

## GLUCOMANANO DE KONJAC, UN POLISACÁRIDO BIFUNCIONAL DE ORIGEN ASIÁTICO

---

**Laura Patricia Martínez-Padilla, Norma B.  
Casas-Alencáster**

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales en Alimentos, México

[lpmp@unam.mx](mailto:lpmp@unam.mx), [normac1952@prodigy.net.mx](mailto:normac1952@prodigy.net.mx)

<https://doi.org/10.3926/oms.356>

Martínez-Padilla, L.P., & Casas-Alencáster, N.B. (2016). Glucomanano de konjac, un polisacárido bifuncional de origen asiático. En M.E. Ramírez Ortiz (Ed.). *Alimentos Funcionales de Hoy*. Barcelona, España: OmniaScience. 67-96.

## Resumen

En este capítulo se revisa la doble funcionalidad de un polisacárido novedoso de origen asiático, el glucomanano de konjac, por un lado, se resumen las aplicaciones tecnológicas y por el otro, las relacionadas con la mejora de salud y reducción del riesgo de contraer enfermedades. Las propiedades funcionales desde el punto de vista tecnológico están ligadas con su alta solubilidad y retención de agua (espesante) o como polisacárido estructurado (gelificante), propiedades que modifican fuertemente su reología en medio acuoso. Desde el punto de vista nutricional o medicinal, el konjac funciona como una fibra dietética viscosa, uno de sus principales usos nutracéuticos es disminuir el colesterol, evita también la absorción de algunas grasas y provoca saciedad, siendo un potencial coadyuvante para el control de la obesidad, hiperglucemia (disminuye los niveles de glucosa e insulina), hiperlipidemia e hipercolesterolemia (interfiere en el transporte de colesterol y ácidos biliares). Ha sido utilizado contra el estreñimiento, sin embargo, su consumo puede presentar algunos inconvenientes como la producción de flatulencias o molestias abdominales.

## Palabras clave

Glucomanano, konjac, propiedades funcionales, viscosidad, reología, obesidad.

### 3.1. Introducción

El glucomanano de konjac (GMK) es un polisacárido natural presente en el tubérculo de la planta *Amorphophallus konjac*. Es muy popular en China, Japón y el sudeste de Asia, debido a su consumo en forma de alimento procesado (pastas, queso de soya, tofu, aperitivos, mermelada o gelatina, mezclado con carne, entre otros), así como por su empleo en la medicina tradicional oriental (Nishinari, Williams & Phillips, 1992).

Como polisacárido de alto peso molecular y su gran afinidad por el agua, puede contribuir con múltiples y diversas funciones en la textura de sistemas alimenticios, cosméticos y productos farmacéuticos (espesante, gelificante, estabilizante, formador de películas, entre otros). Sin embargo, el GMK no sólo es atractivo por las propiedades espesantes o formador de gel, ya que se puede utilizar para reemplazar grasa (embutidos), sustituto de proteínas (gluten), auxiliar de carbohidratos digestibles como agente de volumen, entre otros (Lamkey, 2009; Lin & Huang, 2003).

El GMK se ha introducido en escala relativamente pequeña en los Estados Unidos, fue clasificado como ingrediente seguro (GRAS), está permitida su aplicación en productos cárnicos y avícolas (máximo 3.5%, incluyendo almidón). En 2006 fue aprobado en Europa en el grupo de los emulsificantes, espesantes, estabilizantes y gelificantes (E425) (Lamkey, 2009).

Se encuentra disponible en forma de polvo, en cápsulas y en bebidas como suplemento dietético o medicamento, así como en productos alimenticios, incluyendo harinas y pastas. Ya no se utiliza en forma de tabletas (comprimidos), debido a que en contacto con agua puede causar que se hinchen antes de que alcancen el estómago, lo que puede provocar obstrucción del esófago. Es importante mencionar que no se ha reportado obstrucción del esófago asociado con la ingestión de cápsulas de GMK, posiblemente porque la envoltura exterior de la cápsula no permite la absorción de agua antes de que llegue al estómago; sin embargo, ha sido prohibida la importación de golosinas pequeñas a base de GMK (tipo gelatina) a Australia y Estados Unidos (Keithley & Swanson, 2005; Chua, Baldwin, Hocking & Chan, 2010).

El GMK se ha utilizado también como absorbente de gran capacidad, en pañales desechables o toallas sanitarias. La planta ha sido también empleada como orna-

mento, repelente contra insectos, forraje y para la producción de vino (Chua et al., 2010). Debido a su alta viscosidad, se emplea en menor dosis que la recomendada para otros suplementos de fibra, como la goma guar o pectina. Para bajar de peso se recomienda un gramo tres veces al día, 1 hora antes de las comidas. Las dosis más altas, entre 3, 6 y 13 g por día, se han recomendado para el manejo de la diabetes tipo 2, el síndrome de resistencia a la insulina, y dislipidemia (Keithley & Swanson, 2005).

