



Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos

G. C. Avendaño - Romero*, A. López - Malo y E. Palou

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla. C.P.72810, México.*

Resumen

La industria de alimentos busca ingredientes que al ser adicionados a un alimento, prolonguen su vida útil y reduzcan la tasa de cambios que el producto alimenticio podría experimentar durante su almacenamiento, transporte y manipulación. Entre de estos aditivos, los alginatos, han adquirido gran importancia en los últimos años. Éstos tienen la capacidad de actuar como agentes estabilizantes, gelificantes, espesantes y formadores de películas. Además, son fáciles de obtener a partir de algas marinas que se encuentran en todos los mares del mundo y tienen relativamente bajo costo. Debido las propiedades mencionadas, los alginatos son utilizados en postres, productos de panadería, helados, conservas, aderezos de ensaladas, embutidos, bebidas y geles de repostería, entre otros muchos productos alimenticios. Recientemente se han utilizado en la formación de películas comestibles aplicadas a frutas mínimamente procesadas, con el fin de mantener los atributos de frescura. Por lo anteriormente mencionado, el objetivo de esta revisión es aportar información acerca de su proceso de obtención, como sus propiedades y aplicaciones en alimentos.

Palabras clave: alginato, gelificación, espesantes, formadores de películas, aplicaciones.

Abstract

The food industry seeks for food ingredients to extend the shelf-life and reduce changes during storage, transportation and handling. In recent years, production of alginates has gained importance. Alginates have the ability to act as stabilizer, gelling agents, thickeners and film formers. They are easily obtained from seaweed found in all oceans of the world, and have low cost. Thus, alginates are added in desserts, baked goods, ice cream, salad dressings, sausages, drinks and are employed as ingredients and confectionery gels among other foodstuffs. Also, alginates have been used in edible film formation applied to cover fruit minimally processed, in order to maintain their freshness. The purpose of this review is to provide information about the production process of alginates, their properties and applications in foods.

Keywords: alginate, gelation, thickeners, film formers, food applications.

Introducción

Durante los últimos años se ha observado un interés sobre las propiedades del alginato en la

industria alimentaria. Tales aspectos han sido compilados en la literatura por Imeson (2010), resaltando el efecto prebiótico de los alginatos de bajo peso molecular, los beneficios de su ingesta como fibra para la reducción de los niveles de azúcar y colesterol en sangre, así

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: gabrielac.avendanoro@udlap.mx

como la capacidad para prolongar la vida útil de los productos (Parra-Huertas, 2010). Estas ventajas del alginato y las recientes tendencias tecnológicas se han fusionado y se proponen ahora alternativas del empleo de los alginatos para reducir los efectos que alteran frutas y vegetales mínimamente procesados, al ser recubiertos con películas formadas con alginato, y para reducir el uso indiscriminado de empaques para alimentos, ya que generalmente no son biodegradables, lo que provoca altos niveles de contaminación a nivel mundial (Srinivasa y Tharanathan, 2007).

El ácido algínico es un compuesto químico que se encuentra en la pared celular de las algas marinas pardas (feofíceas). Los alginatos son sales del ácido algínico que pueden ser formadas con Na, K, Mg, Ca, entre otros, formando sales con diferentes grados de solubilidad en agua, lo cual confiere diversos grados de viscosidad (Yabur *et al.*, 2007). Los primeros estudios relacionados con la extracción de alginatos a partir de algas pardas fueron realizados por el químico británico E. C. Stanford en el año de 1883. Stanford, a través de procedimientos de digestión de las algas pardas con carbonato sódico, observó que se formaba una sustancia gelatinosa a la cual denominó “algina”, por ser una sustancia derivada de algas (Medina y Ledo, 2010).

El ácido algínico en su forma salina es un polímero biodegradable y biocompatible, que forma geles con facilidad en presencia de iones calcio. Este polímero, por su gran versatilidad, ha sido utilizado como estabilizador, aglutinante, espesante, gelificante y formador de películas delgadas sobre superficies. La siguiente revisión tiene por objetivo aportar información acerca de las propiedades y aplicaciones de los alginatos, así como de su proceso de obtención.

