

4. Estabilizantes

El proceso de elaboración de yogur, como se anotó, es un arte muy antiguo, que data de hace miles de años, pero solo en el siglo XIX se conocieron los fundamentos de las distintas etapas de producción, en las que se presentaban algunos inconvenientes debido a la tecnología empleada. Un ejemplo de ello son las bajas temperaturas a las que se incubaba la leche para que la fermentación tuviera lugar, es decir, se realizaba a temperatura ambiente, lo que determinaba una lenta acidificación y, por ende, el proceso se prolongaba por más de dieciocho horas, dando a lugar a efectos secundarios no deseables, por ejemplo, una exudación de suero denominada sinéresis, que influye negativamente sobre las propiedades físicas del yogur, como la viscosidad, lo que afecta, al mismo tiempo, su calidad (Tamine y Robinson, 1991).

Sin embargo, existen otros factores que pueden ocasionar la sinéresis en el yogur; entre los más importantes están el rompimiento del gel/coágulo –para el caso del yogur entero tipo batido–, las formas de almacenamiento y el transporte; para evitarlos, en la elaboración de yogur entero tipo batido es necesario utilizar estabilizantes con los cuales se logre mantener o mejorar sus características físicas y químicas. Para ello se han realizado numerosas investigaciones, entre las que se encuentra la efectuada por Tamine y Robinson (1991), quienes mostraron que la calidad del yogur puede verse seriamente afectada por diversos factores, en particular por el estabilizante empleado en su elaboración. Existe una gran variedad de compuestos estabilizantes que pueden ser adicionados a la leche con el fin de lograr las características adecuadas del yogur; entre ellos se encuentran las gomas naturales (como la arábica, tragacanto, guar), algunas gomas modificadas (como la carboximetilcelulosa, metilcelulosa, celulosa microcristalina), algunos extractos (pectinas), así como almidones modificados y nativos como el sagú. Otros productos que cumplen funciones de emulsificantes, gelificantes y estabilizantes (previenen la sinéresis y mejoran la viscosidad del yogur) son los exopolisacáridos (Hong Marshall, 2001; Prabhakar *et al.* 2009; Broadbent *et al.* 2003; Ozkaya *et al.* 2007; Amatayakulet *et al.*, 2006). A continuación se mencionan los principales estabilizantes o sustancias que cumplen esta función:

4.1 Gomas en la industria de alimentos

Las gomas pueden ser definidas en términos prácticos como moléculas de alto peso molecular con características hidrofílicas o hidrofóbicas que, usualmente, tienen propiedades coloidales, con capacidad de producir gel al combinarse con el solvente

apropiado. De este modo, el término goma se aplica a una gran variedad de sustancias con características gomosas. Sin embargo, es más común la utilización del término goma para referirse a polisacáridos o sus derivados, obtenidos de algunas plantas o mediante procesamiento microbiológico, que al dispersarse en el agua fría o caliente producen soluciones o mezclas viscosas. En muchos libros de texto o artículos sobre gomas, estabilizantes, hidrocoloides y especies de similar función o estructura, el término goma está basado en las características físicas y en el origen de los materiales en cuestión (Pasquel, 2001).

Inicialmente, las gomas pueden ser descritas como exudados vegetales solubles en agua con presencia de polisacáridos microbianos; igualmente, encontramos gomas vegetales químicamente modificadas. Esta definición excluye proteínas y polímeros sintéticos que pueden ser utilizados como gomas en aplicaciones prácticas. Consecuentemente, las gomas pueden ser entendidas como polisacáridos de cadena larga que pueden ser o no ramificadas (Pasquel, 2001).

Una goma puede ser definida, en sentido amplio, como cualquier polisacárido soluble en agua que puede ser extraído a partir de vegetales terrestres o marinos, o de microorganismos que poseen la capacidad, en solución, de incrementar la viscosidad o de formar geles. Gomas vegetales de uso generalizado son las galactomananas de las semillas de guar y locuste (*Ceratonia siliqua*), los exudados como la goma arábiga y el tragacanto, y los de las algas como las carragenanas y los alginatos; todos ellos son muy utilizados en el procesamiento de numerosos alimentos. Las gomas tienen al menos tres funciones en el procesamiento de los alimentos: emulsificantes, estabilizantes y espesantes; además, algunas también son agentes gelificantes, formadoras de cuerpo, agentes de suspensión y aumentan la capacidad de dispersión de gases en sólidos o líquidos. La industria de procesamiento de alimentos, así como otras aplicaciones industriales de las gomas, aprovecha ampliamente sus propiedades físicas, especialmente su viscosidad y su estructura coloidal (Pasquel, 2001).

