</i> .	Benavides <i>et al.</i> (2012)
Alginato de sodio - glicerol	N-acetilisteína. Glutatión. Aceite de girasol (ω -3, ω -6).	Evaluar efecto de antiparadeantes en resistencia al vapor de agua.	Rojas-Grati, Tapia <i>et al.</i> (2007)

espesante.

El estudio anterior no contempló el efecto que poseen los cationes de calcio en el fenómeno de gelificación, ni cuál fue la incidencia de diferentes concentraciones en soluciones acuosas de AS. Funami *et al.* (2009) evaluaron estos eventos a nivel supramolecular haciendo uso de 2 fuentes diferentes de alginato (0,5 % p/v) con proporciones diferentes de manuronato/guluronato. Las propiedades reológicas macroscópicas estudiadas se relacionaron con las imágenes generadas de las estructuras a nivel nano a través del uso de un microscopio de fuerza atómica. La fuente de calcio utilizada en las pruebas reológicas fue CaCO_3 en cantidades de 3,75; 7,5 y 15 mM. Estos investigadores concluyeron que a bajas concentraciones de calcio (3,75 mM CaCO_3), la muestra manuronato fue más elástica que la muestra guluronato e igualmente comenzó el proceso de gelificación más rápido que guluronato. A altas concentraciones de Ca (15 mM) la muestra guluronato formó matrices a mayor velocidad y alcanzó mayor elasticidad que manuronato. Esto quiere decir que muestras con alto contenido de guluronato generan matrices con características de sólido debido al incremento en el módulo de elasticidad (G'). Los autores enfatizaron en que existe un valor crítico en la proporción de calcio adicionado pues no se observaron diferencias entre los 2 tipos de alginato de sodio a 7,5 mM. En términos de cinética de gelificación, finalmente se destaca que las muestras con mayor presencia de monómeros de ácido gulurónico tienden a ser más sensibles al Ca^{+2} que las cadenas que poseen alta presencia de ácido manurónico, lo cual se debe a la presencia de más lugares de unión. Por otro lado, Fernández-Farrés y Norton (2014) con el fin de obtener un mejor control del proceso de gelificación del alginato, estudiaron el efecto de diferentes pesos moleculares del alginato ($1,43 \times 10^5$ g/mol para bajas viscosidades y $3,5 \times 10^5$ g/mol para viscosidades medias) y el método de gelificación interna con la adición de CaCO_3

como entrecruzante a diferentes concentraciones (0,5 % p/v; 1,0 % p/v; 1,5 % p/v y 2,0 % p/v) y glucono- δ -lactona, sobre las propiedades reológicas en geles fluidos. Como resultado, se dio una liberación gradual de iones de calcio a partir de la sal insoluble (CaCO_3) provocado por la liberación de protones a partir de glucono- δ -lactona, lo que generó un ensamblaje alineado con cavidades donde los iones de calcio se ubicaron, lo anterior contribuyó a una distribución uniforme que minimiza la gelificación heterogénea, además del relativo incremento en el módulo de almacenamiento (G'). Asimismo, el efecto de pesos moleculares altos provocó la formación de estructuras compactas que indujeron en una reducción en la viscosidad. El trabajo también demostró que el incremento en la velocidad de cizallamiento incrementó la velocidad de generación de partículas gelificadas, reduciendo los tiempos de gelificación.

3.- Interacción con otras biomoléculas, entrecruzantes y compuestos bioactivos

3.1.- Propiedades mecánicas

El alginato de sodio posee una característica funcional especial y hace referencia a su capacidad para formar geles irreversibles e insolubles en agua después del entrecruzamiento de sus unidades de ácido gulurónico a través de las uniones de los grupos carboxilo con los iones calcio (Fig. 2). Atributo que se desea conferir a otros polímeros como la gelatina ya que presentan desventajas, una de ellas es su alta fragilidad, por lo cual requiere varios procedimientos para superar este inconveniente (Dong *et al.*, 2006). En consecuencia, la mezcla de diferentes polímeros con AS se ha visto como una respuesta efectiva para ampliar la funcionalidad de cada polímero. La pectina es otro polímero compuesto por ácidos urónicos (ácido galacturónico) que se entrecruza con iones calcio (Ca^{+2}) y que ha sido mezclado con alginato de sodio buscando con

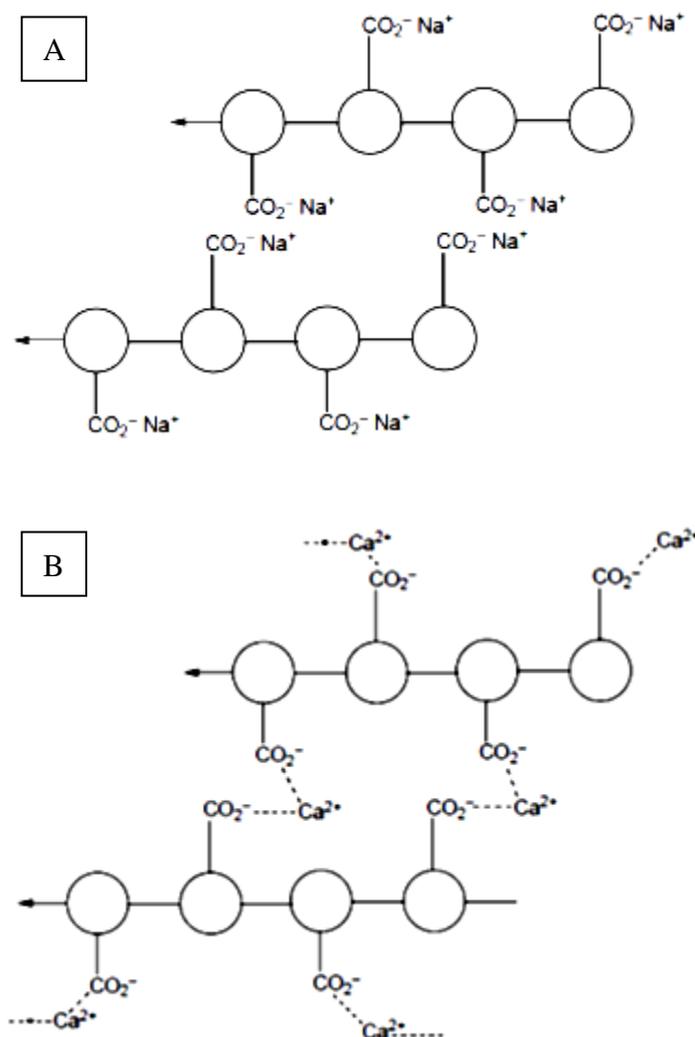


Figura 2.- Cadenas de alginato de sodio sin entrecruzamiento (A) y cadenas adyacentes de alginato de sodio entrecruzadas con iones calcio (entrecruzamiento de las cadenas poliméricas) (B).

ello desarrollar películas con aplicaciones en el área de empaques y como sistema de liberación controlada de natamicina (Bierhalz *et al.*, 2012). Estos autores, pretendieron determinar el grado de interacción y los cambios concernientes a las propiedades mecánicas que se obtendrían de esta PC compuesta, dichas pruebas son ampliamente utilizadas actualmente y las más comunes determinaciones son: fuerza tensil (FT),

elongación a la ruptura (% E) y módulo elástico. La primera (FT) hace referencia a la máxima fuerza soportada por el material durante la prueba de tensión, el % E expresa la máxima extensión que desarrolla el film antes de su ruptura, por su parte, el módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young relaciona los valores de tensión-deformación. Estos parámetros brindan conocimiento relacionado con la estructura química de los

biomateriales y el efecto que tendría cada sustancia dentro de las PC simples y compuestas (McHugh y Krochta, 1994; Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

Haciendo uso de estas pruebas de laboratorio, Bierhalz *et al.* (2012) llegaron a varias conclusiones, entre ellas, que la presencia de AS en las formulaciones generó un aumento en el espesor de las PC, el cual relacionan con la masa molecular de los biomateriales. Otros investigadores encontraron que la pectina forma PC más delgadas que el AS. Esto indica que genera matrices más compactas como consecuencia de su menor peso molecular en comparación con las de AS (Sriamornsak y Kennedy, 2008). Pero se ha observado que no solo otros polímeros pueden incrementar el espesor sino también el entrecruzante. Benavides *et al.* (2012), evidenciaron un incremento en dicho atributo conforme se incrementó el contenido de carbonato de calcio (CaCO_3). Por consiguiente no solo la masa molecular sino también la concentración de sólidos en la solución formadora de películas y recubrimientos, incrementará el espesor de la capa (Han and Krochta, 1999).