Revisión bibliográfica

1. Aspectos generales del alginato

Los alginatos son los polisacáridos más abundantes presentes en las algas marinas. Comprenden hasta 40% de su peso seco. Son los componentes estructurales de la pared celular de las algas, cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua (Hernández *et al.*, 2005). Los alginatos son extraídos principalmente de tres especies de algas marrones. Éstas incluyen *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*. En su estado natural, los alginatos se presentan como una mezcla de sales de los cationes que comúnmente se localizan en el agua de mar, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ . Las proporciones en las que estos iones están unidos al alginato dependen de su composición, así como de la selectividad de enlace de los cationes alcalinotérreos por el alginato (Yabur *et al.*, 2007)

Los alginatos son una familia de polisacáridos lineales, conteniendo cantidades variables de ácido β -D-manurónico (M: 1,4-enlace ácido β -D-manopiranosilurónico $^4\text{C}_1$) y de ácido α -L-gulurónico (G: 1,4-enlace ácido α -L-gulopiranosilurónico $^1\text{C}_4$). Su composición (dada por la relación característica manurónico/gulurónico M/G) y secuencias varían dependiendo de la fuente de la cual proviene el polisacárido. Este polímero debe su carácter polianiónico a los grupos carboxilo que aparecen a lo largo de la cadena. La composición y extensión de las secuencias y el peso molecular determinan las propiedades físicas de los alginatos (Lupo *et al.*, 2012). Éstos se agrupan en o se distribuyen en secciones constituyendo homopolímeros

tipo bloques G (-GGG-), bloques M (-MMM-) o heteropolímeros en los que los bloques M y G se alternan (-MGMG-). Tanto la distribución de los monómeros en la cadena polimérica como la carga y volumen de los grupos carboxílicos, confieren al gel formado características de flexibilidad o rigidez dependiendo del contenido de gulurónico. Si en la estructura polimérica hay mayor cantidad de bloques G, generalmente el gel es duro y frágil, mientras que con la presencia de mayor proporción de bloques M, el gel formado se presenta suave y elástico. Los bloques de secuencias MM, MG, se encuentran unidos por enlaces glucosídicos β (1-4); y los bloques GG, GM, unidos por enlaces glucosídicos α (1-4) (Lupo *et al.*, 2012).

Las sales del ácido algínico están formadas por tres bloques, M, G y MG. Cuando dos cadenas de bloque G se alinean, se forman sitios de coordinación. Debido a la forma de bucles de estas cadenas, existen cavidades entre ellas que tienen el tamaño adecuado para acomodar al ion calcio y además están revestidas con grupos carboxílicos y otros átomos de oxígeno electronegativos. Después de la adición de iones de calcio, el alginato sufre cambios conformacionales, dando lugar al conocido modelo de gelificación del alginato conocido como “caja de huevo” (Fig 1). Esto se basa en la dimerización de la cadena y, finalmente, en la mayor agregación

de los dímeros. Se encontró que la fuerza de los geles de alginato depende del número de enlaces cruzados formados, del tipo de reticulación iónica, y de la longitud y la rigidez de los bloques entre los enlaces (Mancini *et al.*, 1999). Lo anterior es importante, ya que los alginatos que presentan grandes regiones de bloques G forman un gel de fuerza alta y exhiben una alta porosidad. Los que presentan grandes bloques M forman un gel de fuerza media, pero con una alta resistencia a la sinéresis y exhiben poros más pequeños que los hacen más suaves (Hernández *et al.*, 2005).

La viscosidad de las soluciones de alginatos depende de la longitud de las moléculas, cuanto mayor sea la longitud de las cadenas, más alta será la viscosidad. Al disolverse en agua, las moléculas se hidratan y aumenta su viscosidad. En una solución ácida el alginato formará un gel, ya que a pH bajo los grupos carboxílicos de los ácidos urónicos aceptan protones, lo que hace que se favorezca la formación de enlaces de los bloques G. La hidratación del ácido algínico a pH bajo conduce a la formación de un gel de alta viscosidad. En un medio ácido, la viscosidad se va incrementando por la disminución de la solubilidad del ácido algínico libre, precipitando en forma de gel a un pH en el intervalo de 3 a 4 (Lupo *et al.*, 2012).