Debido a su capacidad para reducir el colesterol, el consumo de glucomanano se ha enfocado hacia la prevención de las enfermedades cardiovasculares, evitando o retrasando la formación de lesiones ateroscleróticas, en la aorta y en las arterias coronarias. Asimismo, se ha indicado que esta fibra no limita la absorción de minerales como el calcio, el hierro, el cobre o el zinc (González-Canga et al., 2004; Keithley & Swanson, 2005).

Además de las acciones benéficas que ejerce el glucomanano sobre el organismo, también se han señalado inconvenientes. Algunos de ellos no son demasiado impactantes, como la generación de flatulencias o molestias abdominales, que se resuelven suprimiendo su administración e introduciéndolo gradualmente en la dieta. Para evitar la reducción de la biodisponibilidad y absorción de medicamentos, se recomienda que se tomen 1 hora antes o 4 horas después de la ingestión de cápsulas de GMK (González-Canga et al., 2004; Keithley & Swanson, 2005).

Considerando que muchos consumidores prefieren aditivos de origen natural y que presenta pocos inconvenientes, la funcionalidad tecnológica del GMK puede ser aplicada ampliamente en la industria de alimentos o farmacéutica, obteniendo además los beneficios de la funcionalidad nutricional o médica.

## **3.2. Antecedentes**

### **3.2.1. Obtención**

China es el principal productor de konjac (cultivo agrónomicamente importante) y tiene aproximadamente 400 fábricas dedicadas a la producción de harina de konjac. Fuera de Asia, en Francia y en Nueva Zelanda el GMK está siendo investigado como un cultivo potencial (Nishinari et al., 1992; Chua et al., 2010).

El GMK proviene de una planta perenne de la familia *Amorphophallus*, que es nativa del sudeste de Asia, principalmente de Japón, China y sur de Indonesia. Se encuentran alrededor de 170 especies distribuidas en zonas tropicales desde África occidental hasta la Polinesia. La composición de los tubérculos maduros varía según la especie, el origen y las condiciones de crecimiento. De las especies de *Amorphophallus* cultivadas en China, *A. konjac* y *A. albus* el GMK es el carbohidrato de reserva principal. El cultivo de la planta de *Amorphophallus konjac* para la producción de GMK requiere un tiempo prolongado, ya que los tubérculos únicamente adquieren un tamaño y una contenido de glucomanano suficiente después de ser replantados durante 3 ó 4 años (Chua et al., 2010, 2012).

Se han manejado nueve especies de *Amorphophallus*, el más utilizado es el *A. konjac*, con una antigüedad de miles de años. A la planta se le conoce también con otros nombres como «lengua del diablo» «batata (camote) de elefante» o «planta de serpiente», alcanzando hasta un metro y medio de altura, esta planta posee numerosas flores rojas reunidas en una inflorescencia espadiforme y envueltas por una bráctea rojo-púrpura denominada espata. Posee un tallo subterráneo alargado que nace desde la raíz y un tubérculo que tiene la función de almacenar nutrientes, que llega a medir hasta 25 cm de diámetro. Su única hoja de color púrpura es de hasta 1.3 m de ancho (González-Canga et al., 2004; Chua et al., 2010).

El tubérculo de konjac contiene entre 49 y 60% de glucomanano, 10 y 30% de almidón, 2.6 y 7% de elementos inorgánicos (aluminio, calcio, cromo, cobalto, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, selenio, silicio, sodio, estaño y zinc), 5 y 14% de proteína cruda, 3 y 5% de azúcares solubles, 3.4 y 5.3% cenizas y una pequeña cantidad de alcaloides (trigonelina) y saponina en la base del tallo. Se han identificado también compuestos orgánicos tales como caroteno, colina, niacina, riboflavina y tiamina, así como la serotonina y sus derivados en tubérculo fresco (Nishinari et al., 1992; Chua et al., 2010).

Los procedimientos de extracción y purificación son decisivos para las aplicaciones comerciales, ya que pueden afectar a la calidad del GMK en términos de las propiedades fisicoquímicas que a su vez están relacionadas a la funcionalidad que aporta. La harina de konjac se obtiene comercialmente lavando las superficies externas del tubérculo de la planta para eliminar la suciedad, cortando del tubérculo, seguido de un secado con aire caliente (se puede utilizar dióxido de azufre como agente de blanqueo), terminando con una molienda. La harina tiene un olor parecido a pescado (Chua et al., 2010; Tatirat & Charoenrein, 2011).