Desde un inicio, Bierhalz *et al.* (2012) pretendieron utilizar la funcionalidad de cada polisacárido para obtener una estructura mejorada desde el aspecto mecánico, pero la respuesta fue contraria a lo pensado debido a que la mezcla (AS + pectina) demostró tener características intermedias y no potencializadas. Los resultados mostraron que esta mezcla tenía menor FT y porcentaje de elongación a la ruptura (% E) que las PC preformadas con solo alginato de sodio. Por otra parte, la adición de natamicina fue igualmente evaluada indicando que disminuyó la FT para todas las mezclas con respecto al control (PC sin natamicina), en tanto que la elongación de las PC con y sin natamicina no mostraron diferencias significativas, concluyéndose que la adición de este antifúngico influencia cambios en la estructura polimérica. Rojas-Graü, Avena-

Bustillos *et al.* (2007), encontraron un comportamiento similar en la FT tras la adición de aceites esenciales, dicha reducción fue más acentuada en PC que contenían carvacrol y aceite esencial de orégano, en tanto el % E se incrementó en las PC que contenían tales antimicrobianos, aspecto que concuerda con lo observado por Norajit *et al.* (2010) en PC de AS portadoras de extracto de ginseng.

Investigadores atribuyen la pérdida de la integridad mecánica a factores tales como: exceso del antimicrobiano, poca interacción con el biomaterial, afectación en el entrecruzamiento con los iones calcio y cambios en las propiedades físicas de las películas activas influenciadas por aditivos alimentarios, tales como: minerales, ácidos grasos y vitaminas, entre otros (Norajit *et al.*, 2010; Bastarrachea *et al.*, 2011; Dhall, 2013).

La FT no solo se ha visto influenciada por aditivos alimentarios y compuestos bioactivos en las PC, sino también el grado de entrecruzamiento ejerce una incidencia directa. Este aspecto fue evaluado por Benavides *et al.* (2012), en PC reticuladas con diferentes proporciones de carbonato de calcio (0,00; 0,01; 0,02 y 0,03 g CaCO_3 /g alginato de sodio), quienes evidenciaron que a mayor proporción de iones calcio, la FT se incrementó pero las PC fueron menos elásticas, este fenómeno se ha relacionado con una disminución en la movilidad molecular ocasionado por las uniones polímero-cación-polímero y el alto grado de entrecruzamiento. Por otro lado los autores también evaluaron la adición de aceite esencial de orégano (0,0; 0,5; 1,0 y 1,5 % p/v) el cual no solo tuvo efecto antimicrobiano sino también disminuyó la transparencia e incrementó la elongación del material.

3.2.- Permeabilidad al vapor de agua: efecto barrera

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) es un parámetro importante, ya que de su evaluación, se podrá determinar y predecir el

efecto barrera de las películas y recubrimientos aplicados en productos, en especial aquellos con altos valores de actividad de agua. La PVA no está únicamente condicionada por el tipo de polímero sino también por la proporción del entrecruzante, composición estructural del alginato (ácido manurónico/ácido gularónico: PC de alginato-Ca con altas proporciones de ácido gularónico tienden a poseer menor PVA) y factores ambientales bajo las cuales se almacenan, como humedad relativa y temperatura (Hernandez, 1994; Rojas-Graü, Tapia *et al.*, 2007; Olivas y Barbosa-Cánovas, 2008).

Diferentes tipos de lípidos tienen un efecto considerable en la PVA en PC, autores como Rojas-Graü, Avena-Bustillos *et al.* (2007) evaluaron la encapsulación de aceites esenciales en películas y su efecto sobre las propiedades mecánicas, donde se observó que el efecto de los aceites esenciales sobre la PVA

no fue significativa, lo cual es argumentado por el hecho de que los aceites esenciales están compuestos mayoritariamente por moléculas de tipo terpénico y no lipídico. Por otro lado Norajit *et al.* (2010) adicionando extracto de ginseng en la película no fue favorable, he incrementó la difusión de humedad a través de la película de AS. Contrariamente a estos resultados Benavides *et al.* (2012), cuantificaron un descenso en la PVA a través de varios métodos el primero de ellos fue la adición de aceite esencial de orégano en diferentes proporciones (0,0 - 1,5 % p/v), las superiores a 1,0 % influenciaron disminuciones significativas en el traspaso de humedad por medio del film, además haciendo uso de herramientas ópticas como la microscopia electrónica de barrido (SEM, 'Scanning Electron Microscope') y mediante un corte transversal de los films se pudo determinar que la microestructura era más compacta (Fig. 3),

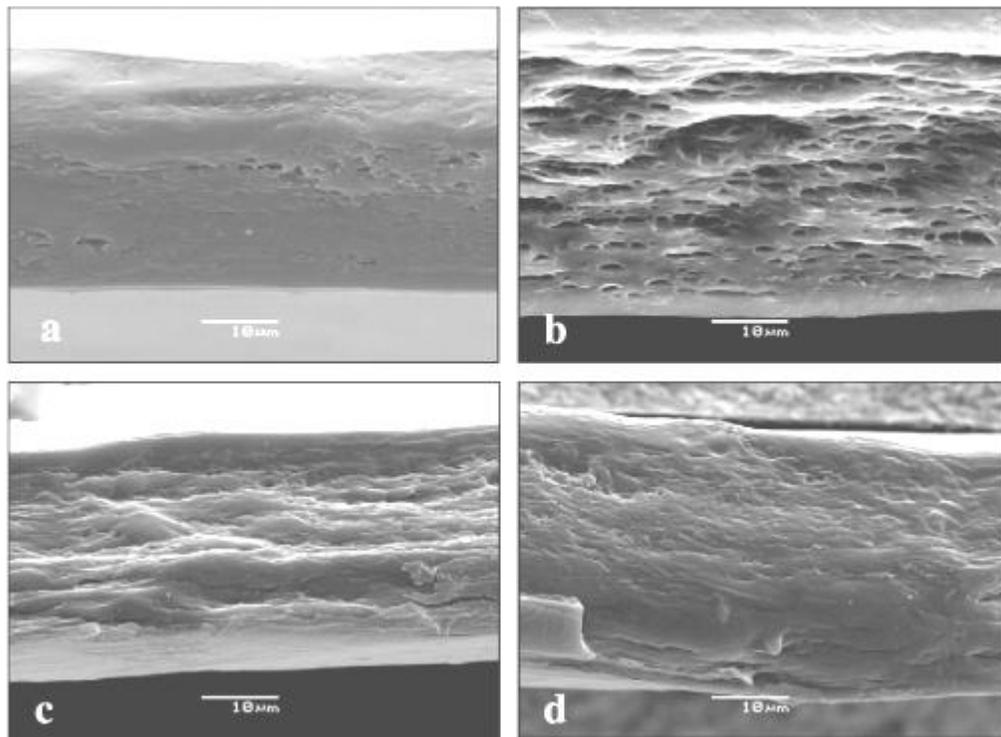


Figura 3.- Microfotografías (SEM) mostrando corte transversal de películas comestibles de alginato de sodio con diferentes proporciones de aceite esencial de orégano. (a) 0,0 %; (b) 0,5 %; (c) 1,0 % y (d) 1,5 %.

aspecto en el que contribuyó el segundo método que redujo la PVA y es denominado gelificación interna, la cual consistió en realizar el entrecruzamiento mediante la adición de los iones calcio (CaCO_3) durante la mezcla de los componentes con agitación magnética. Es necesario aclarar que el entrecruzamiento generalmente en las PC se realiza después de poseer los biomateriales preestructurados, esto quiere decir, que tan pronto se forma el film, este es sumergido en soluciones de calcio para favorecer la reticulación de las cadenas del polisacárido. La creación de estos enlaces cadena-cadena mediante gelificación interna disminuyó la difusión de humedad pero solo cuando la concentración de calcio fue de 0,03 g CaCO_3 /g AS, valores inferiores a este no mostraron una reducción significativa. Este resultado es acorde a lo hallado por Rhim (2004) al adicionar altas concentraciones de calcio, y entienden este comportamiento como resultado de la disminución en la movilidad molecular, una característica dependiente de factores, tales como, la humedad relativa y el contenido de plastificantes.