En las mismas concentraciones, las gomas con moléculas relativamente lineales, como la goma tragacanto, forman soluciones más viscosas que las de forma esférica como la goma arábiga, por ejemplo; generalmente son utilizadas en concentraciones que fluctúan entre 0,25 y 0,50% y que muestran su gran habilidad para producir viscosidad y formar geles. Puesto que las gomas tienen funciones estabilizantes en muchos alimentos es importante hacer notar que, en el sentido más amplio del término, un estabilizante alimenticio es cualquier material que al ser adicionado a un alimento aumenta su tiempo de almacenamiento. Aunque existe una acepción menos amplia que define un estabilizante como un material que reduce la tasa en la cual suceden algunos cambios dentro de un producto alimenticio durante su almacenamiento, transporte y manipulación; los estabilizantes retardan o evitan cualquiera de los siguientes procesos (Pasquel, 2001):

- Cristalización, usualmente del agua o del azúcar
- Sedimentación gravitacional de partículas en suspensión
- Encuentro entre partículas, gotitas o burbujas en un medio fluido
- Floculación, coagulación o coalescencia de fracciones dispersas
- Desagregación de agregados
- Descremado
- Pérdida de pequeñas moléculas o iones debido a cambios en el potencial químico del ión o molécula disuelta, o debido a la formación de una película impermeable.
- Sinéresis en geles. Aunque la sinéresis usualmente sucede como resultado de la presencia de gomas, en algunos casos donde una goma es adicionada para formar un gel (esto es una función no estabilizante), una u otra goma pueden ser adicionadas para prevenir la sinéresis, convirtiéndose, por tanto, en un estabilizante.

Algunas gomas importantes en la industria de alimentos

Las gomas alimenticias son obtenidas a partir de una variedad de fuentes: exudados y semillas de plantas terrestres, algas, productos de la biosíntesis de microorganismos y de la modificación química de polisacáridos naturales. A continuación se detallan:

Gomas extraídas de plantas marinas. Los alginatos, la goma agar y la goma carragenana son extractos de algas rojas y marrones que, en conjunto, son conocidas como algas marinas.

∅ **Alginatos.** Son descritos como compuestos que incluyen una variedad de productos constituidos por los ácidos D-manurónico y L-gulurónico; son extraídos de algas marrones conocidas como *Phaeophyceae*; las más importantes para la producción comercial de los alginatos son: *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria hyperborea*, *Laminaria digitata* y *Ascophyllum nodosum*, variedades que se encuentran en todo el mundo. No todos los alginatos gelifican, pero son bien conocidos por su capacidad para producir geles irreversibles en agua fría y en presencia de iones calcio. Esta propiedad de gelificar en el agua fría diferencia los alginatos de las gomas derivadas de las algas rojas. Muchos son usados como espesantes, estabilizantes de emulsiones, gelificantes, inhibidores de sinéresis y mejoradores de sabor (Dziezak, 1991).

∅ **Goma agar.** Se obtiene a partir de algas rojas de la clase *Rhodophyceae*, de las cuales las más importantes son la *Gelidium cartilagineum*, *Gracilaria confervoides*

y *Pteroclaia capillacea*; es considerada uno de los agentes gelificantes más importantes; está constituida de galactosa y anhidrogalactosa parcialmente esterificada con ácido sulfúrico, y produce una gelificación perceptible en concentraciones bajas, como un 0,04%. No es soluble en agua fría, pero se disuelve completamente en agua caliente. La gelificación se inicia en el rango de 35 a 40 °C; el resultado es un gel fuerte, claro y termorreversible que solo se transforma en líquido si la temperatura llega a 85 °C. Sus propiedades gelificantes, la resistencia térmica de sus geles y la marcada diferencia entre sus temperaturas de gelificación y de fusión son las razones fundamentales a la hora de escogerla, aunque su uso en la industria americana de alimentos, por ejemplo, no es muy importante en términos cuantitativos. Su uso en niveles del orden de 0,12% mejora la suavidad de los helados, y en la fabricación del queso mejora la textura y calidad de los cortes (Dziezak, 1991).

Ø **Goma carragenana.** Es un polímero sulfatado constituido por unidades de galactosa y anhidrogalactosa extraída de algas rojas, entre las cuales se destaca la *Chondrus crispus*, también conocida como «musgo irlandés» (citado por Dziezak, 1991); fue utilizado hace casi 600 años en la elaboración de alimentos, remedios y fertilizantes, en el municipio de Carragheen (costa sur de Irlanda), lo que dio origen al nombre de esta goma. Otras importantes fuentes de carragenana son la *Eucheuma* spp. y *Gigartina* spp., que se encuentran en África Oriental, Filipinas y Japón. Existen tres grupos principales de goma carragenana, que se diferencian por su contenido y distribución de los grupos de ésteres sulfatados: iota, kappa y lambda. La carragenana es usada como gelificante, espesante, estabilizante y emulsionante; por su capacidad de reacción con ciertas proteínas es usada en pequeñas concentraciones (del orden de 0,01 a 0,03%) en la industria de los lácteos.