Considerando que el contenido de GMK en la harina varía desde 50 a 70%, es necesario proceder a un proceso de purificación, para que sea un aditivo de calidad alimentaria. Éste se obtiene mediante la eliminación de las impurezas tales como almidón, proteínas, celulosa y azúcares de bajo peso molecular a partir de la harina, ya sea por tamizado o por lavado-precipitación con alcohol, seguido por extracción acuosa a temperatura ambiente. Se han desarrollado métodos complementarios de tipo físico como la centrifugación (1500 x g), tratamientos a temperaturas elevadas, o en los que incluyen mezclas de alcohol con otros solventes orgánicos (benceno) (Tatirat & Charoenrein, 2011; Chua et al., 2012; Xu et al., 2014).

### 3.2.2. Estructura y composición química

El GMK es un polisacárido neutro de la familia «manano», cuya cadena principal está compuesta por D-glucosa y D-manosa unidas mediante enlaces gluco-

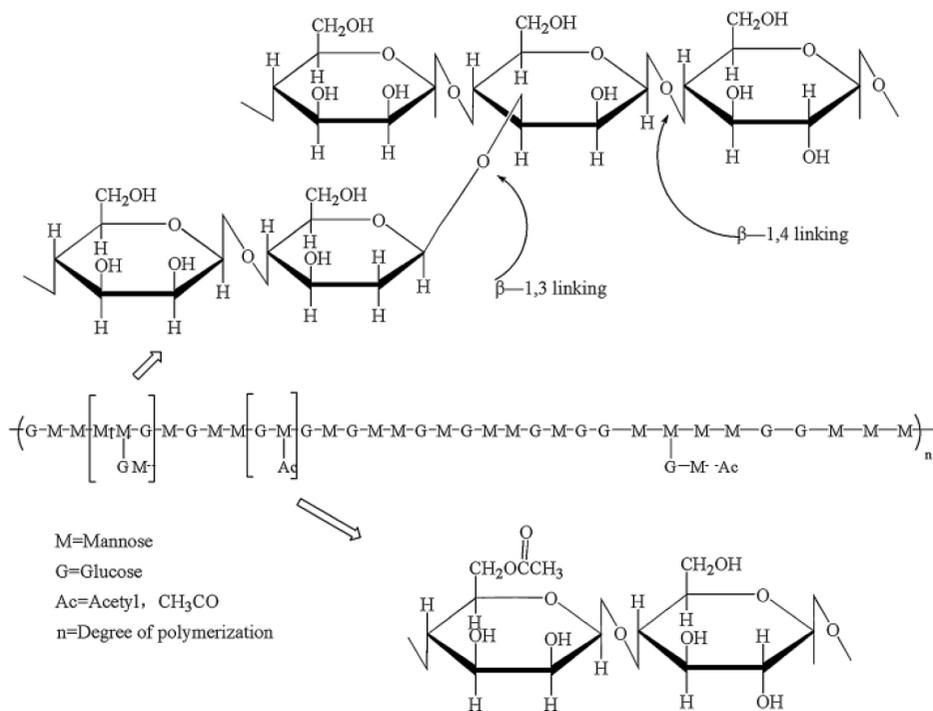


Figura 9. Estructura química del glucomano de konjac (Zhang et al., 2014).

sídicos  $\beta$ , 1-4. Contiene pequeñas ramificaciones (11-16 unidades) unidas por enlaces glucosídicos  $\beta$ , 1-3 (cada 50-60 unidades de azúcar). La relación molar aproximada entre unidades de manosa y glucosa es de 1.6:1. Además, contiene grupos acetilo aleatoriamente distribuidos en la posición C-6 de las unidades monosacáridicas, con una frecuencia variable de aproximadamente uno cada 19 residuos. El peso molecular de GMK oscila de 200 a 2000 kDa dependiendo del origen, método de procesamiento y el tiempo de almacenamiento (Nishinari et al., 1992, 1996; Davé & McCarthy, 1997; Williams et al., 2000; González-Canga et al., 2004; Zhang, Chen & Yang, 2014).

### **3.3. Propiedades funcionales tecnológicas**

#### ***3.3.1. Solubilidad***

El GMK se dispersa fácilmente en agua (20-25 °C, 20 a 30 minutos), pero se aumenta la solubilidad con agitación mecánica e incremento de temperatura. Presenta alta capacidad de absorción de agua, reportándose desde 50 hasta 200 gramos por gramo de muestra, formando disoluciones altamente viscosas en un intervalo de pH entre 4.0 y 7.0, ambas propiedades debido a su buena interacción con el agua y su elevado peso molecular (moléculas muy polares debido a la abundancia de grupos hidroxilo) (Nishinari et al., 1992; González-Canga et al., 2004; Keithley & Swanson, 2005; Chua et al., 2010).

La existencia de grupos acetilo (5-10%, dependiendo de la fuente) a lo largo de la cadena principal de GMK, contribuye a la solubilidad, ya que los grupos acetilo dificultan la asociación de la cadena de polisacárido intermolecular (inhibiendo la formación de puentes), mejorando la solvatación. El mecanismo a través del cual los grupos acetilo promueven la solubilidad es desconocido; sin embargo, se ha demostrado que la velocidad de disolución del GMK en medio acuoso es mayor cuando se incrementa el grado de acetilación (Nishinari et al., 1992, Nishinari, Miyoshi, Takaya & Williams, 1996).