Varios autores han informado que los gradientes de humedad relativa y los altos porcentajes recomendados en el almacenamiento de productos hortofrutícolas (> 75 %) afectan la PVA debido a que el agua actúa como plastificante en la matriz polimérica, reduciendo el número de uniones intermoleculares entre las cadenas, por lo tanto genera mayor volumen libre y por consiguiente traspaso de la humedad (Hagenmaier y Shaw, 1990; Gontard *et al.*, 1996; Cisneros-Zevallos y Krochta, 2002; Olivas y Barbosa-Cánovas, 2008).

3.3.- Solubilidad en agua

Los autores, da Silva *et al.* (2009), evaluaron el efecto del glicerol (1 - 15 % p/v) como plastificante en PC compuestas (AS + Pectina). El glicerol es un poliol ampliamente utilizado en la industria y es de interés en la

manufactura de RC y PC, razón por la cual los investigadores anteriormente señalados evaluaron su efecto sobre ciertas propiedades como grado de hinchamiento del film y solubilidad en agua. Estas variables son importantes actualmente porque dan indicios del grado de hidrofobicidad, el cual se relaciona con su resistencia en ambientes con altos porcentajes de humedad. Los resultados de estos investigadores evidenciaron que a mayor contenido del plastificante también se incrementa la solubilidad en agua. Otras sustancias que han afectado esta variable son la adición de agentes antimicrobianos (sorbato de potasio, natamicina) (Zactiti y Kieckbusch, 2006; Bierhalz *et al.*, 2012). Por ejemplo, Bierhalz *et al.* (2012) observaron que la solubilidad en agua de las PC de pectina y mezcla AS/pectina aumentaron con la adición de natamicina comparadas con los controles (sin natamicina), alcanzándose fracciones de \approx 25 % del material diluido en agua, en el caso de la mezcla. Hecho que no es beneficioso cuando se desea liberar sustancias de forma lenta y controlada, pues se requiere conservar la matriz.

Rhim (2004) encontró que soluciones de alginato de sodio que fueron sometidas a gelificación interna con diferentes concentraciones de CaCl_2 (0,04; 0,08 y 0,12 g CaCl_2 /4 g alginato) y posteriormente preformadas como PC y sometidas a la prueba de solubilidad, no conservaron en ninguno de los casos la estructura durante la prueba de solubilidad del agua, sufriendo total desintegración, por lo cual no indicaron los porcentajes de solubilidad. Teniendo en cuenta este aspecto efectuaron la inmersión de estas frágiles películas en soluciones de CaCl_2 de mayor concentración (1, 2, 3, 4 y 5 g CaCl_2 /100 mL de solución), y de nuevo evaluaron la solubilidad (25 °C), encontrando que el contacto con soluciones de concentraciones superiores a 2 g/100 mL, les confirió a las PC, integridad registrando valores en el intervalo de 16,4 - 16,7 %. Diferentes autores han asociado

esta resistencia a la humedad, con las variables tiempo de retención de la inmersión y concentración del catión calcio, factores que incidieron en su enlace (entrecruzamiento) con los grupos carboxilo del AS presentes en la superficie de las PC, haciéndolas insolubles (Grant *et al.*, 1973; Pavlath *et al.*, 1999).

3.4.- Complejos polielectrolíticos

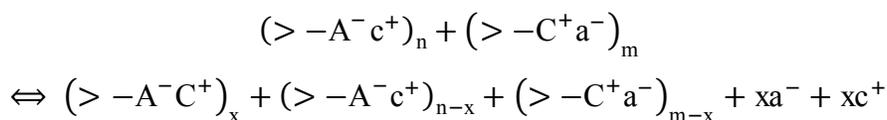
Las diferentes ventajas y características de conservación de los polímeros, han abierto la posibilidad de producir películas y recubrimientos comestibles combinando diferentes tipos de biomoléculas, con el fin de dar provecho a las cualidades individuales de cada polímero o la sinergia que pueden producir (Rivero *et al.*, 2009), lo que ha conducido al estudio de polímeros de carácter catiónico que son capaces de interactuar con materiales cargados negativamente, como enzimas, células, otros polisacáridos, ácidos nucleicos, pelo y piel (Argin-Soysal *et al.*, 2009).

Dichas interacciones conforman complejos polielectrolíticos los cuales dependen de factores como la concentración y condiciones externas para la conformación de diferentes estructuras entre las cuales se encuentran la tipo escalera, donde la formación del complejo se da a nivel molecular y el modelo de huevo revuelto, la cual genera un alto número de cadenas dentro de una partícula sin orden aparente (Koetz *et al.*, 1986). Además de lo mencionado anteriormente, existen métodos que permiten un mejor control sobre la composición, mezcla y estructura de los complejos polielectrolíticos a través de la variación del pH, que a condiciones de valores de pH de 8 forman partículas nanocoloidales,

mientras que inferiores a pH 4, forman complejos polielectrolíticos fibrosos (Verma *et al.*, 2011). Por otro lado, estudios realizados por Sæther *et al.* (2008) determinaron la influencia del método de homogenización, donde factores como velocidad, tiempo y útil de dispersión en la homogenización de la mezcla de electrolitos afectaron el tamaño final de los complejos polielectrolíticos, así como la carga superficial de la partícula (potencial ζ).

El alginato de sodio ha sido probado para la conformación de complejos polielectrolíticos para diferentes fines, es así como en mezcla con gelatina se utilizó para la formación de microencapsulados, los cuales cumplen la función de matriz o pared envolvente para la protección de alimentos bioactivos frente a condiciones adversas del medio como luz, calor y aire; donde factores como el pH y la proporción de componentes, influenciaron la forma y tamaño de poros de las macropartículas y liberación de las sustancias retenidas (Devi y Kakati, 2013). De igual manera se han realizado comparaciones frente a la retención, liberación y disolución de sustancias farmacéuticas en 2 tipos de complejos polielectrolíticos conformado por quitosano en interacción con carragenina y otra con alginato, obteniéndose mejores resultados con la matriz conformada por quitosano y alginato al presentar un mayor tiempo de disolución y mayor control en la liberación del medicamento al reducir la proporción de polímeros en la formulación (Tapia *et al.*, 2004).

Para la comprensión del proceso de formación de los complejos polielectrolíticos el proceso estequiométrico, de los polímeros participantes se resume con la siguiente ecuación:



Donde:

A^- , C^+ : son los grupos cargados de los polielectrolitos

a^- , c^+ : contraiones

n , m : número de los grupos aniónicos y catiónicos de la solución

n/m o $m/n = X$: relación molar de la mezcla, $\theta = x/n$, $n < m$ o $\theta = x/m$, $m < n$

θ : grado de conversión

El grado de conversión determina la eficiencia en el que los sitios iónicos de los componentes se enlazan completamente a los polielectrolitos de carga opuesta o si los contraiones de moléculas de bajo peso molecular permanecen de modo parcial en el complejo (Thünemann *et al.*, 2004).

4.- Actualidad y perspectivas de uso del alginato de sodio en productos altamente perecederos

El desarrollo y evaluación del efecto de recubrimientos comestibles (RC) en productos altamente perecederos, representa un acercamiento hacia la exploración de nuevas tecnologías de conservación amigables con el ambiente, al reducir el consumo de materiales sintéticos de alta persistencia en el ambiente y facilitar su disposición. Adicionalmente, tienen el potencial de transportar compuestos bioactivos, lo cual redundará en nuevas propiedades funcionales y beneficios para el consumidor (Wang *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2010).

Como se mencionó, el AS tiene la capacidad de generar matrices poliméricas, mediante el entrecruzamiento de sus cadenas adyacentes a través de las uniones con iones bivalentes como el calcio. Por tanto, ha sido utilizado en la elaboración de RC destinados a conferir protección a los productos alimentarios mediante la formación de una barrera en la superficie de estos (Wang *et al.*, 2007). Sin embargo, al ser un polisacárido altamente

hidrofílico, permite la difusión de humedad, aspecto que se ha buscado reducir. Controlar esta desventaja, teniendo en cuenta la fisiología y morfología del fruto objeto de estudio en la poscosecha, incrementará el tiempo de vida y conservación de atributos de calidad; algunos de ellos mediados por la turgencia de los tejidos. Algunos estudios dirigidos a frutos mínimamente procesados como pera “Flor de Invierno” (*Pyrus communis* L.), melón “Piel de Sapo” (*Cucumis melo* L.), manzana “Fuji” (*Malus domestica* Borkh.), papaya (*Carica papaya* L.), naranja “Pera” (*Citrus sinensis* L. Osbeck) y mango ‘Tommy Atkins’ (*Mangifera indica*), han informado disminución en la PVA en AS tras uso de $CaCl_2$ como entrecruzante (Oms-Oliu *et al.*, 2008a; Oms-Oliu *et al.*, 2008b; Raybaudi-Massilia, Rojas-Graü *et al.*, 2008; Tapia *et al.*, 2008; Groppo *et al.*, 2009; Chiumarelli *et al.*, 2011). Esta reducción en la PVA, es explicada por la formación de enlaces iónicos entre los grupos carboxilos del AS y los iones de calcio, ocupando los espacios que las moléculas de agua usan para trasladarse reduciendo de esta manera la movilidad de los polímeros y por consiguiente el paso del vapor de agua (Rhim, 2004), hecho que fue corroborado por Duan *et al.* (2011) y Moayednia *et al.* (2010) quienes no encontraron diferencias significativas en la pérdida de peso de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) y fresas (*Fragaria ananassa*) recubiertas con AS sin adición de Ca^{+2} .