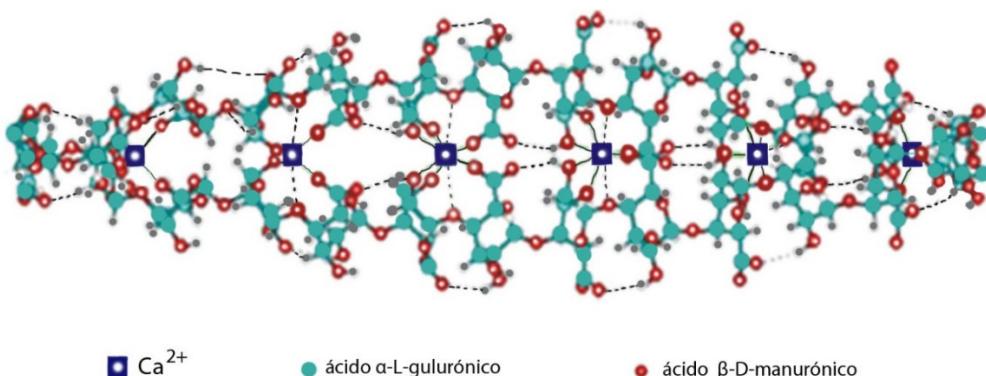


Fig. 1. Modelo “caja de huevo” que describe la estructura del alginato. (Adaptada de Reddy y Reddy 2010).

2. Obtención de alginato

La obtención del alginato se basa en un conjunto de reacciones de intercambio iónico para la extracción del ácido algínico del alga en forma de alginato de sodio. El proceso se ha ido modificando y optimizando con el tiempo, permitiendo la producción de alginato con mayor calidad.

Existen dos procesos básicos para la obtención de alginato de sodio. En el primero, los principales intermediarios son alginato de calcio y ácido algínico. En el segundo, no se forma alginato de calcio, sólo ácido algínico. En ambos procesos, durante la etapa de conversión del ácido algínico a alginato de sodio se usa agua o alcohol como solvente, obteniendo resultados muy diferentes. En el proceso para alginato de calcio normalmente el solvente es agua y en el proceso para ácido algínico se emplea más el alcohol, debido al alto contenido de agua en el ácido algínico (Arvizu *et al.*, 2002). El ácido algínico y el alcohol pueden ser mezclados en un recipiente con agitación, añadiendo la cantidad calculada del agente alcalino deseado, o bien, añadiéndolo simultáneamente con el alcohol. En algunas patentes se describen estos procesos, pero no se proporcionan detalles de la concentración o el volumen del solvente empleado. El método describe que el ácido algínico se lava con agua hasta obtener un pH de 4 y se mezcla con carbonato de sodio hasta obtener un pH de 7. Se incorpora el álcali dependiendo de su naturaleza: a) se añade carbonato de sodio, potasio o magnesio como polvo seco y molido; b) los hidróxidos de potasio o sodio se añaden como soluciones acuosas concentradas o soluciones alcohólicas; c) el amoniaco se añade en la forma de amoniaco-agua, 28–29%, o como un gas en un recipiente de presión (Arvizu *et al.*, 2002).

La obtención de alginato de sodio se inicia con la molienda del material; enseguida el alga molida y seca es hidratada con una solución de

formaldehído. Posteriormente se realiza la pre-extracción con ácido clorhídrico, para convertir las sales de alginato a ácido algínico. La extracción alcalina se puede realizar también con carbonato de sodio a alta temperatura para convertir el ácido algínico a su forma soluble, prosiguiendo con la precipitación con cloruro de calcio, para obtener alginato de calcio. Por último, se realiza el prensado, secado y reducción del producto obtenido a un tamaño apropiado, para su empaquetamiento. A partir de este proceso general, se realizan cambios químicos y físicos para obtener productos específicos para los diferentes usos en la industria alimentaria (Arvizu *et al.*, 2002).