#### ***3.3.2. Espesante***

El GMK puede ser utilizado por su capacidad espesante en las industrias de alimentos, bebidas, cosméticos y farmacéuticas, principalmente. Este polisacárido

do, como se mencionó previamente, forma disoluciones altamente viscosas, con comportamiento no newtoniano como la mayoría de polisacáridos de alto peso molecular. En pH ácido o neutro (pH 4-7), las disoluciones acuosas de GMK no pueden formar geles debido a que el grupo acetilo evita que las cadenas largas del polisacárido se acerquen entre sí.

El GMK es neutro y ocupa un gran volumen hidrodinámico. La ausencia de carga en la superficie del polisacárido permite mejores asociaciones intermoleculares para formar estructuras que capturan agua. A diferencia de la goma xantana que forma hélices dobles, el GMK no forma agregados, pues la presencia de grupos acetilo permiten que las interacciones se lleven a cabo con el medio dispersante, más que entre los componentes del polisacárido, por lo tanto existe un mayor espesamiento (Nishinari et al., 1992, 1996; Williams et al., 2000).

Los valores de viscosidad desarrollada, dependen del grado de pureza y concentración de la disolución. Con la purificación se eliminan las enzimas presentes en el tubérculo, responsables de la disminución del peso molecular y por consecuencia de la viscosidad (González-Canga et al., 2004).

Se ha reportado que presenta viscosidades superiores a la de la goma guar y algarrobo a la misma concentración (Nishinari et al., 1992). De igual manera se ha reportado que, en pruebas bajo cizalla oscilatoria empleando un reómetro de tubo a 2 Hz y 4°C y comparada a 50 1/s, presenta mayor viscosidad que la carboximetilcelulosa,  $\lambda$  y  $\kappa$ -carragenina, xantana, algarrobo,  $\iota$ -carragenina, pectina, celulosa microcristalina, metil celulosa y goma arábica (en orden de mayor a menor viscosidad) (Yaseen, Herald, Aramouni & Alavi, 2004). Considerando que en algunas aplicaciones el uso se limita debido al gran desarrollo de viscosidad del GMK, se ha propuesto someterlo a degradación por medio de tratamiento térmico alcalino (Jin et al., 2014a).

### *3.3.2.1. Propiedades de flujo de disoluciones de GMK (Reología)*

Las disoluciones a concentraciones menores al 0.1% muestran comportamiento newtoniano (He, Luo, Lin & Zhan, 2012). En concentraciones mayores, los sistemas acuosos de GMK presentan un comportamiento no newtoniano fluidificante a la cizalla como la mayoría de polisacáridos de alto peso molecular. Sin embargo, a diferencia de otros polisacáridos fluidificantes, muestra

una viscosidad constante en un amplio intervalo de bajas velocidades de cizalla (0.001-1 1/s, dependiendo de la concentración), denominada  $\eta_0$ , la cual es superior a la de otros polisacáridos a la misma concentración. Una vez que se alcanza una velocidad de cizalla suficiente para modificar la estructura por cizallamiento, el GMK es altamente fluidificante, es decir, su viscosidad disminuye fuertemente al incrementar la velocidad de cizalla. La mayoría de determinaciones de propiedades de flujo, se han registrado en la zona fluidificante, modelándose con una función potencia, en donde el índice de consistencia ( $K$ ) se incrementa (0.006-58 Pa.s<sup>n</sup>; 0.04-93 Pa.s<sup>n</sup>) al aumentar la concentración (0.1-1.0%; 0.15-1.5%) y el índice de comportamiento ( $n$ ), disminuye (0.98-0.24; 0.82-0.29), alejándose del comportamiento newtoniano (Wang et al., 2012; He et al., 2012).

El modelo de Ellis o de Cross (Ecuación 1), han sido empleados para ajustar el comportamiento reológico del GMK, en este último, se involucra una constante de tiempo ( $\lambda$ ) y un exponente relacionado con el índice de comportamiento al flujo ( $m = 1 - n$ ). Por lo general, se considera despreciable el valor de  $\eta_\infty$  (viscosidad constante que se alcanza a muy altas velocidades de cizalla), cuando el valor de ajuste es inferior a la viscosidad del solvente. Se reportó una  $n$  de 0.25, en una concentración relativamente baja (0.5% GMK), empleando este modelo (Tatirat, Charoenrein & Kerr, 2012).

$$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + \lambda \dot{\gamma}^m} \quad (1)$$

Considerando que la  $\eta_0$  define mejor el carácter espesante del GMK, y ésta depende de la pureza, grado de acetilación, peso molecular, proceso de extracción del GMK, en la Tabla 22, se resumen algunos valores reportados recientemente, en diversas investigaciones (Alvarez-Manceñido, Landin, Lacik & Martínez-Pacheco, 2008; Tatirat et al., 2012; Chua et al., 2012; Xu et al., 2014; Zhao et al., 2015).