Gomas extraídas de semillas de plantas terrestres. Un segundo grupo importante de gomas son las galactomananas, obtenidas de las semillas de ciertas plantas: goma locuste y goma guar.

Ø **Goma locuste.** Es un polisacárido neutro constituido de manosa y galactosa en la proporción de 4:1. Esta goma es extraída de las semillas de la *Ceratonia siliqua*, árbol nativo de los países de la cuenca del Mediterráneo. Es insoluble en agua fría y soluble en agua caliente, y su viscosidad máxima se alcanza cuando es calentada a 95 °C y después enfriada. Gelifica solo cuando se mezcla con la goma xantana, y sus principales usos son como espesante, estabilizante de emulsiones e inhibidor de la sinéresis en diversos productos: alimentos enlatados, salsas, sobremesas, gaseosas, quesos, helados y carnes procesadas. En el caso del queso, la goma locuste acelera la coagulación.

Ø **Goma guar.** Es obtenida del endospermo de la semilla de la planta guar *cyamopsis tetragonolobus*, oriunda de la India y Pakistán. Se disuelve completamente en agua

fría produciendo alta viscosidad; sin embargo, no gelifica y su principal uso es como formadora de cuerpo, estabilizante y ligadora de agua (Dziezak, 1991).

Gomas obtenidas como exudados de plantas terrestres. Un tercer grupo importante de gomas usadas en la industria de los alimentos es el grupo de las gomas exudadas por árboles: goma arábica, goma ghatti, goma karaya y goma tragacanto.

Ø **Goma arábica.** Es una goma natural conocida también como goma de acacia, ya que se extrae de dos especies de acacias; es considerada la más vieja y la más conocida de las gomas; es la savia exudada de varias especies de árboles de acacia para prevenir el resecamiento de sus tejidos cuando son heridos. Químicamente, esta goma es una sal neutra o levemente ácida de un polisacárido complejo que contiene iones de calcio, magnesio y potasio en su molécula; está formada por seis carbohidratos: galactosa, ramnosa, arabinopiranososa, arabinofuranosa, ácido glucourónico y ácido 4-o-metilglucourónico; esta goma es un material heterogéneo que generalmente consta de dos fracciones: una, que representa cerca del 70% de la goma y está compuesta por cadenas de polisacáridos con poco o ningún material nitrogenado, y una segunda fracción que contiene moléculas de elevado peso molecular y proteínas como parte de su estructura integral.

La goma arábica se disuelve rápidamente en agua fría o en agua caliente, y es la menos viscosa y más soluble de los hidrocoloides; es posible comparar sus soluciones con una concentración del orden de los 55% con otros hidrocoloides comunes de alta viscosidad y una concentración del orden del 5% (Dziezak, 1991). Dziezak (1991) observa que más de la mitad de la goma arábica producida en el mundo es utilizada en la preparación de dulces y confites, con la finalidad de retardar la cristalización del azúcar y promover la emulsificación. La industria alimentaria utiliza la goma arábica como fijador y encapsulante para evitar la oxidación y volatilización de los componentes del *flavor*, mientras que en la elaboración de la cerveza promueve la estabilización de la espuma. Debido a su componente proteico, esta goma es usada como emulsionante y estabilizante en bebidas no alcohólicas, porción del mercado que consume el 30% del total de la goma arábica en el mundo.

Ø **Goma ghatti.** Denominada también goma hindú, es un exudado amorfo y translúcido del árbol del *Anogeissus latifolia* de la familia *Combretaceae*, oriunda de la India; es un polisacárido complejo, soluble en agua, formado por arabinosa, galactosa, mannososa, xilosa y ácido glucourónico. Está constituida de una fracción soluble y de una insoluble, pero gelificable. La goma en su conjunto, aun cuando no gelifique, se dispersa en agua fría o caliente formando un sol coloidal, debido a la fracción soluble, y su viscosidad máxima se manifiesta en un pH entre 5 y 7; de todas las gomas comerciales, la goma ghatti es la que tiene la viscosidad y propiedades emulsionantes más próximas a la goma arábica. Las principales

razones para escogerla son su habilidad para emulsionar, estabilizar, producir viscosidad y ligar agua (Dziezak, 1991).