Además del entrecruzamiento con calcio, para reducir el carácter hidrofílico de las matrices a partir de AS, se ha propuesto la adición de compuestos hidrofóbicos que reduzcan la PVA en el recubrimiento minimizando así la difusión de vapor de agua (Benavides *et al.*, 2012); en estudios realizados sobre manzana “Fuji” (*Malus domestica* Borkh.) Rojas-Graü, Tapia *et al.* (2007), revelaron un incremento significativo de la resistencia al vapor de agua (RVA) tras agregar aceite de girasol (0,025 % p/v). No obstante, la presencia de glicerol, como plastificante tuvo la

capacidad disminuir drásticamente la PVA a medida que la concentración aumentaba en el recubrimiento de AS, sin embargo, a concentración de glicerol mayores a 1,75 % p/v el PVA empezó a aumentar. Adicionalmente, el RC de AS produce una alta humedad relativa en la superficie del fruto que genera la reducción del gradiente de humedad con el exterior reduciendo la transferencia de humedad (Olivas *et al.*, 2007).

Otra de las características que potencia el uso del AS como RC sobre frutos es la capacidad de reducir la tasa respiratoria sin causar anaerobiosis, controlando el crecimiento de microorganismos aerobios (Olivas *et al.*, 2007). En evaluaciones realizadas sobre piña (*Ananas comosus* cv. 'Josapine') la reducción significativa de la tasa respiratoria con el RC a base de AS aumentó la vida útil del fruto troceado (Azarakhsh *et al.*, 2011). De igual manera, Díaz-Mula *et al.* (2012) en estudio sobre cereza dulce (*Prunus avium* L. cv. 'Sweetheart'), se destaca la reducción de la tasa respiratoria del fruto debido al incremento en la concentración de CO₂ en el tejido del fruto y una reducción en la concentración de O₂ generado por el efecto barrera selectivo del RC a base de AS. Por otra parte, RC de AS con adición de aceites esenciales de canela, clavo y limoncillo en manzana "Fuji" (*Malus domestica* Borkh.) dieron como resultado una reducción de la tasa respiratoria con respecto a trozos no recubiertos (Raybaudi-Massilia, Rojas-Graü *et al.*, 2008). Estos trabajos demuestran la reducción del deterioro microbiano que ataca principalmente las paredes celulares del fruto que generan la turgencia y salida del agua que consecuentemente disminuye las cualidades aceptadas para los consumidores. Por otro lado, en el campo de la conservación de tejidos de origen animal investigaciones realizadas con pescado brema (*Megalobrama amblycephala*) en filetes, el RC a base de AS proporcionó una barrera frente al oxígeno inhibiendo el crecimiento microbiano y demorando su deterioro (Song *et al.*, 2011).

Con respecto a estudios sobre inhibición antimicrobiana de mohos y levaduras con recubrimientos a base de AS, se han obtenido resultados satisfactorios en diferentes productos; en zanahoria (*Daucus carota* L.) por ejemplo, la efectividad del recubrimiento de AS frente al crecimiento microbiano fue positiva manteniendo hasta el día 5 de almacenamiento una carga microbiana de 3 log UFC/g con respecto al control, que presentó 5 log UFC/g desde el segundo día de la prueba (Mastromatteo *et al.*, 2012). Por otro lado se han realizado investigaciones sobre la capacidad de transporte del AS de inhibidores microbianos. Un estudio de la efectividad del AS para transportar microorganismos antagonistas se evaluó en fresa (*Fragaria x ananassa*) donde *Cryptococcus laurentii* a concentraciones de (10⁹ UFC/mL) en el recubrimiento, inhibió el crecimiento de mohos manteniendo la calidad de la fresa durante el almacenamiento (Fan *et al.*, 2009). Del mismo modo se evaluó la efectividad inhibitoria de aceites esenciales (canela, clavo y limoncillo) sobre el crecimiento en manzana "Fuji" (*Malus domestica* Borkh.) de la bacteria *E. coli* O157:H7, donde la población se inhibió hasta 4 log UFC/g, y se extendió la vida útil hasta por 30 días (Raybaudi-Massilia, Rojas-Graü *et al.*, 2008). Raybaudi-Massilia, Mosqueda-Melgar *et al.* (2008) evaluaron el efecto de aceites esenciales (canela, palmarosa y limoncillo) y sus compuestos bioactivos sobre melón "Piel de Sapo" (*Cucumis melo* L.), donde se prolongó la vida útil del fruto cortado en 3 días de vida útil con respecto a los frutos no recubiertos concluyendo la efectividad de los aceites esenciales y los compuestos activos como inhibidores microbianos. En filetes de salmón (*Salmo salar*) ahumado congelado se evaluó el efecto del lactato de sodio y diacetato de sodio en 4 tipos de RC para el control de la bacteria *L. monocytogenes* en donde el AS fue el RC más efectivo en la inhibición de la bacteria (Neetoo *et al.*, 2010); por otro lado, en evaluaciones al pescado "cabeza de serpiente

del norte” (*Channa argus*), con la adición de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) y nisina en pruebas con RC de AS, no se vieron resultados satisfactorios frente a muestras no recubiertas por AS pero si bañadas con ambos compuestos antimicrobianos, esto debido a que la concentración de AS del 3 % tuvo un efecto contraproducente en la efectividad de los compuestos antimicrobianos; sin embargo fue efectivo frente a tratamientos control (Lu *et al.*, 2009).

Otros signo de pérdida de la calidad es la firmeza, este es un factor de suma importancia para que el consumidor acepte frutos mínimamente procesados y frescos ya que expresa un adecuado estado para el consumo y está intrínsecamente relacionado con la pérdida de humedad, así como cambios metabólicos que influyen el sabor. El AS promueve la firmeza en el tejido del fruto al no permitir en gran medida la hidrólisis del ácido pectínico en la pared celular del fruto que llega a promover la pérdida de fluidos en las células del fruto que consecuentemente lo hacen más suave (Fan *et al.*, 2009), este factor está relacionado al ataque microbiológico que promueve la degradación celular; en arándanos (*V. corymbosum* L.), por ejemplo, el AS fue capaz de incidir significativamente en la firmeza comparado con los frutos sin la aplicación de RC (Duan *et al.*, 2011), el mismo comportamiento se registró en tratamiento con AS en piña (*Ananas comosus* cv. ‘Josapine’), que presentó menor pérdida de firmeza en el periodo de almacenamiento (Azarakhsh *et al.*, 2011). En un estudio realizado por Chiumarelli *et al.* (2011) donde se estudió el RC de AS y almidón de yuca o mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre mango ‘Tommy Atkins’ (*Mangifera indica*), el AS presentó los valores más bajos frente a falla por stress al final de la prueba y valores de falla a la tensión más bajo que el del fruto recubierto con almidón de yuca, pero fue más alto comparado al control durante el periodo de prueba donde se almacenó, lo que indica una ganancia de

firmeza si se es aplicado. Otro de los atributos en frutos con RC de AS es el grado de brillo que puede proporcionar, así como efectos en la conservación del color en la superficie del fruto durante el periodo de almacenamiento; resultados en cereza (*P. avium* L. cv. ‘Sweetheart’) mostraron un retraso del color negro, con valor de ángulo de tono de $14,72^{\circ} \pm 1,21^{\circ}$ de cerezas sin recubrimiento al final del periodo, a aproximadamente 20° (incremento del color amarillo) en cerezas recubiertas (Díaz-Mula *et al.*, 2012). Autores como Chiumarelli *et al.* (2011) afirman que la solución de AS posee un color ambarino que puede contribuir a obtener valores bajos de brillo así como influenciar el color del fruto dando una mala impresión de su calidad real. En relación al pardeamiento enzimático en manzanas ‘Gala’ (*Malus domestica* Borkh.) mínimamente procesadas, se observó que la adición de CaCl_2 en el recubrimiento de AS como entrecruzante, también actúa como un agente antipardeante sobre el fruto, debido a que la presencia de CaCl_2 inhibe las polifenoloxidasas por la interacción del ion cloro con los sitios activos de las mismas (Olivas *et al.*, 2007). Por último, el desarrollo de alimentos probióticos con la adición de cantidades adecuadas de organismos vivos se estudió en la aplicación de recubrimientos comestibles de alginato de sodio y mezcla con proteína de suero concentrada conteniendo *Lactobacillus rhamnosus* GG, sobre pan previamente horneado. Se elaboraron soluciones de películas a concentraciones del 1,0 % p/p de alginato de sodio y una mezcla con 0,5 % p/p de alginato de sodio y 2,0 % p/p de proteína de suero concentrada. La evaluación sobre el pan recubierto con la PC mostró un aumento de opacidad del color del pan frente al control aún más cuando se aplicó la mezcla con suero concentrado, por otro lado, la viabilidad de las bacterias en el proceso de secado de la película dependió principalmente de la composición de la PC, presentando mejores porcentajes de viabilidad cuando la película contenía proteína de suero concentrado