En un estudio de GMK con diferentes grados de deacetilación (22 a 100%), en una solución de urea al 10%, se reporta que  $\eta_0$  disminuye al incrementar el grado de deacetilación (84.3-22.1 Pa.s),  $\lambda$  también disminuye (0.80-0.23 s), manteniéndose casi constante  $m$  (0.80-0.86). Se observó la misma tendencia en función del grado de irradiación (rayos  $\gamma$ , 2.4-6 kGy), en una investigación de GMK pretratado con etanol, donde  $\eta_0$  disminuyó de 139.8 a 2.34 Pa.s,  $\eta_\infty$  incrementó de  $2.38 \times 10^{-6}$  a 0.24 Pa.s,  $\lambda$  disminuyó de 1.48-0.057 s y  $m$  casi no varió (0.89-0.87), todos ellos

| Concentración | Pureza | Viscosidad y<br>parámetros<br>reológicos  | Referencia                        |
|---------------|--------|---|-----------------------------------|
| 0.5%          | –      | GMK Europeo<br>$\eta_0 = 0.046$ Pa.s<br>$\lambda = 0.003$ s<br>$m = 0.95$<br>GMK Japonés<br>$\eta_0 = 5.65$ Pa.s<br>$\lambda = 0.286$ s<br>$m = 0.78$<br>(T 37°C) | Alvarez-Manceñido<br>et al., 2008 |
| 0.5%          | 92.6%  | $\eta_0 = 3.66$ Pa.s<br>$\lambda = 0.17$ s<br>$n = 0.25$  | Tatirat et al., 2012              |
| 2%            | 90-97% | $\eta_0 = 703-887$ Pa.s   | Chua et al., 2012                 |
| 1%            | ~ 90%  | ~ 400 Pa.s  | Xu et al., 2014                   |
| 1%            | 92%    | pH neutro<br>$\eta_0 = 84.34$ Pa.s<br>$\lambda = 0.83$ s<br>$m = 0.86$<br>pH 2<br>$\eta_0 = 94.63$ Pa.s<br>$\lambda = 1.0$ s<br>$m = 0.84$                        | Zhao et al., 2015                 |

Tabla 22. Viscosidad y parámetros reológicos de disoluciones acuosas de GMK.

como consecuencia de la disminución del peso molecular de  $1.4 \times 10^6$  a  $2 \times 10^5$  (Jin et al., 2014b). Finalmente se encontró reportado un valor bajo de  $\eta_\infty$  (0.031 Pa.s) (pero no despreciable) en GMK completamente deacetilado (100%) (Wang et al., 2014).

En cuanto al efecto de la concentración en  $\eta_0$ , en un gráfico log-log, se observa una dependencia lineal (Chua et al., 2012). Sin embargo,  $\eta_0$  no ha sido relacionada con la viscosidad intrínseca (~14-20 dl/g) (Nishinari et al., 1992; Davé &

McCarthy, 1997; Mao et al., 2012, Luo, He & Lin, 2013) como en la mayoría de polisacáridos de alto peso molecular. En GMK acetilado la viscosidad intrínseca es ligeramente menor que la del GMK nativo (Huang, Takahashi, Kobayashi, Kawase & Nishinari, 2012), y ligeramente menor que la de la goma xantana (0.10 M NaCl) (Mao et al., 2012).

Como resultado de su alta viscosidad, el GMK puede añadirse a otras disoluciones de polisacáridos para aumentar la viscosidad de los sistemas en mezcla y mejorar las propiedades de los mismos. Algunos ejemplos de polisacáridos estudiados en mezcla con el GMK son: goma xantana, goma guar, carragenina, alginato de sodio y carboximetilcelulosa (Davé & McCarthy, 1997; Liang et al., 2011). Solamente se ha demostrado una interacción sinérgica en mezcla con goma xantana, en estudios cuya concentración máxima fue de 1% (Liang et al., 2011).

### 3.3.2.2. *Propiedades viscoelásticas de disoluciones de GMK (Reología)*

En pruebas bajo cizalla oscilatoria en zona de viscoelasticidad lineal, el GMK presenta un espectro característico de un material fluido, donde en velocidades angulares bajas, el módulo viscoso ( $G''$ ) predomina sobre el módulo elástico ( $G'$ ), presentando un punto de cruce donde se invierte este comportamiento en las velocidades angulares altas. El cruce de los módulos se desplaza a frecuencias más bajas con el aumento de la concentración de GMK. Al igual que la  $\eta_0$ , la magnitud de los módulos y el punto de cruce, dependen de la pureza, grado de acetilación, peso molecular y proceso de extracción (Wang et al., 2014; Xu et al., 2014; Ye et al., 2014; Zhao et al., 2015) (Tabla 23).