Ø **Goma karaya.** Es un exudado seco del árbol *Sterculia*, se produce en el norte y centro de la India; es un polisacárido complejo parcialmente acetilado, constituido de una cadena principal de unidades de ácido D-galactourónico, L-ramnosa y D-galactosa, de cadenas laterales de ácido D-glucourónico. Lo que caracteriza esta goma es su baja solubilidad en el agua y su fuerte adherencia cuando es usada en elevadas concentraciones. Es una de las menos solubles entre las gomas exudadas; no disuelve, pero absorbe agua y produce un sol coloidal viscoso. Las dispersiones de la goma karaya tienen una viscosidad mayor cuando son preparadas con agua fría, aun cuando la ebullición aumenta la solubilidad de la goma y reduce su viscosidad de forma permanente. Similarmente, la viscosidad es reducida por la adición de algunos electrolitos fuertes o de pH extremos. Valores alcalinos del pH transforman el sol karaya en una pasta pegajosa. Debido a su propiedad de ligar agua, la goma karaya es usada en concentraciones bajas, típicamente del orden de 0.2 a 0.4%, en la preparación de helados, con la finalidad de prevenir la formación de grandes cristales de hielo y la pérdida de agua libre (Dziezak, 1991).

Ø **Goma tragacanto.** Es un exudado producido por algunas especies de un arbusto del género *Astragalus*, una leguminosa perenne oriunda del Asia menor y de las regiones montañosas y semidesérticas de Irán, Siria y Turquía; está formada de una mezcla de polisacáridos: el ácido tragacántico, insoluble en agua y responsable de la propiedad absorbente de agua de la goma, y la arabinogalactana, que es un polímero soluble en agua y responde por la solubilidad de la goma. La goma tragacanto produce la más alta viscosidad de todos los hidrocoloides extraídos de plantas, y produce soles coloidales viscosos con textura similar a geles blandos. Es soluble en agua fría, estable al calor y al ácido (debajo de pH 2) y muy emulsionante (Dziezak, 1991).

Gomas obtenidas a partir de procesos microbiológicos. Son importantes las gomas producidas por algunas especies de *Xantomonas* y *Pseudomonas*, ya que presentan propiedades poco comunes en lo que respecta a textura.

Ø **Goma xantana.** Es producida por la fermentación de carbohidratos con la bacteria *Xantomonas campestris*; está constituida por una estructura básica celulósica con ramificaciones de trisacáridos, y aun cuando no sea un agente gelificante, en combinación con la goma locuste puede formar geles elásticos y termoreversibles. Es completamente soluble en agua fría o caliente y produce elevadas viscosidades en bajas concentraciones, además de poseer una excelente estabilidad frente al calor y al pH, pues la viscosidad de sus soluciones no cambia entre 0 y 100° C ni entre 1 y 13 de pH; es utilizada en muchos productos como espesante, estabilizante y agente para mantener suspensiones (Pasquel, 2001).

Ø **Goma gelana.** Se trata de un agente gelificante relativamente nuevo; es un polisacárido extracelular producido por la fermentación de carbohidratos utilizando *sphingomonas elodea*; es un hidrocoloide multifuncional con potencial para ser usado en una gran variedad de alimentos como gelificante, texturizante, estabilizante, formador de películas y agente estructurante y de suspensión; posee una estructura principal lineal formada por cuatro unidades de hidratos de carbono: glucosa, ácido glucurónico y ramnosa; forma geles muy fuertes en concentraciones tan bajas como 0,05% (Dziezak, 1991).

Gomas obtenidas por modificación química de productos vegetales. Se destacan en este grupo las modificaciones químicas de la celulosa y de la pectina, conducentes a la obtención de hidrocoloides con propiedades gelificantes.

Ø **Gomas celulósicas.** Son las más usadas de este grupo; forman una familia de productos obtenidos por modificación química de la celulosa; como ejemplos más importantes se pueden mencionar compuestos como carboximetilcelulosa, metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa. La carboximetilcelulosa sódica, comúnmente conocida como goma celulósica o CMC, es utilizada generalmente como espesante, estabilizante, gelificante y modificadora de las características de flujo de soluciones acuosas o suspensiones. La metilcelulosa (MC) y la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) son las únicas gomas que gelifican con el calor, y después, al enfriarse, retornan a su viscosidad original líquida, lo que las hace muy importantes para ser utilizadas con alimentos fritos (Dziezak, 1991).

La tabla 1 presenta las características principales de las gomas más utilizadas en la industria de alimentos.