3. Propiedades de alginato

Existen diferentes estudios que indican la seguridad del uso de los alginatos en los alimentos. Los alginatos de sodio, potasio, calcio y amonio, ácido algínico y el alginato de propilenglicol, son aditivos alimenticios reconocidos como inocuos y seguros, según la *Food and Drug Administration* de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) (FAO, 2001). De la misma manera, están enlistados en el *Codex Alimentarius* que provee la *Food and Agriculture Organization* (FAO por sus siglas en inglés) y la *World Health Organization* (WHO por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas, donde se establece que los límites de ingesta diaria de ácido algínico y de sus sales derivadas para los humanos, es de 50 mg/kg de peso corporal, y del alginato de propilenglicol de 25 mg/kg de peso corporal (FAO/WHO, 2001).

La aplicación de los alginatos se basa en cuatro propiedades principales. La primera concierne a su habilidad como espesantes al ser disueltos en agua, generando un aumento en la viscosidad de la solución en la que se disuelven. La segunda a su capacidad de retener agua. La tercera se debe a su habilidad de formar un gel a partir de una serie de

reacciones químicas de intercambio iónico que dan lugar a la formación de enlaces entre las cadenas adyacentes del polímero del alginato; particularmente se realiza un intercambio de iones sodio por cationes divalentes o trivalentes. La cuarta se basa en la propiedad de formar películas (Funami *et al.*, 2009).

La capacidad del alginato como estabilizante se mide en función de su grado de polimerización (GP), el cual es una medida del peso molecular promedio de las cadenas que lo constituyen y se relaciona directamente con la viscosidad de sus soluciones. La pérdida de viscosidad en el almacenamiento es una medida del grado de despolimerización del alginato (McHugh 1987).

Los alginatos con alto GP son menos estables que los que tienen un bajo GP. Los alginatos de sodio de baja viscosidad (50 mPa.s) se han almacenado a 10-20°C con ningún cambio observable en tres años. Alginatos de sodio de viscosidad media (400 mPa·s) muestran una pérdida de 10% a 25°C y de 45% a 33°C después de un año, y los alginatos de mayor viscosidad son menos estables. Alginatos de propilenglicol muestran una pérdida del 40% de la viscosidad después de un año a 25°C y también se hacen menos solubles. El alginato de amonio es generalmente menos estable que cualquiera de los anteriores. El ácido algínico es el menos estable de los productos y cualquier material de cadena larga se degrada en cadenas más cortas en pocos meses a temperatura ambiente. Sin embargo, el material de cadena corta es estable y el ácido algínico con un GP de aproximadamente 40 unidades de ácido urónico por cadena, muestra muy pocos cambios durante un año a 20°C. Así mismo, para que estos alginatos sean más estables necesitan un intervalo de pH entre 5 y 9 (McDowell, 1977); pequeñas cantidades de calcio aumentan en gran medida la estabilidad de las soluciones de alginato de sodio. Las soluciones de alginato de propilenglicol son

estables a temperatura ambiente a pH de 3-4; por debajo de pH 2 y por encima de pH 6 pierden viscosidad rápidamente, incluso a temperatura ambiente (McNeely y Pettitt, 1973). Una condición que se debe tomar en cuenta para los alginatos comerciales es que se deben almacenar en un lugar fresco, a 25°C o inferior, ya que las temperaturas elevadas pueden causar despolimerización significativa que afecta a las propiedades comercialmente útiles, tales como la viscosidad y resistencia del gel (McHugh, 1987).

Una característica interesante de los alginatos es su capacidad de retención de agua o adsorbente, la cual es de tal magnitud que incluso en algunas aplicaciones en otras industrias diferentes a la de alimentos los denominan como superabsorbentes. Es decir, pueden formar retículos poliméricos tridimensionales que poseen grupos hidrófilos capaces de absorber grandes volúmenes de agua o fluidos biológicos, desde diez hasta miles de veces su propio peso, y son capaces de retenerlos bajo presión. Pueden mencionarse como desventaja que los geles que se forman al absorber el agua pueden bloquearse y, por lo tanto, perder la capacidad de absorción y disminuir su velocidad de absorción de agua. Estos problemas pueden minimizarse por medio del aumento del número de grupos carboxílicos por unidad de ácido urónico, a través de reacciones de esterificación de los grupos hidroxilos (Hernández *et al.*, 2005).