En un estudio de GMK en mezcla con quitosán, se observó un comportamiento diferente dependiendo del pH, en un medio neutro, al aumentar la concentración de quitosán, el punto de cruce se mueve de 0.4 Hz a 2; sin embargo, a pH 2, disminuye ligeramente de 0.4 a 0.3 Hz (Zhao et al., 2015). En GMK carboximetilado, disminuyeron los módulos al incrementar el grado de sustitución, y el punto de cruce se mueve hacia valores de mayor velocidad angular, sin afectar significativamente la adición de sal (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, KCl) (Kobayashi, Tsujihata, Hibi & Tsukamoto, 2002). En el caso de GMK-acetilado, la viscosidad como era de esperarse, se incrementa al aumentar el grado de acetilación, sin embargo, no se observa punto de cruce entre 0.1 a 100 Hz, en un grado de sustitución de 2.8, que además presenta la mayor termoestabilidad (Lin et al., 2010). Finalmente,

| Concentración | Pureza | Velocidad angular en el punto de cruce                                      | Referencia        |
|---------------|--------|---|-------------------|
| 0.5%          | –      | 10-50 rad/s (22% de deacetilación)  | Wang et al., 2014 |
| 1%            | ~ 90%  | 1-6 rad/s dependiendo de la temperatura de extracción                       | Xu et al., 2014   |
| 1%            | 73%    | 26-42 rad/s dependiendo de la temperatura de reflujo (75% dimetilsulfóxido) | Ye et al., 2014   |
| 1%            | 92%    | ~ 0.4 Hz (2.5 rad/s)  | Zhao et al., 2015 |

*Tabla 23. Velocidad angular en la que existe un cruce de los módulos dinámicos en disoluciones acuosas de GMK.*

en una investigación de GMK pretratado con etanol e irradiado (rayos  $\gamma$ ), se observó que el punto de cruce también se incrementaba en función del grado de irradiación (Jin et al., 2014b).

### **3.3.3. Gelificante**

La adición de álcalis juega un papel importante en la solubilización durante la gelificación del GMK adicionalmente a la deacetilación provocada, permitiendo agregación y formación de enlaces fuertes entre las moléculas de polisacárido, lo que proporciona geles termoestables (Williams et al., 2000). Para ello se recomienda aplicar tratamiento térmico fuerte (90 °C durante 1 h) y mantener el pH entre 9-10, empleando un mínimo de 1.5 a 2% de harina de konjac (Davé & McCarthy, 1997; Zhang et al., 2001; Alonso-Sande, Teijeiro-Osorio, Remuñan-López & Alonso, 2009).

En el proceso de deacetilación, los segmentos deacetilados del GMK se unen y se agregan debido a la carga negativa que ahora tiene la cadena molecular, esto debido a la interacción de los restos ácidos que presenta el grupo acetilo (COO<sup>-</sup>) en la molécula de GMK con compuestos alcalinos lo que provoca que exista una competencia entre el efecto inductivo del álcali y la hidratación de la molécula, promoviendo la formación de una red tridimensional (Nishinari et al., 1992,

1996; Williams et al., 2000; Luo et al., 2013). Los enlaces hidrógeno presentes pueden ser de dos tipos, intramoleculares (ayudan a estabilizar las conformaciones) e intermoleculares (crean redes que atrapan e inmovilizan el agua resultando en espesamiento o gelificación).

El proceso de gelificación del GMK está influenciado por el grado de acetilación y la concentración de compuestos alcalinos utilizados (CaO, NaOH, KOH, Al(OH)<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), al igual que otras variables como peso molecular, concentración y temperatura, tal y como ocurre en la mayoría de polisacáridos gelificantes. A menor grado de acetilación, el número de enlaces hidrógeno aumenta debido a que la acetilación impide la agregación del GMK; el número de zonas de unión y la longitud de las cadenas de conexión son directamente proporcionales con el peso molecular. El aumento de la concentración de GMK, se deriva en un incremento en el número de moléculas y la proximidad entre ellas, mientras que el aumento de la temperatura genera una mayor formación de enlaces hidrógeno en las zonas de unión en donde se requiere energía (Huang et al., 2002; Alonso-Sande et al., 2009).

Una desventaja de la formación del gel por la adición de álcalis (pH alcalino), es que a ese pH no es compatible con los alimentos a los que se agregará (pH neutro-ácido), por lo que su aplicación en forma de gel es limitada. Una posibilidad es formar el gel antes de mezclarlo con las proteínas cárnicas, por ejemplo, lo que ha funcionado como sustituto de grasa en embutidos (0.25% GMK). Sin embargo, el GMK disminuye la firmeza de productos cárnicos en donde se ha aplicado, lo cual puede ser contrarrestado cuando se combina con otros polisacáridos como almidón o carragenina (Lamkey, 2009; Amini-Sarteshnizi, Hosseini, Mousavi-Khaneghah & Karimi, 2015).