Tabla 1. Características de diversas gomas, Pasquel (2001)

Nombre	Principales constituyentes	Fuente	Usos	Propiedades características
Goma guar	Cadena principal de unidades de D-manopiranosas y D-galactopiranosas, en proporción 2:1, unidos por enlaces glicosídicos	Semillas de <i>Cyamopsis tetragonolobus</i>	Espesante y estabilizante para helados, salsas y lácteos	Se dispersa en agua fría o caliente para formar un sol. No gelifica. Posee alta viscosidad en bajas concentraciones.
Goma locuste	Cadena principal de unidades D-manopiranosas ligada a residuos de D-galactopiranosas	Obtenido de la <i>Ceratonia siliqua</i>	Estabilizante de emulsiones, espesante de helados y lácteos Encapsulante	Se dispersa en agua fría o agua caliente formando un sol. Sinergismo con carragenanas. No gelifica.
Goma arábica	D-galactopiranosas, L-ramnosas, L-arabinofuranosas y ácido D-glucourónico	Exudado de <i>acacia Senegal</i>	Estabilizante de emulsiones y encapsulante	Bastante soluble en agua. Debido a su bajo peso molecular y estructura ramificada, forma soluciones poco viscosas.
Goma tragacanto: tragantina, basorin	Fración soluble en agua: residuos de ácido D-galactourónico y D-xilopiranosas	Exudado de <i>astragalus gummifer</i>	Estabilizante de emulsiones y espesante	En agua forma soluciones altamente viscosas aun a bajas concentraciones. Resiste la acción de ácidos y es una de las pocas gomas exudadas de color casi blanco.
Agar	Agarosa: D-galactopiranosas 3,6-anhidro-L-galactopiranosas. Agarpectina: D-galactopiranosas, 3,6-anhidro-L-galactopiranosas, ácido D-glucourónico, ácido pirúvico, sulfato	Algas marinas del género <i>Gelidium</i>	Gelificante para dulces, masas y carnes	Insoluble en agua fría, soluble en agua en ebullición. Forma geles bastante firmes a temperatura ambiente. Sus geles son termorreversibles.
Carragenina	D-galactopiranosas y 3,6-anhidro-D-galactosa, esterificados con H ₂ SO ₄	Algas rojas de la familia <i>Rhodophyceae</i> : <i>Chondrus crispus</i> y <i>Gigartina mamillosa</i>	Gelificante para helados. Espesante y estabilizante en salsas y sopas	Soluble en agua a cerca de 80 °C. Gelifica en presencia de potasio, formando geles termorreversibles.
Alginato	Cadenas de ácido-manourónico y ácido L-gulurónico	Algas marrón como <i>Laminaria digitata</i> y <i>Macrocystitis pyrifera</i>	Gelificante en lácteos, estabilizante y espesante	Insoluble en agua fría. Soluble en soluciones alcalinas. Forma geles con Ca ⁺² y Al ⁺³ .
Goma karaya	Cadenas de ácido D-manourónico y ácido L-gulurónico	Exudado de planta <i>Sterculia urens</i>	Espesante de lácteos. Estabilizante de emulsiones	Poco soluble en agua. Absorbe grandes cantidades de agua. Está sustituyendo a la goma tragacanto.
Goma xantana	D-glucopiranosas, D-manopiranosas y ácido D-glucorónico en proporción de 2,8:3,0:2,0. Además contiene grupos acetilicos y residuo de ácido pirúvico	Producto de la fermentación de un sustrato conteniendo D-glucosa con <i>xanthomonas campestris</i>	Estabilizante y espesante. Muy utilizada en salsas para ensaladas	Soluble en agua fría o agua caliente. Solución viscosa poco afectada por pH y por la temperatura. No gelifica. Comportamiento pseudoplástico.

4.2 Pectinas

Las pectinas son un grupo de sustancias que se encuentran en los tejidos vegetales jóvenes, especialmente en frutos, y tienen gran importancia en tecnología de alimentos; se encuentran en cantidades tan abundantes que a menudo forman canales anchos, apartando las células (Ramírez, 2006). Las pectinas forman coloides hidrofílicos, por esto tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de agua; esta capacidad permite que las sustancias pécticas jueguen, aparentemente, un papel en las primeras etapas del desarrollo de los tejidos; las sustancias pécticas absorben agua rápidamente y la transfieren a las células con mayor facilidad de la que podría lograrse por ósmosis en las células mismas. Como constituyente natural de los tejidos vegetales, las sustancias pécticas son responsables en buena medida de la firmeza y textura de los frutos y de las hortalizas, el ablandamiento del tejido del fruto durante la madurez, la rotura de la estabilidad coloidal en los jugos de fruta, y los cambios de consistencia en los purés y los concentrados de fruta; estos cambios pueden atribuirse a menudo a modificaciones en las sustancias pécticas. Como aditivos intencionales, las pectinas son valiosos agentes espesantes y de formación de geles (Ramírez, 2006).