(15,9 % para alginato y 76,3 % mezcla con proteína de suero concentrado), demostrando que la producción de PC con probióticos secados por aire fue satisfactoria, además de no modificar la textura, sabor y propiedades termofísicas de las muestras de pan (Soukoulis *et al.*, 2014).

Lo anterior ratifica la utilidad y beneficios del AS como polisacárido de RC sobre alimentos. En cuanto a las deficiencias por permeabilidad al vapor de agua se han hecho investigaciones con compuestos que han buscado reducirla con éxito, así como

compuestos bioactivos que han demostrado buena sinergia con el RC a base de AS; además, los beneficios de conservación del RC con respecto a frutos troceados han sido satisfactorios y han demostrado diferencias significativas con respecto a los no recubiertos. En el Cuadro 2 se recopilieron algunas investigaciones con el uso de AS como RC en frutos tanto frescos como mínimamente procesados con la evaluación de algunos aditivos y aceites. Cabe resaltar, además su potencial económico para la industria alimentaria por ser un compuesto de bajo precio en el mercado, además de abundante.

Cuadro 2.- Aplicación de recubrimientos comestibles a base de alginato de sodio en productos hortofrutícolas frescos y mínimamente procesados.

Alimento	M.P /F	Componentes del recubrimiento	Concentración AS	Componente bioactivo	Resultados	Referencia
Arándanos (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	F	Alginato de sodio + glicerol + Tween 20	2 % p/v	Quitosano	Mantuvo firmeza. El efecto antifúngico del quitosano se vio reducido por la mezcla de alginato	Duan <i>et al.</i> (2011)
Bananas (<i>Musa acuminata</i> Colla cv. Cavendish)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + aceite de girasol	2 % p/v	Cloruro de calcio, ácido ascórbico, cisteína, lactato de calcio	Reducción de firmeza en un 16 %. Reducción del pardeamiento el día 2 de almacenamiento	Bico <i>et al.</i> (2010)
Cereza dulce (<i>Prunus avium</i> L. cv. 'Sweetheart')	F	Alginato de sodio + glicerol	1, 3 y 5 % (p/v)	N/A	Redujo TR controló PP. Concentraciones de alginato mayores a 3 % ayudaron a reducir ablandamiento	Díaz-Mula <i>et al.</i> (2012)
Fresa (<i>Fragaria ananassa</i>)	M.P	Alginato de sodio + CaCl ₂	2 % p/p	N/A	Confirió brillo. Incidencia de deterioro por mohos a los 14 días 23 % con RC y 78 % sin RC	Moayednia <i>et al.</i> (2010)
Fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>)	F	Alginato + glicerol + ácido palmítico + β -ciclodextrina	2 % p/v	<i>Cryptococcus laurentii</i> (10 ⁹ UFC/mL)	Efecto antagónico del microorganismo inhibió el moho y se mantuvo la calidad comercial, así como la firmeza	Fan <i>et al.</i> (2009)

Cuadro 2.- Continuación.

Alimento	M.P /F	Componentes del recubrimiento	Concentración AS	Componente bioactivo	Resultados	Referencia
Madroño (<i>Arbutus unedo</i> L.)	F	Alginato de sodio + CaCl ₂ + ácido cítrico	2 % p/v y 1 % p/v	Lemonal y eugenol	Eugenol al doble de la concentración mínima de inhibición microbiana y con lemonal fueron las más efectivas para conservar la calidad.	Guerreiro <i>et al.</i> (2015)
Mango 'Tommy Atkins' (<i>Mangifera indica</i>)	M.P	Alginato de sodio + glicerol	2 % p/v	Ácido cítrico	Presentó reducción de TR en un 26 %. Reducción de PM en un 4 %	Chiu marelli <i>et al.</i> (2011)
Manzana "Fuji" (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	M.P	Alginato de sodio + puré de manzana + glicerol + CaCl ₂	2 % p/v	Aceite esencial de limoncillo, orégano y vainilla. N-acetil-L-cisteína	Reducción de TR. Cloruro de calcio y N-acetilcisteína ayudaron a mantener firmeza y color	Rojas-Graü, Raybaudi-Massilia <i>et al.</i> (2007)
Manzana "Fuji" (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	M.P	Alginato de sodio + lactato de calcio + ácido málico	2 % p/v	Aceites esenciales de canela, clavo, limoncillo. N-acetil-L-cisteína, glutatión	El recubrimiento mantuvo las características fisicoquímicas por 30 días, decreció la TR y redujo la población de <i>Escherichia coli</i>	Raybaudi-Massilia, Rojas-Graü <i>et al.</i> (2008)
Manzana 'Gala' (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	M.P	Alginato + fructosa + glicerol + (ácido, linoleico, mantequilla y monoglicérido acetilado) + CaCl ₂	2 % p/v	Sorbato de potasio	Preservó la calidad de la manzana. Confirió brillo, translucidez y apariencia fresca. Evitó PP, pardeamiento y pérdida de textura	Olivas <i>et al.</i> (2007)
Melocotón (<i>Prunus persica</i>)	M.P	Alginato de sodio	N/A	N/A	Efectivo como antipardeante	Jia <i>et al.</i> (2009)
Melón "Piel de Sapo" (<i>Cucumis melo</i> L.)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + aceite de girasol + CaCl ₂	2 % p/v	N/A	Incrementó RVA. No mejoró la estabilidad microbológica. Redujo el daño por stress.	Oms-Oliu <i>et al.</i> (2008b)
Melón "Piel de Sapo" (<i>Cucumis melo</i> L.)	M.P	Alginato + glicerol + lactato de calcio + ácido málico	2 % p/v	Aceites esenciales, eugenol, geraniol, citral	Algunos aceites esenciales afectaron negativamente al producto	Raybaudi-Massilia, Mosqueda-Melgar <i>et al.</i> (2008)
Mora (<i>Rubus ulmifolius</i> cv. Comanche)	F	Alginato de sodio + CaCl ₂	2 % p/p	Sorbato de potasio	Recuentos elevados de mohos y levaduras por manipulación de los frutos	Meneghel <i>et al.</i> (2008)
Naranja "Pera" (<i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck)	M.P	Alginato de sodio + CaCl ₂	1 % p/v	N/A	Presentó una PM baja. CaCl ₂ tuvo mejor efecto frente a la firmeza	Groppo <i>et al.</i> (2009)

Cuadro 2.- Continuación.