### *3.3.3.1. Reología de geles de GMK*

Las propiedades viscoelásticas de los geles de GMK han sido evaluadas comúnmente a través de pruebas bajo cizalla oscilatoria. Se encuentran pocos reportes del espectro mecánico en la literatura científica; sin embargo, el seguimiento del desarrollo del módulo elástico ( $G'$ ) ha sido una práctica común para determinar el punto de gelificación (Zhang et al., 2001; Huang et al., 2002, Agoub, Smith, Giannouli, Richardson & Morris, 2007).

En general, un incremento de la concentración de GMK, peso molecular o temperatura, disminuyen el tiempo de gelificación (Yoshimura & Nishinari, 1999; Zhang et al., 2001; Huang et al., 2002). En un estudio en sistemas acuosos de GMK (0.2-2%) en función del tiempo, a diferentes grados de acetilación, temperatura (40-75°C) y en presencia de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , aparte de confirmar lo anterior, se encontró que el grado de acetilación retrasa el tiempo de gelificación, además de que  $G'$  tiende a un valor constante cuando la relación de grupos acetilo y la concentración de álcali se mantiene constante (Huang et al., 2002).

Se ha reportado que la adición de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  produce la gelificación del GMK por un proceso diferente al de deacetilación, donde  $G'$  (~2-1000 Pa) se incrementa en función del tiempo de gelificación, al aumentar la concentración de sal (0.58-1 M), mientras que  $G''$  (~2-30 Pa) varía poco y es mucho menor que  $G'$  (Yin, Zhang, Huang & Nishinari, 2008).

### 3.3.3.2. Reología de geles de GMK otros polisacáridos

Al igual que en viscosidad, el GMK puede añadirse a otras disoluciones de polisacáridos para aumentar la fuerza del gel y mejorar las propiedades de los mismos. Algunos ejemplos de polisacáridos estudiados en mezcla con el GMK son: kappa carragenina, carboximetilcelulosa de sodio, goma xantana, goma gelana, alginato de sodio, celulosa y quitosán (Zhang et al., 2005, 2014; Alonso-Sande et al., 2009).

La interacción sinérgica de GMK en mezcla con goma xantana ha sido la más estudiada (Nishinari et al., 1992; Fitzsimons, Tobin & Morris, 2008; Fitzpatrick, Meadows, Ratcliffe & Williams, 2013), en sistemas conteniendo ambos biopolímeros en la misma proporción, con y sin tratamiento térmico (95°C), en este último se observó tras el enfriamiento, un comportamiento elástico predominante, con un espectro característico de un gel verdadero (red formada entre ambos polímeros), comportamiento atribuido a una asociación intermolecular entre el GMK y la goma xantana. Además, se demuestra que la goma xantana no debe estar en su forma desordenada para que se establezca la interacción entre ambas macromoléculas (Fitzsimons et al., 2008). En otra investigación se reportó que al aumentar el peso molecular del GMK en la mezcla, la temperatura de gelificación se desplaza hacia una temperatura mayor y  $G'$  se incrementa (Shen, Wan & Gao,

2010). Recientemente, en mezclas conteniendo goma xantana nativa, deacetilada o libre de piruvatos, empleando calorimetría diferencial y reometría, se identificó un segundo pico de energía y un incremento de  $G'$ , confirmando la asociación de GMK- goma xantana (Fitzpatrick et al., 2013).

También se han reportado espectros mecánicos característicos de geles-verdaderos, en mezclas GMK-goma xantana sometidas a un fuerte tratamiento térmico (1 h, 85°C), empleando diferentes fuentes de GMK (japonés y europeo), presentando valores de módulos  $G'$  y  $G''$  independientes de la frecuencia, y al menos una década de diferencia entre ellos (Alvarez-Manceño et al., 2008). Algunas aplicaciones de estas mezclas (pH 4.0 – 3.5), puede ser como sustituto de gelatina o en mermeladas de frutas ácidas, ya que se puede obtener la sensación de que funde en la boca (Agoub et al., 2007), o como excipiente en productos farmacéuticos (Alvarez-Manceño et al., 2008).

En geles de gelana-GMK, la dureza del gel disminuye cuando se incrementa la proporción de GMK, la interacción se promueve con el aumento de concentración de cationes, tales como sodio, potasio o calcio, adicionados en forma de sales. Sin embargo, un contenido excesivo de sal, conduce a separación de fases, causada por la formación de agregados de goma gelana. Las aplicaciones de esta mezcla han sido principalmente en películas activas para fines de envasado de alimentos y como sustituto de grasa en salchicha (Nishinari et al., 1996; Lin & Huang, 2003; Xu, Li, Kennedy, Xie & Huang, 2007; Mei et al., 2011).