La pectina es, entonces, un coloide hidrofílico reversible; la pectina cruda comercial contiene gran cantidad de impurezas, tales como hemicelulosa, pentosanos, galactosanos y otros compuestos, pero puede purificarse mediante sucesivas precipitaciones (Ramírez, 2006). Químicamente, está formada por cadenas largas y no ramificadas de ácido poligalactúronico, con los grupos carboxilo parcialmente esterificados con alcohol metílico, las uniones entre las unidades de ácido galacturónico son (α -D-(1,4).

Las pectinas se pueden dividir en:

- Sustancias pécticas
Dentro de esta clase se encuentran polisacáridos conformados por unidades de ácidos anhidro galacturónico, con algunos de los grupos carboxilo esterificados por grupos metilo y parcialmente neutralizados por bases.
- Protopectinas
Son polisacáridos insolubles en agua, y por hidrólisis ácida controlada producen pectina o ácidos pectínicos.
- Ácidos pectínicos
Carbohidratos insolubles en agua formados por ácidos galacturónicos, donde la mayoría de los grupos carboxilo no están esterificados.

Según la cantidad de grupos esterificados podemos tener pectinas de alto metoxilo, con alrededor del 80% de los grupos carboxilo de la molécula esterificados, y pectinas de bajo metoxilo, con menos del 40% de grupos. Del grupo de sustancias pécticas, las más utilizadas en la industria de alimentos son las pectinas; generalmente se

extraen de los residuos obtenidos de la preparación de jugos cítricos, en especial de sus cáscaras (Ramírez, 2006). La pectina es un polisacárido aniónico muy utilizado como gel y como estabilizante de productos lácteos (Arloft, 2008); funciona como agente gelificante y espesante en una gran variedad de productos. La selección de una pectina depende de los requerimientos de una aplicación en particular. Las composiciones y propiedades de las pectinas varían con la materia prima, los procesos usados durante la extracción y los subsecuentes tratamientos realizados (Dziezak, 1991).

Bebidas como el yogur, leche de soya, lactosuero, kéfir y otras pueden ser descritas como un sistema líquido proteico acidificado con estabilidad y viscosidad similar a la leche natural; tales bebidas son usualmente compuestas de una fase láctea ácida, que puede ser saborizada (Arloft, 2008).

4.3 Almidón de sagú

El sagú (achira, arawac, imocoma, chisgua, maraca o capacho) es una planta originaria de los Andes, y forma parte de las 25 raíces y tubérculos andinos de consumo regional y mundial; es una herencia de nuestros aborígenes, y ha servido de alimento a muchas familias durante siglos; actualmente es una especie olvidada, pero de importancia estratégica en la economía campesina, por sus ventajas comparativas de biodiversidad, criterios de sostenibilidad y cultivo en áreas agrícolas marginales, asociado a la producción lechera. El sagú (*Canna edulis*), perteneciente a la familia botánica de las *Cannáceas*, es una planta herbácea perenne que alcanza hasta 3 metros de altura, con hojas anchas, verdes, de pecíolos cortos, elípticas, que llegan a medir 20 cm de largo y 15 cm de ancho; la inflorescencia tiene forma de racimo; los frutos son capsulares con gran cantidad de semillas negras; los cormos o rizomas son esféricos o atropados y pueden alcanzar 20 cm de largo y entre 3 y 15 cm de ancho; la superficie está cruzada por surcos transversales, de la parte inferior salen raicillas y del ápice brotan hojas y tallos (Moreno, 2006).

El sagú se utiliza en la alimentación humana y animal, principalmente para la producción de almidón industrial y preparación de fideos. Las raíces se pueden consumir asadas o cocidas (Moreno, 2006). El almidón de sagú tiene una viscosidad muy alta a temperaturas como las usadas en la elaboración de pastas, lo cual permite manipular con mayor facilidad los geles calientes en comparación con otros almidones. Es una fuente de nutrientes, como fibra, 0,1%; almidón, 65%, y cenizas, 0,5% (según el *Codex Alimentarius*), indispensables para niños, ancianos y personas que sufren problemas digestivos. La panificación demanda el 80% de la producción de almidón de sagú; los usos domésticos, el 15%; las industrias, el 1%, y el resto, en otras aplicaciones.

4.4 Exopolisacáridos

El término exopolisacárido (EPS) es generalmente utilizado para describir todas las formas de polisacáridos bacterianos encontrados fuera de la pared celular (Vuyst *et al.*, 2003; Zisu y Shah., 2003; Briczinski y Roberts, 2002; Hill *et al.*, 2002; Parra, 2009).