Alimento	M.P /F	Componentes del recubrimiento	Concentración AS	Componente bioactivo	Resultados	Referencia
Papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + CaCl ₂	2 % p/v	Aceite de girasol + ácido ascórbico	Ácido ascórbico incrementó RVA. Barrera frente al oxígeno. Aceite incrementó la firmeza y RVA	Tapia <i>et al.</i> (2008)
Peras “Flor de Invierno” (<i>Pyrus communis</i> L.)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + aceite de girasol + CaCl ₂	2 % p/v	N-acetilcisteína y glutatión	Aumentó RVA. Redujo producción de etileno. Crecimiento microbiano bajo	Oms-Oliu <i>et al.</i> (2008a)
Pez brema (<i>Megalobrama amblycephala</i>)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + CaCl ₂	2 % p/v	Polifenoles de té, vitamina C	Retardó el deterioro del pescado y la pérdida de agua	Song <i>et al.</i> (2011)
Piña (<i>Ananas comosus</i> cv. ‘Josapine’)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + aceite de girasol + CaCl ₂	N/A	N/A	Conservó brillo y color. Redujo la PP y TR	Azarakhsh <i>et al.</i> (2011)
Piña (<i>Ananas comosus</i> cv. ‘Josapine’)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + CaCl ₂	Diferentes concentraciones de estudio	Aceite de girasol	La mezcla con mejores características de protección del fruto fue con 1,29 % (p/v) alginato de sodio, 1,16 % (p/v) glicerol y 0,025% (p/v) aceite de girasol	Azarakhsh <i>et al.</i> (2012)
Piña (<i>Ananas comosus</i> cv. ‘Josapine’)	M.P	Alginato de sodio + glicerol + aceite de girasol	1,29 % p/v	Aceite esencial de limoncillo	La adición de limoncillo no afectó PP. Redujo significativamente TR. Altas concentraciones de limoncillo reducen firmeza.	Azarakhsh <i>et al.</i> (2014)
Piña ‘Gold’ (<i>Ananas comosus</i> L. Merrill)	M.P	Alginato + glicerol + CaCl ₂	1 % p/v	Ácido cítrico, ácido ascórbico, aceite de girasol	Mejoró significativamente la vida útil. Alta retención de jugos, comparado con los otros tratamientos	Montero-Calderón <i>et al.</i> (2008)
Tomate (<i>Solanum lycopersicon</i> Mill.)	F	Alginato de sodio + glicerol	1 % p/v	N/A	Reducción de TR y producción de etileno. Glicerol mejoró RVA	Zapata <i>et al.</i> (2008)
Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	M.P	Alginato de sodio + CaCl ₂	4 % p/v	Etanol	El recubrimiento controló el crecimiento bacteriano. Aumentó la vida útil de 12-13 días.	Mastromatteo <i>et al.</i> (2012)

M.P: mínimamente procesado. F: fresco. AS: alginato de sodio. N/A: no aplica. TR: tasa respiratoria. PP: pérdida de peso. RC: recubrimiento comestible. PM: pérdida de masa. RVA: resistencia al vapor de agua.

CONCLUSIONES

El alginato de sodio muestra poseer características especiales en el desarrollo de matrices biopoliméricas destinadas a nuevas aplicaciones en empaques activos. Las películas comestibles a partir de alginato poseen un sin número de aplicaciones en el campo alimentario siendo su biodegradabilidad, biocompatibilidad, baja persistencia en el ambiente y grado de compatibilidad con diferentes sustancias sus principales características de innovación que han interesado en el campo a la investigación. Claro está que muchas de sus funcionalidades como biomaterial se encuentran condicionadas por la cantidad, naturaleza y velocidad de liberación de las sustancias encapsuladas dentro de estas matrices, razón por la cual el estudio de su interacción con cada una de las sustancias anteriormente escritas deberá ser evaluada desde el aspecto mecánico, reológico y estructural, entre otros, y así vislumbrar su potencial en medio de las necesidades del campo agroalimentario.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al programa “Jóvenes Investigadores e Innovadores” de COLCIENCIAS, así como a la Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad del Tolima a través del proyecto 70111.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, A.; Salvador, A. and Fiszman, S.M. 2012. A film of alginate plus salt as an edible susceptor in microwaveable food. *Food Hydrocolloids*. 27(2):421-426.
- Argin-Soysal, Sanem; Kofinas, Peter and Lo, Y. Martin. 2009. Effect of complexation conditions on xanthan-chitosan polyelectrolyte complex gels. *Food Hydrocolloids*. 23(1):202-209.
- Azarakhsh, N.; Osman, A.; Ghazali, H.M.; Tan, C.P. and Mohd-Adzahan, N. 2011. Effect of alginate and gellan-based edible coatings on the quality of fresh-cut pineapple during cold storage. *Acta Horticulturae*. 902:519-524.
- Azarakhsh, N.; Osman, A.; Ghazali, H.M.; Tan, C.P. and Mohd-Adzahan, N. 2012. Optimization of alginate and gellan-based edible coating formulations for fresh-cut pineapples. *International Food Research Journal*. 19(1):279-285.
- Azarakhsh, Nima; Osman, Azizah; Ghazali, Hasanah Mohd; Tan, Chin Ping and Mohd-Adzahan, Noranizan. 2014. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*. 88:1-7.
- Bajdik, János; Makai, Zsolt; Berkesi, Ottó; Süvegh, Károly; Marek, Tamás; Erős, István and Pintye-Hódi, Klára. 2009. Study of the effect of lactose on the structure of sodium alginate films. *Carbohydrate Polymers*. 77(3):530-535.
- Bajpai, Sunil K.; Chand, Navin and Chaurasia, Varsha. 2012. Nano zinc oxide-loaded calcium alginate films with potential antibacterial properties. *Food and Bioprocess Technology*. 5(5):1871-1881.
- Basha, N.S.; Rekha, R.; Letensie, A. and Mensura, S. 2011. Preliminary investigation on sodium alginate extracted from *Sargassum subrepandum* of Red Sea of Eritrea as tablet binder. *Journal of Scientific Research*. 3(3):609-618.
- Bastarrachea, Luis; Dhawan, Sumeet and Sablani, Shyam S. 2011. Engineering properties of polymeric-based antimicrobial films for food packaging. *Food Engineering Reviews*. 3(2):79-83.
- Benavides, Sergio; Villalobos-Carvajal, R. and Reyes, J.E. 2012. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: effect of the crosslinking degree and

- oregano essential oil concentration. *Journal of Food Engineering*. 110(2):232-239.
- Bico, Sheryl Lozel Sadili; Raposo, Maria Filomena de Jesus; de Morais, Rui Manuel Santos Costa and de Morais, Alcina Maria Miranda Bernardo. 2010. Chemical dips and edible coatings to retard softening and browning of fresh-cut banana. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*. 2(1):13-24.
- Bierhalz, Andréa Cristiane Krause; da Silva, Mariana Altenhofen and Kieckbusch, Theo Guenter. 2012. Natamycin release from alginate/pectin films for food packaging applications. *Journal of Food Engineering*. 110(1):18-25.
- Blanco-Pascual, N.; Montero, M.P. and Gómez-Guillén, M.C. 2014. Antioxidant film development from unrefined extracts of brown seaweeds *Laminaria digitata* and *Ascophyllum nodosum*. *Food Hydrocolloids*. 37:100-110.
- Braccini, Isabelle and Pérez, Serge. 2001. Molecular basis of Ca²⁺-induced gelation in alginates and pectins: the egg-box model revisited. *Biomacromolecules*. 2(4):1089-1096.
- Brachkova, M.I.; Marques, P.; Rocha, J.; Sepodes, B.; Duarte, M.A. and Pinto, J.F. 2011. Alginate films containing *Lactobacillus plantarum* as wound dressing for prevention of burn infection. *The Journal of Hospital Infection*. 79(4):375-377.
- Cha, Dong Su; Choi, Jin Hyuk; Chinnan, Manjeet S. and Park, Hyun Jin. 2002. Antimicrobial films based on Na-alginate and κ-carrageenan. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT) - Food Science and Technology*. 35(8):715-719.
- Chiumarelli, Marcela; Ferrari, Cristhiane C.; Sarantópoulos, Claire I.G.L. and Hubinger, Miriam D. 2011. Fresh cut 'Tommy Atkins' mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 12(3):381-387.
- Cisneros-Zevallos, L. and Krochta, J.M. 2002. Internal modified atmospheres of coated fresh fruits and vegetables: understanding relative humidity effects. *Journal of Food Science*. 67(6):1990-1995.
- Concha-Meyer, Aníbal; Schöbitz, Renate; Brito, Carmen and Fuentes, Ricardo. 2011. Lactic acid bacteria in an alginate film inhibit *Listeria monocytogenes* growth on smoked salmon. *Food Control*. 22(3-4):485-489.
- Cubero, N.; Monferrer, A. y Villalta, J. 2002. *Aditivos Alimentarios*. Madrid, España: Mundi Prensa. 240 p.
- Cui, Jing Hao; Goh, Juhn Su; Kim, Pyung Hyun; Choi, Suk Ho and Lee, Beom Jin. 2000. Survival and stability of bifidobacteria loaded in alginate poly-*l*-lysine microparticles. *International Journal of Pharmaceutics*. 210(1-2):51-59.
- da Silva, Mariana Altenhofen; Bierhalz, Andréa Cristiane Krause and Kieckbusch, Theo Guenter. 2009. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate Polymers*. 77(4):736-742.
- Debeaufort, Frédérick; Quezada-Gallo, Jesús Alberto and Voilley, Andrée. 1998. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 38(4):299-313.
- Devi, Nirmala and Kakati, Dilip Kumar. 2013. Smart porous microparticles based on gelatin/sodium alginate polyelectrolyte complex. *Journal of Food Engineering*. 117(2):193-204.
- Dhall, R.K. 2013. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53(5):435-450.