En cuanto a la capacidad gelificante de los alginatos, la cual se usa ampliamente, se sabe que la formación del gel se inicia a partir de una solución de sal de alginato y una fuente de calcio externa o interna, desde donde el ion calcio se difunde hasta alcanzar la cadena polimérica. Como consecuencia de esta unión se produce un reordenamiento estructural en el espacio, resultando en un material sólido con las características de un gel. El grado de gelificación depende de la hidratación del

alginato, la concentración del ion calcio y la proporción de ácido guluroníco (Funami *et al.*, 2009).

Los mecanismos de gelificación iónica se llevan a cabo fundamentalmente por dos procesos: la gelificación externa y la gelificación interna. El proceso de gelificación externa ocurre con la difusión del ion calcio hacia la solución de alginato de pH neutro. La formación del gel se inicia en la interfaz y avanza hacia el interior a medida que la superficie se encuentra saturada de iones calcio, de manera que el ion sodio proveniente de la sal de alginato es desplazado por el catión divalente solubilizado en agua. Éste interacciona con los bloques G de diferentes moléculas poliméricas, enlazándolas entre sí. Aunque la fuente de calcio más usada ha sido el CaCl₂, debido a su mayor porcentaje de calcio disponible, existen otras sales empleadas con menor frecuencia tales como el acetato monohidratado de calcio y el lactato de calcio (Helgerud *et al.*, 2010).

El proceso de gelificación interna consiste en la liberación controlada del ión calcio desde una fuente interna de sal de calcio insoluble o parcialmente soluble dispersa en la solución de alginato de sodio. La liberación del ion calcio puede ocurrir si se tiene una sal de calcio insoluble a pH neutro pero soluble a pH ácido, por lo que es necesario adicionar un ácido orgánico que al difundirse hasta la sal permita la acidificación del medio consiguiendo solubilizar los iones calcio. En este caso, las sales de calcio más empleadas son el carbonato de calcio y el fosfato tricálcico, y en casos específicos el fosfato dicálcico y el citrato tricálcico. Para la acidificación del medio se emplean ácidos orgánicos como el acético, adípico y la glucono delta-lactona. Si la sal de calcio es parcialmente soluble, el proceso de gelificación interna consiste en la adición a la mezcla alginato-sal de calcio, de un agente secuestrante como fosfato, sulfato o citrato de sodio (Lupo *et al.*, 2012). Al

adicionar un secuestrante éste se enlaza con el calcio libre retardando así el proceso de gelificación. El sulfato de sodio ha sido comúnmente el más empleado debido a su bajo costo y conveniente solubilidad (Helgerud *et al.*, 2010).

La principal diferencia entre los mecanismos de gelificación externa e interna es la cinética del proceso. Si lo que se pretende es el control de la transición solución-gel, en el proceso de gelificación externa los factores a manipular son la concentración de calcio y la composición del polímero. Mientras que para el proceso de gelificación interna se deben considerar la solubilidad y concentración de la sal de calcio y la concentración del agente secuestrante y del ácido orgánico empleados (Draget *et al.*, 2002).

Las películas de alginato pueden ser de dos tipos con diferentes propiedades: películas solubles en agua utilizando alginato de sodio y películas solubles en aceite utilizando alginato de calcio. Las películas solubles en agua se pueden formar por evaporación de una solución de alginato o por extrusión de una solución de alginato en un no-disolvente que se mezcla con agua, tal como acetona o etanol. Estas películas son impermeables a la grasa y ceras, pero permiten que el vapor de agua pase a través de ellas; son quebradizas cuando están secas, pero pueden ser plastificadas con glicerol, sorbitol o urea. Cuando se necesita una película con alto contenido en sólidos, se debe utilizar un alginato de muy baja viscosidad y cuando se necesita una película con mayor resistencia se requiere el uso de alginatos de viscosidad más alta con un mayor grado de polimerización. Para formar películas más suaves y flexibles se utiliza alginato y trietanolamina (McHugh, 1987). De la misma manera, la formación de películas insolubles en agua se puede lograr mediante el tratamiento de una película soluble en agua con un catión di-o trivalente y ácido. También se pueden elaborar por extrusión de una

solución de un alginato soluble en un baño de una sal de calcio. Estas películas de alginato insolubles no son repelentes al agua y se hinchan con la exposición prolongada al agua (McHugh 1987).