Son polisacáridos extracelulares de cadenas alargadas, y polímeros de masa molecular alta (contienen cadenas ramificadas) (Zisu y Shah, 2003; Martensson *et al.*, 2003; Early, 2000) envueltos en células de adhesión y protección; a menudo están covalentemente unidas a la superficie celular en forma de cápsulas, o secretadas dentro del entorno celular en la forma de mucílago (Mata *et al.*, 2006; Petersen *et al.*, 2000); consisten en unidades repetitivas de azúcares o sus derivados como glucosa, galactosa, ramnosa, manosa, N-acetilglucosamina, N-acetilgalactosamina (Péant *et al.*, 2005; Welman y Maddox, 2003), fructosa, ribosa, ácido glucónico, aminoacetilados y otros residuos como compuestos carbonados, fosfatos, lactosa, acetato, glicerol y N-acetilaminoazúcares (Girard y Schaffer, 2008).

Los EPS se presentan en dos formas, según su localización: como cápsulas (polisacáridos capsulares), donde el polímero está asociado con la superficie celular, y como polisacáridos que son vagamente asociados con la superficie celular (Yuksekdag y Aslim, 2008; Amatayakul *et al.*, 2006; Welman y Maddox, 2003; Wilches, 2004). Estos polímeros pueden ser liberados dentro de un medio de crecimiento (Broadbent *et al.*, 2003; Robitaille *et al.*, 2006); pueden ser «mucoides» o «viscosos», dependiendo de si se encuentran sujetos a las células bacterianas como cápsulas o si están sueltos como material alrededor del medio (Doleyres *et al.*, 2005).

Un número de bacterias lácteas, cultivos estériles y bacterias gram-positivas o gram-negativas son capaces de sintetizar EPS (Amatayakul *et al.*, 2006; Savadogo *et al.*, 2006; Briczinski y Roberts, 2002; Broadbent *et al.*, 2003; Zambou *et al.*, 2004; Marschall *et al.*, 2001; Pescumma *et al.*, 2008). Las propiedades fisicoquímicas y los efectos potenciales en la salud de estas bacterias benéficas han sido muy estudiadas (Ai *et al.*, 2008; Prabhakar *et al.*, 2009).

Ejemplos de algunas bacterias que producen polisacáridos extracelulares son *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactococcus Lactis* y *Streptococcus thermophilus*; pueden actuar como estabilizadores de alimentos, previniendo la sinéresis y mejorando la viscosidad (Hong y Marshall, 2001; Prabhakar *et al.*, 2009; Broadbent *et al.*, 2003). Los EPS producidos por *Lactobacillus* son típicamente heteropolisacáridos neutros (no cargados) que pueden prestar importantes propiedades funcionales a sistemas alimenticios (Briczinski y Roberts, 2002; Abbasi *et al.*, 2007). Un ejemplo es *Lactobacillus lactis* subsp. *cremoris*, que puede producir EPS como ramnosa, glucosa, galactosa y fosfatos, mientras otras producen solamente glucosa y galactosa (Hernández *et al.*, 2008). Homopolisacáridos, incluyendo dextranos y glucanos, son producidos por *Leuconostoc mesenteroides* y *Streptococcus mutans*, respectivamente (Broadbent *et al.*, 2003).

Las características funcionales de los EPS están determinadas por su estructura; estos pueden ser de masa molecular diferente, y tener diversos tipos de enlace de los monosacáridos y diferente nivel de composición química (Simitaru y Segal., 2007; Hui, 1993).

Aplicaciones de exopolisacáridos. Los EPS en la industria alimenticia son utilizados como espesantes por su estabilización y por sus propiedades emulsificantes y gelificantes (Yuksekdag y Aslim, 2008); también han ganado atención durante las pasadas décadas por su contribución a la reología, textura, sensación en la boca, percepción de sabor y estabilidad de productos finales (Ozkaya *et al.*, 2007; Amatayakul *et al.*, 2006; Grattepanche *et al.*, 2007a; Savadogo *et al.*, 2006).

En sistemas alimenticios fermentados, como el yogur, los EPS parecen interactuar con la superficie de las células bacterianas, asociándose con la matriz proteica; lo anterior afecta de manera positiva la viscosidad, la estabilidad del gel de la leche (Briczinski y Roberts, 2002; Walstra *et al.*, 2001), la textura y la percepción de sabor (Welman y Maddox, 2003). El yogur batido elaborado con cultivos estárter productores de EPS viscosos tiene mayor viscosidad que los elaborados con cultivos estárter no productor de EPS. La utilización de cultivos estárter productores de EPS en la elaboración de yogur ha tenido un efecto potencial de reemplazar o reducir la utilización de estabilizantes (Amatayakul *et al.*, 2006).