- Díaz-Mula, Huertas M.; Serrano, María and Valero, Daniel. 2012. Alginate coatings preserve fruit quality and bioactive compounds during storage of sweet cherry fruit. *Food and Bioprocess Technology*. 5(8):2990-2997.
- Dong, Zhanfeng; Wang, Qun and Du, Yumin. 2006. Alginate/gelatin blend films and their properties for drug controlled release. *Journal of Membrane Science*. 280(1-2):37-44.
- Draget, Kurt I. and Taylor, Catherine. 2011. Chemical, physical and biological properties of alginates and their biomedical implications. *Food Hydrocolloids*. 25(2):251-256.
- Duan, Jingyun; Wu, Ruyi; Strik, Bernadine C. and Zhao, Yanyun. 2011. Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*. 59(1):71-79.
- Ertesvåg, Helga and Valla, Svein. 1998. Biosynthesis and applications of alginates. *Polymer Degradation and Stability*. 59(1-3):85-91.
- Fan, Yan; Xu, Ying; Wang, Dongfeng; Zhang, Li; Sun, Jipeng; Sun, Liping and Zhang, Bin. 2009. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria x ananassa*) preservation quality. *Postharvest Biology and Technology*. 53(1-2):84-90.
- Fernández-Farrés, I. Moakes, R.J.A and Norton, I.T. 2014. Designing biopolymer fluid gels: a microstructural approach. *Food Hydrocolloids*. 42(Part3):362-372.
- Fernández Farrés, I. and Norton, I.T. 2014. Formation kinetics and rheology of alginate fluid gels produced by in-situ calcium release. *Food Hydrocolloids*. 40:76-84.
- Fontes, Luciana Cristina Brigatto; Sarmento, Silene Bruder Silveira e Spoto, Marta Helena Fillet. 2007. Características sensoriais e microbiológicas de maçãs minimamente processadas recobertas com películas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil)*. 27(1):91-98.
- Fontes, Luciana Cristina Brigatto; Sarmento, Silene Bruder Silveira; Spoto, Marta Helena Fillet e Dias, Carlos Tadeu dos Santos. 2008. Conservação de maçã minimamente processada com o uso de películas comestíveis. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil)*. 28(4):872-880.
- Funami, Takahiro; Fang, Yapeng; Noda, Sakie; Ishihara, Sayaka; Nakauma, Makoto; Draget, Kurt I.; Nishinari, Katsuyoshi and Phillips, Glyn O. 2009. Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca²⁺ binding. *Food Hydrocolloids*. 23(7):1746-1755.
- Gómez-Díaz, Diego and Navaza, José M. 2003. Rheology of aqueous solutions of food additives: Effect of concentration, temperature and blending. *Journal of Food Engineering*. 56(4):387-392.
- Gontard, N.; Thibault, R.; Cuq, B. and Guilbert, S. 1996. Influences of relative humidity and film composition on oxygen and carbon dioxide permeability of edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44(4):1064-1069.
- Grant, Gregor T.; Morris, Edwin R.; Rees, David A.; Smith, Peter J.C. and Thom, David. 1973. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. *FEBS Letters*. 32(1):195-198.
- Grizotto, Regina Kitagawa; Berbari, Shirley Aparecida Garcia; de Moura, Sílvia Cristina Sobottka Rolim e Claus, Melissa Lima. 2006. Estudo da vida-de-prateleira de fruta estruturada e desidratada obtida de polpa concentrada de mamão. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil)*. 26(3):709-714.

- Grosso, Vanessa Daniel; Spoto, Marta Helena Fillet; Gallo, Cláudio Rosa e Sarmiento, Silene Bruder Silveira. 2009. Efeito do cloreto de cálcio e da película de alginato de sódio na conservação de laranja 'Pera' minimamente processada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil)*. 29(1):107-113.
- Guerreiro, Adriana C.; Gago, Custódia M.L.; Faleiro, Maria L.; Miguel, Maria G.C. and Antunes, Maria D.C. 2015. The effect of alginate-based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage. *Postharvest Biology and Technology*. 100:226-233.
- Hagenmaier, Robert D. and Shaw, Philip E. 1990. Moisture permeability of edible film made with fatty acid and (hydroxypropyl) methyl-cellulose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 38(9):1799-1803.
- Han, J.H. and Krochta, J.M. 1999. Wetting properties and water vapor permeability of whey-protein-coated paper. *Transactions of the ASAE*. 42(5):1375-1382.
- Han, Jung H. 2013. Emerging technologies in food packaging: overview. In *Plastic films in food packaging: materials, technology, and applications*. (pp. 121-126). Waltham, MA, USA: William Andrew/Elsevier, Inc.
- Hernandez, Ernesto. 1994. Edible coatings from lipids and resins. In *Edible coatings and films to improve food quality*. (pp. 279-304). Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Jia, Huimin; Han, Tao; Li, Liping and Zhang, Haiying. 2009. Effects of edible coatings on browning of fresh-cut peach fruits. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Nongye Gongcheng Xuebao)*. 25(3):282-286.
- Koetz, Joachim; Linow, Karl Joachim; Philipp, Burkart; Hu, Li Ping and Vogl, Otto. 1986. Effects of charge density and structure of side-chain branching on the composition of polyanion-polycation complexes. *Polymer*. 27(10):1574-1580.
- Krochta, J.M. and De Mulder-Johnston, C. 1997. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*. 51(2):61-74.
- Li, Liangbin; Fang, Yapeng; Vreeker, Rob and Appelqvist, Ingrid. 2007. Reexamining the egg-box model in calcium-alginate gels with X-ray diffraction. *Biomacromolecules*. 8(2):464-468.
- Liakos, Ioannis; Rizzello, Loris; Bayer, Ilker S.; Pompa, Pier Paolo; Cingolani, Roberto and Athanassiou, Athanassia. 2013. Controlled antiseptic release by alginate polymer films and beads. *Carbohydrate Polymers*. 92(1):176-183.
- Lu, Fei; Liu, Donghong; Ye, Xingqian; Wei, Yunxiao and Liu, Fen. 2009. Alginate-calcium coating incorporating nisin and EDTA maintains the quality of fresh northern snakehead (*Channa argus*) fillets stored at 4 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89(5):848-854.
- Mastromatteo, Marianna; Conte, Amalia and Del Nobile, Matteo Alessandro. 2012. Packaging strategies to prolong the shelf life of fresh carrots (*Daucus carota* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 13:215-220.
- McHugh, Tara Habig and Krochta, John M. 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.
- Meneghel, Renata Fraxino de Almeida; Benassi, Marta de Toledo e Yamashita, Fábio. 2008. Revestimento comestível de alginato de sódio para frutos de amora-preta (*Rubus ulmifolius*). *Semina: Ciências Agrárias*. 29(3):609-618.
- Miguel, Ana Carolina A.; Begiato, Gabriela F.; Dias, João Ricardo P. Stein; Albertini, Silvana e Spoto, Marta Helena F. 2008. Efeito de tratamentos químicos na respiração e parâmetros físicos de melão 'Amarelo' minimamente processado. *Horticultura Brasileira*. 26(4):458-463.