4. Aplicaciones en alimentos

El alginato tiene varios usos en la industria alimentaria gracias a las propiedades antes mencionadas. Los alginatos como agentes estabilizadores se utilizan en la fabricación de helados, ya que reducen la formación de cristales de hielo durante la congelación, dando como resultado un producto suave con velocidad de fusión lenta. Esto es especialmente importante cuando el helado se ablanda entre el supermercado y el congelador doméstico; sin alginato o estabilización análoga, se desarrollan cristales de hielo grandes, que producen una sensación indeseable en la boca.

La capacidad espesante de los alginatos es útil en salsas, jarabes, coberturas para helados, y rellenos de pasteles. Los alginatos son usados como emulgentes en mezclas agua aceite en la elaboración de mayonesa y aderezos para ensaladas, ya que las emulsiones formadas son menos propensas a separarse.

Las mezclas de sales de calcio y alginato de sodio ayudan a la formación del gel; se utilizan en diferentes proporciones de acuerdo a las necesidades de fuerza de gel deseadas. Al utilizar un gel retardador se reduce la interacción alginato-calcio; esto sirve para retrasar la formación de gel durante varios minutos, y es útil cuando es necesario añadir y mezclar otros ingredientes antes de que el gel comience a fijarse. Estos geles retardadores se utilizan para la producción de jaleas o postres instantáneos (FAO, 2001).

Los geles de alginato se utilizan en productos alimenticios reestructurados o reformados. Por ejemplo, reestructurados de

carnes como *nuggets* de pollo, asados, pasteles de carne, reestructurados de filetes de pescado a partir de pescado picado y un gel de alginato de calcio, aros de cebolla elaborados a partir de cebolla seca en polvo, pimientos llenados de aceitunas elaborados a partir de pasta de pimiento o llenados de pastas con sabor, como ajo, hierbas, pimienta, limón y queso (FAO, 2001). El agente aglutinante puede ser un polvo de alginato de sodio, más la adición de carbonato de calcio, ácido láctico o lactato de calcio. Cuando se mezclan alginatos con carne cruda se pueden formar geles de alginato de calcio para promover que las piezas de carne se unan.

Las películas y recubrimientos a base de alginato se han usado para ayudar a conservar diferentes productos mínimamente procesados. Un ejemplo son los productos a base de pescado, los cuales contienen aceites con tendencia rápida a la oxidación, incluso cuando son congelados. Si el pescado se congela con un recubrimiento de alginato de calcio, estará protegido del aire y por lo tanto de la rancidez por oxidación.

Se han desarrollado alginatos modificados químicamente tales como el alginato de propilenglicol empleado en la fabricación de cervezas y aderezos para ensaladas por su alta solubilidad a bajos niveles de pH. En productos de alta acidez, el alginato de sodio no es útil, pero se puede utilizar el alginato de propilenglicol (PGA), ya que es más estable en condiciones ácidas. El PGA se utiliza en la estabilización de proteínas de la leche en condiciones ácidas, como se ha reportado en algunos yogures. En algunas bebidas de fruta que contienen pulpa de fruta añadida que se desea mantener en suspensión, se puede evitar la sedimentación de la pulpa al adicionar alginatos. En la leche sabor chocolate, el cacao puede ser mantenido en suspensión por una mezcla de alginato/fosfato. En la nata batida, pequeñas cantidades de alginato pueden espesar y estabilizar este producto. Los

bebedores de cerveza prefieren algo de espuma en la parte superior de un vaso recién vertido, y una espuma pobre conduce a un juicio subjetivo que califica a la cerveza como de mala calidad. La adición de una concentración muy baja de alginato de propilenglicol proporcionará una espuma estable con mayor duración (FAO, 2001). También se han desarrollado otros derivados de la sal cuaternaria de amonio del ácido algínico y los obtenidos de reacciones con acrilato caracterizados por la obtención de geles fuertes y altamente deformables (Draget, 2000).

En diferencia de la mayoría de los polisacáridos, el alginato forma geles prácticamente independientes de la temperatura, aspecto que lo ha hecho atractivo en la elaboración de cremas, quesos, salsas, y aderezos. Sin embargo, la exposición prolongada a tratamientos térmicos y variaciones extremas de pH, degradan al

polímero (Draget *et al.*, 2002).