Dos principales defectos en el yogur son la reducción de la firmeza y el alto nivel de sinéresis o separación de lactosuero sobre la superficie (Yuksekdag y Aslim, 2008; Grattepanche *et al.*, 2007b; Hernández *et al.*, 2008; Prabhakar *et al.*, 2009). Se ha incrementado la tendencia a utilizar para yogur cultivos estárter capaces de producir EPS, debido a su habilidad para atrapar agua y mejorar la textura en la elaboración de yogur (Abbasi *et al.*, 2007; Amatayakul *et al.*, 2006). Por lo anterior, algunos fabricantes de yogur están interesados en producir *in situ* heteropolisacáridos por *Streptococcus thermophilus* (por su alta productividad), para evitar emplear agentes estabilizantes y texturizantes como almidones modificados, carragenina y gelatina (Robitaille *et al.*, 2006; Izawa *et al.*, 2009). Ciertamente, EPS más *Streptococcus thermophilus* pueden reducir sinéresis y realzar la textura y viscosidad del producto, estabilizando el alimento (Robitaille *et al.*, 2006; Hong y Marshall, 2001).

Los EPS desempeñan un papel industrial importante en la producción de derivados lácteos fermentados, en particular, en la producción de yogur, queso, crema fermentada y postres basados en leche; ellos mejoran las propiedades de los productos lácteos fermentados debido a sus propiedades espesantes y por la viscosidad y las propiedades gelificantes (Rodríguez *et al.*, 2008; Simitaru y Segal, 2007; Grattepanche *et al.*, 2007a) y reológicas que les confieren (Hernández *et al.*, 2008; Kailasapathy, 2006; Devlieghere *et al.*, 2004). También ha sido propuesta la utilización de polisacáridos capsulares + cepa de *Streptococcus thermophilus* para elaborar queso, favoreciendo la retención de humedad e incrementando su rendimiento (Grattepanche *et al.*, 2007b; Robitaille *et al.*, 2006) sin afectar la viscosidad del lactosuero (Robitaille *et al.*, 2006; Zambou *et al.*, 2004).

Algunas veces las BAL productoras de exopolisacáridos son responsables de una viscosidad indeseable en productos alimenticios como el vino y la cerveza, pero en varios casos los polisacáridos liberados extracelularmente por BAL pueden ofrecer

ventajas en una variedad de productos alimenticios fermentados (Smitinont *et al.*, 1999). Basados en estas características, las BAL productoras de EPS podrían ser utilizadas como aditivos naturales en productos alimenticios, constituyéndose en alternativa a los aditivos químicos de plantas o animales como una fuente de estabilizantes, espesamiento, gelificante o agentes retenedores de agua (Macedo *et al.*, 2002).

Los EPS aislados a partir de las BAL ofrecen una alternativa de polisacáridos microbianos de amplia utilización en formulaciones alimenticias. Además de su utilización en producción de alimentos, existe un número de reportes de posibles beneficios de los EPS para la salud, especialmente, en el sentido de las propiedades inmunoestimuladoras de los EPS bacterianos (Laws *et al.*, 2001). Los EPS tienen efectos antitumorales, antimutagénicos, inmunoestimuladores, antiúlceras y de disminución de niveles de colesterol en la sangre. Algunos beneficios fisiológicos incluyen aumento en la colonización gastrointestinal de bacterias probióticas, a través del incremento en la residencia de los EPS en el tracto gastrointestinal. (Ozkaya *et al.*, 2007; Péant *et al.*, 2005). *Lactobacillus bulgaricus* tiene actividad antitumoral, además, se ha reportado que los fosfopolisacáridos producidos por *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* muestran efecto antitumoral y actividad inmunoestimuladora (Ai *et al.*, 2008).

La cepa *Lactobacillus pentosus* (LPS26), aislada de la fermentación natural de olivas verdes, produce un polímero capsular constituido de alta y baja masa molecular (Rodríguez *et al.*, 2008); además, los EPS producidos por *Bifidobacterium longum* tienen funciones específicas, como adhesión en el interior de superficies del intestino, promoción de colonización y efectos antimutagénicos fuertes (Kohno *et al.*, 2009).

Las propiedades organolépticas de estos productos se deben en gran parte a la cantidad de EPS producidos durante los procesos de fermentación. El rendimiento y constituyentes de los azúcares de EPS están influenciados por algunos factores y varían de cepa en cepa. *Streptococcus thermophilus* no producen naturalmente grandes cantidades de EPS, lo cual explica por qué esfuerzos considerables se realizan directamente hacia los mecanismos celulares de biosíntesis de EPS. El rendimiento de EPS está asociado con los esfuerzos para incrementar la producción de biomasa; esta tarea requiere, claramente, una revisión de la maquinaria celular; la secuencia total del genoma es un paso obligatorio para lograr este objetivo (Vadeboncoeur y Moineau, 2004).