- Millette, M.; Le Tien, C.; Smoragiewicz, W. and Lacroix, Monique. 2007. Inhibition of *Staphylococcus aureus* on beef by nisin-containing modified alginate films and beads. *Food Control*. 18(7):878-884.
- Moayednia, N.; Ehsani, M.R.; Emamdjomeh, Z.; Mazaheri-Asadi, M.; Mizani, M. and Mazaheri, A.F. 2010. A note on the effect of calcium alginate coating on quality of refrigerated strawberries. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 49(2):165-170.
- Montero-Calderón, Marta; Rojas-Graü, María Alejandra and Martín-Belloso, Olga. 2008. Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*. 50(2-3):182-189.
- Mørch, Ý.A.; Donati, I.; Strand, B.L. and Skjåk-Bræk, G. 2007. Molecular engineering as an approach to design new functional properties of alginate. *Biomacromolecules*. 8(9):2809-2814.
- Morris, Edwin R.; Rees, David A.; Thom, David and Boyd, Jonathan. 1978. Chiroptical and stoichiometric evidence of a specific, primary dimerisation process in alginate gelation. *Carbohydrate Research*. 66(1):145-154.
- Müller, José Miguel; dos Santos, Renata Lopes e Brigido, Riveli Vieira. 2011. Produção de alginato por microrganismos. *Polímeros*. 21(4):305-310.
- Neetoo, Hudda; Ye, Mu and Chen, Haiqiang. 2010. Bioactive alginate coatings to control *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon slices and fillets. *International Journal of Food Microbiology*. 136(3):326-331.
- Norajit, Krittika; Kim, Ki Miong and Ryu, Gi Hyung. 2010. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. *Journal of Food Engineering*. 98(3):377-384.
- Norajit, Krittika and Ryu, Gi Hyung. 2011. Preparation and properties of antibacterial alginate films incorporating extruded white ginseng extract. *Journal of Food Processing and Preservation*. 35(4):387-393.
- Olivas, G.I.; Mattinson, D.S. and Barbosa-Cánovas, G.V. 2007. Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. *Postharvest Biology and Technology*. 45(1):89-96.
- Olivas, Guadalupe I. and Barbosa-Cánovas, Gustavo V. 2008. Alginate-calcium films: water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizer and relative humidity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT) - Food Science and Technology*. 41(2):359-366.
- Oliveira, Aline F.; Silveira, Cristian B.; Ernani, Paulo R.; Balbinot, Elisandro S. and Soldi, Valdir. 2011. Potassium ions release from polysaccharide films. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 22(2):211-216.
- Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2008a. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*. 50(1):87-94.
- Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2008b. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT) - Food Science and Technology*. 41(10):1862-1870.
- Pavlath, A.E.; Gossett, C.; Camirand, W. and Robertson, G.H. 1999. Ionomeric films of alginic acid. *Journal of Food Science*. 64(1):61-63.
- Raybaudi-Massilia, Rosa M.; Mosqueda-Melgar, Jonathan and Martín-Belloso, Olga. 2008. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve

- shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*. 121(3):313-327.
- Raybaudi-Massilia, Rosa M.; Rojas-Graü, María A.; Mosqueda-Melgar, Jonathan and Martín-Belloso, Olga. 2008. Comparative study on essential oils incorporated into an alginate-based edible coating to assure the safety and quality of fresh-cut Fuji apples. *Journal of Food Protection*. 71(6):1150-1161.
- Remminghorst, Uwe and Rehm Bernd H.A. 2006. Bacterial alginates: from biosynthesis to applications. *Biotechnology Letters*. 28(21):1701-1712.
- Remuñán-López, Carmen and Bodmeier, Roland. 1997. Mechanical, water uptake and permeability properties of crosslinked chitosan glutamate and alginate films. *Journal of Controlled Release*. 44(2-3):215-225.
- Rhim, Jong Whan. 2004. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT) - Food Science and Technology*. 37(3):323-330.
- Rivero, S.; García, M.A. and Pinotti, A. 2009. Composite and bi-layer films based on gelatin and chitosan. *Journal of Food Engineering*. 90(4):531-539.
- Rojas-Graü, M.A.; Tapia, M.S.; Rodríguez, F.J.; Carmona, A.J. and Martín-Belloso, A. 2007. Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids*. 21(1):118-127.
- Rojas-Graü, Maria A.; Avena-Bustillos, Roberto J.; Olsen, Carl; Friedman, Mendel; Henika, Philip R.; Martín-Belloso, Olga; Pan, Zhongli and McHugh, Tara H. 2007. Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films. *Journal of Food Engineering*. 81(3):634-641.
- Rojas-Graü, María A.; Raybaudi-Massilia, Rosa M.; Soliva-Fortuny, Robert C.; Avena-Bustillos, Roberto J.; McHugh, Tara H. and Martín-Belloso, Olga. 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*. 45(2):254-264.
- Sæther, Heidi Vogt; Holme, Hilde K.; Maurstad, Gjerturd; Smidsrød, Olav and Stokke, Bjørn T. 2008. Polyelectrolyte complex formation using alginate and chitosan. *Carbohydrate Polymers*. 74(4):813-821.
- Sandford, Paul A. and Baird, John. 1983. Industrial utilization of polysaccharides. In *The polysaccharides*. Vol. 2. (pp. 412-490). New York: Academic Press, Inc.
- Sikorski, Pawel; Mo, Frode; Skjåk-Bræk, Gudmund and Stokke, Bjørn T. 2007. Evidence for egg-box-compatible interactions in calcium-alginate gels from fiber X-ray diffraction. *Biomacromolecules*. 8(7):2098-2103.
- Silva Mariana dos Santos; Cocenza, Daniela Sgarbi; de Melo, Nathalie Ferreira Silva; Grillo, Renato; Rosa, André Henrique e Fraceto, Leonardo Fernandes. 2010. Nanopartículas de alginato como sistema de liberação para o herbicida clomazone. *Química Nova*. 33(9):1868-1873.
- Song, Yongling; Liu, Lei; Shen, Huixing; You, Juan and Luo, Yongkang. 2011. Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*). *Food Control*. 22(3-4):608-615.
- Soukoulis, Christos; Yonekura, Lina; Gan, Heng Hui; Behboudi-Jobbehdar, Solmaz; Parmenter, Christopher and Fisk, Ian. 2014. Probiotic edible films as a new strategy for developing functional bakery products: the case of pan bread. *Food Hydrocolloids*. 39:231-242.

- Sriamornsak, Pomsak and Kennedy, Ross A. 2008. Swelling and diffusion studies of calcium polysaccharide gels intended for film coating. *International Journal of Pharmaceutics*. 358(1-2):205-213.
- Tapia, Cristián; Escobar, Zunilda; Costa, Edda; Sapag-Hagar, Jaime; Valenzuela, Fernando; Basualto, Carlos; Gai, María Nella and Yazdani-Pedram, Mehrdad. 2004. Comparative studies on polyelectrolyte complexes and mixtures of chitosan–alginate and chitosan–carrageenan as prolonged diltiazem clorhydrate release systems. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 57(1):65-75.
- Tapia, M.S.; Rojas-Graü, M.A.; Carmona, A.; Rodríguez, F.J.; Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2008. Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids* 22(8):1493-1503.
- Thünemann, Andreas F.; Müller, Martin; Dautzenberg, Herbert; Joanny, Jean-François and Löwen, Hartmut. 2004. Polyelectrolyte complexes. In *Polyelectrolytes with defined molecular architecture II*. Vol. 166. (pp. 113-171). Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Vauchel, P.; Leroux, K.; Kaas, R.; Arhaliass, A.; Baron, R. and Legrand, J. 2009. Kinetics modeling of alginate alkaline extraction from *Laminaria digitata*. *Bioresource Technology*. 100(3):1291-1296.
- Verma, Devendra; Desai, Malav S.; Kulkarni, Namrata and Langrana, Noshir. 2011. Characterization of surface charge and mechanical properties of chitosan/alginate based biomaterials. *Materials Science and Engineering: C*. 31(8):1741-1747.
- Villagómez-Zabala, D.L.; Gómez-Corona, C.; San Martín-Martínez, E.; Pérez-Orozco, J.P.; Vernon-Carter, E.J. and Pedroza-Islas, R. 2008. Comparative study of the mechanical properties of edible films made from single and blended hydrophilic biopolymer matrices. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 7(3):263-273.
- Wang, Lizhe; Auty, Mark A.E. and Kerry, Joe P. 2010. Physical assessment of composite biodegradable films manufactured using whey protein isolate, gelatin and sodium alginate. *Journal of Food Engineering*. 96(2):199-207.
- Wang, Lizhe Z.; Liu, Li; Holmes, Justin; Kerry, John F. and Kerry, Joe P. 2007. Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films. *International Journal of Food Science & Technology*. 42(9):1128-1138.
- Xiao, Qian; Tong, Qunyi and Lim, Loong Tak. 2012. Pullulan-sodium alginate based edible films: rheological properties of film forming solutions. *Carbohydrate Polymers*. 87(2):1689-1695.
- Zactiti, E.M. and Kieckbusch, T.G. 2006. Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films: effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree. *Journal of Food Engineering*. 77(3):462-467.
- Zapata, Pedro Javier; Guillén, Fabián; Martínez-Romero, Domingo; Castillo, Salvador; Valero, Daniel and Serrano, María. 2008. Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill.) quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88(7):1287-1293.