Estas ventajas del alginato y las recientes tendencias tecnológicas se han fusionado en la técnica de microencapsulación, resultando en un producto final que permite proteger a los compuestos encapsulados de factores adversos como el calor y la humedad, mejorando así su estabilidad y biodisponibilidad. Se han descrito diferentes aplicaciones de la microencapsulación empleando como principio activo: vitaminas, minerales, ácidos grasos, microorganismos probióticos, proteínas, aminoácidos, polifenoles, fibras y enzimas (Nieves *et al.*, 2010). La microencapsulación ha permitido inmovilizar bacterias probióticas en una matriz de alginato con la finalidad de proteger y mejorar la biodisponibilidad de los microorganismos, tanto en los productos alimentarios como en el tracto intestinal (Krasaecoop *et al.*, 2004). En la Tabla I se muestran algunos ejemplos de bacterias probióticas encapsuladas en alginato.

Tabla I. Aplicaciones de alginato para microencapsulación de probióticos agregados a alimentos.

Bacterias	Matriz	Aplicación en alimentos
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Alginato	Leche, queso feta
<i>Bifidobacterium lactis</i>		
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Alginato	Queso kasar y blanco
<i>Bifidobacterium bifidum</i>		
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Alginato	Yogur
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Alginato/pectina/quitosano	Leche fermentada
<i>Bifidobacterium lactis</i>		
<i>Lactobacillus casei</i>	Alginato	Helados
<i>Bifidobacterium lactis</i>		
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Alginato	Postres congelados
<i>Bifidobacterium</i>		
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Alginato/ almidón	Yogur
<i>Lactobacillus acidophilus</i>		

Adaptada de Lupo *et al.*, 2012.

Otras investigaciones reportan la encapsulación de bacterias ácido lácticas (probióticos y cultivos iniciadores) en perlas de alginato, lo que facilita la propagación de cepas que son sensibles al oxígeno (Champagne, 2006), y de extractos naturales con alto contenido en polifenoles provenientes de plantas medicinales, hierbas, flores y semillas (Nieves *et al.*, 2010). Por ejemplo, un aceite esencial muy utilizado en la industria de bebidas refrescantes es el limoneno, el cual es muy sensible a altas temperaturas y al ser encapsulado en un sistema alginato-alcohol polivinílico mantiene tanto su sabor como su olor intactos (Nieves *et al.*, 2010). La versatilidad del encapsulado incluso ha llegado a ser aplicada en la alta cocina con el término “esferificación”, técnica culinaria cuyo propósito es modificar las propiedades texturales de los alimentos, para así desarrollar nuevas sensaciones en el comensal (Corell *et al.*, 2007).

Conclusiones y comentarios finales

El alginato, al ser un material polimérico biocompatible, no tóxico y degradable, resulta adecuado para muchas aplicaciones en la industria de alimentos.

Diversas investigaciones demuestran que al ser un material natural disponible con múltiples ventajas y de fácil obtención, su aplicación para elaborar diferentes productos alimenticios es amplia y variada. La ventaja principal es que puede mantener sus propiedades funcionales durante el procesamiento y almacenamiento sin alterar el producto. Por esto, se encuentra como ingrediente en una amplia variedad de productos y sigue siendo evaluado en el desarrollo de nuevos alimentos.

Agradecimientos

La autora G.C. Avendaño-Romero agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), por el apoyo en el financiamiento de sus estudios de posgrado.

Referencias

- Arvizu, H. D. L., Hernández C., Rodríguez-Montesinos E. 2002. Parámetros que afectan la conversión del ácido algínico en alginato de sodio. *Ciencias Marinas*. 28(1): 27–36
- Corell, P., García-Segovia, P., Sapiña, F., Farré, I., Castells, P. y Martínez-Monzó, J. 2007. Efecto del ión calcio sobre las propiedades texturales de esferas de alginato aplicadas a cocina. *Alimentaria*. 388:79-83.
- Champagne, C. P. 2006. Starter cultures biotechnology: the production of concentrated lactic cultures in alginate beads and their applications in the nutraceutical and food industries. *Chemistry Industry Chemical Engineerig*. 12:11–17.
- Draget, K.I., Smidsrød, O. y Skjøk-Bræk, G. 2002 Alginates from algae. En: Steinbüchel, A., De Daets, S., Vandame, E.J. y Springer, J. *Appl Phycol* 2007. 19:43–53 (eds) *Biopolymers*. vol 6: Polysaccharides II. Wiley-VCH, Weinheim, Alemania, pp 215–240
- Draget, K., I. 2000. Alginates. In *Handbook of Hydrocolloids*. Cambridge, Inglaterra: Woodhead Publishing Limited - Boca Raton, FL, EE.UU. CRC Press LLC. pp. 379-395.
- FAO, 2001. Food and Agriculture Organization. Mercado de consumo de alginatos. www.fao.org/docrep/field/003/AB483S/AB483S04.htm. Adquirida el 01/02/2012
- FAO/WHO. 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations-World Health Organization. Health and nutritional properties of alginate in food. <http://www.fao.org/docrep/006/y4765e/y4765e08.htm>. Adquirida el 21/02/2013.

- Funami, T., Fang, Y., Noda, S., Ishihara, S., Nakauma, M., Draget K., Nishinari, K. y Phillips, G. 2009. Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca^{2+} binding. *Food Hydrocolloids*. 23(7):1746-1756.
- Hernández E. M., López G. Y. R. y García P. A. 2005. Evaluación de derivados carboximetilados del alginato de sodio como superabsorbente. *Revista Cubana de Química*. Vol. XVII. 3: 239-240.
- Helgerud, T., Olav, G., Therese, F., Peder, O. A. y Larsen, C. K. 2010. Alginates. En: *Food stabilizers. Thickeners and gelling agents*. Reino unido: Wiley Blackwell, p. 50-72
- Imeson, A. 2010. Alginates. *Food stabilizers, thickeners and gelling agents*. Reino Unido: Wiley Blackwell. 356 ps. 1th ed.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B. y Deeth, H. 2004. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *International Dairy Journal*. 14(8):737-743.
- Lupo P. B., González A.C. y Maestro G. A. 2012. Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3 (1): 130-151.
- Mancini, M., Moresi, M. y Rancini, R. 1999. Mechanical properties of alginate gels: empirical characterisation. *Journal of Food Engineering*. 39(4):369-378.
- McDowell, R. H. 1977. Properties of alginates. London, *Alginate Industries Ltd.*, 67 p.
- McHugh D. J. 1987. "Production, Properties and Uses of Alginates". Department of Chemistry, University College. University of New South Wales. *Australian Defence Force Academy*. Campbell, ACT 2600, Australia.
- McNeely, W.H. y Pettitt, D.J. 1973. Algin. En *Industrial gums*, edited by R.L. Whistler. Nueva York, Academic Press, pp.49-31. 2nd ed.
- Medina, L. H. y Ledo P. R. M. 2010. Alginatos. Propiedades y Uso en la Reducción de Reflujo Gastroesofágico. *Informe Médico*. 12 (10): 519-523
- Nieves, N., Rodríguez K., Cid M., Lezcano, Y., Rodríguez, R. y Daquinta M., 2010. Encapsulación de ápices de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) en perlas de alginato. Influencia del AIBY el MH-5. *Centro Agrícola*, 37(4): 15-19.
- Parra-Huertas, R. A., 2010. Revisión: microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 63(2):5669-5684.
- Reddy-K, R. y Reddy-P., S. 2010. Effect of different copolymers on sodium alginate microcapsules containing isoniazid. *International Journal of PharmTech Research*. 2(4):2198-2203.
- Srinivasa, P. C. y Tharanathan, R. N. 2007. Chitin/Chitosan-Safe, ecofriendly packaging materials with multiple potential uses. *Food Reviews International*. 23: 53-72.
- Yabur., Bashan Y. y Hernández-Carmona G. 2007. Alginate from the macroalgae *Sargassum Sinicola* as a Novel Source for Microbial Immobilization Material in Wastewater Treatment and Plant Growth Promotion. *Fournal of Applied Phycology*, 19(1):43-53.