Se ha observado también un efecto sinérgico en mezclas de GMK con kappa-carragenina por una asociación intermolecular entre ambos polisacáridos, donde al incrementarse el peso molecular del GMK se aumentan los valores de los módulos  $G'$  y  $G''$ ; sin embargo, no se detectó una influencia clara en la temperatura de transición sol-gel (Kohyama, Lida & Nishinari, 1993; Kohyama, Sano & Nishinari, 1996).

El alginato y el GMK también presentan interacciones entre moléculas mediada por puentes de hidrógeno y fuerzas electrostáticas. Esto ha sido la base para la formación de esferas de alginato- GMK, mezcladas con quitosán o xantana, destinados a la administración controlada de proteínas y fármacos (Wang & He, 2002; Alonso-Sande et al., 2009; Harding, Smith, Lawson, Gahler & Wood, 2011).

### ***3.3.4. Emulsificante y estabilizante***

El GMK nativo no presenta propiedades de emulsificante, sin embargo, se ha propuesto modificarlo químicamente para proporcionarle propiedades tensoactivas, a través de una hidrólisis, oxidación y esterificación (con ácido esteárico), neutralizándolo con NaOH (Zhang et al., 2005), o añadiendo anhídrido octenil succínico (AOS) en un proceso asistido por microondas, dando como resultado GMK octenil succinato, el cual combina características hidrófobas del GMK y las propiedades estéricas del AOS (Meng et al., 2014). Se propuso también el empleo de un conjugado de aislado de proteína de soya-GMK como emulsificante, probado a diferente pH (agua, fosfato, acetato), con posibilidad de aplicación en emulsiones aceite en agua (Zhang et al., 2005). Como estabilizante de emulsiones puede ser adicionado debido a la alta viscosidad desarrollada, sustituyendo a polisacáridos tradicionalmente empleados, como la goma xantana o la carboximetilcelulosa. Se ha propuesto también, su aplicación como gel micronizado para la obtención de un análogo de grasa en mayonesa (Li, Wang, Jin, Zhou & Li, 2014).

### ***3.3.5. Formador de películas y recubrimiento***

El GMK tiene la peculiaridad de formar películas transparentes, por lo que se ha mezclado con otros polímeros (poliacrilamida, gelatina, carboximetilcelulosa de sodio, polivinilpirrolidona, quitosán, alginato de sodio y celulosa), para mejorar la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas de las mismas (resistencia a la tensión y ruptura) (Zhang et al., 2005, 2014).

Se han preparado laminados biodegradables y/o resistentes al agua, con mezclas de goma xantana y GMK, aislado de suero de leche y GMK, con desechos de soya y GMK, proteína de soya con GMK carboximetilado. Se reporta que son las interacciones intra e intermolecular a través de enlaces de hidrógeno, tanto de los componentes puros, como del GMK, las responsables del comportamiento y las propiedades de las películas obtenidas (Zhang et al., 2005; Leuangsukrerak, Phupoksakul, Tananuwong, Borompichaichartkul, Janjarasskul, Wang et al., 2014).

Como recubrimiento existen diferentes y algunas novedosas patentes, una de ellas para la conservación y control de la maduración de productos frescos (me-

lones, manzanas y similares), restringiendo el intercambio de gases dentro y fuera del producto (oxígeno, etileno, dióxido de carbono y vapor agua) (Zhang et al., 2005). De igual manera se ha propuesto utilizar GMK en mezclas con alginato de sodio en litchi y duraznos, con aceptable función preservadora (Xiao, Gao & Zhang, 2000). En granos de arroz se ha utilizado como recubrimiento, que además de ser una fuente de fibra dietética adicional, puede ser cocinado inclusive a presión y evita su desintegración (Zhang et al., 2005).

### ***3.3.6. Aplicaciones tecnológicas***

Algunos ejemplos de aplicación tecnológica están relacionados con la producción de harina de GMK y la preparación de tallarines o fideos libres de gluten, con mayor elasticidad y resistencia mecánica, así como como sustituto de grasa en embutidos más saludables (emulsiones cárnicas) (Chua et al., 2010; Jiménez-Colmenero, Cofrades, Herrero, Solas & Ruiz-Capillas, 2013; Amini-Sarteshnizi et al., 2015). También se puede usar como sustituto de otros hidrocoloides para retardar el envejecimiento y modificar la textura en pan, pasteles y galletas; estabilizante en helados evitando la formación de cristales, estabilizante de espumas (cerveza); estabilizante de suspensiones; clarificante (bebidas alcohólicas y jugos de frutas), entre otros (Chua et al., 2010).

Además de las aplicaciones tecnológicas del GMK relacionadas a la industria de alimentos descritas previamente, se han reportado estudios aplicados en cosmetología, como humectante y acondicionador para el cabello, cosméticos en forma de emulsiones aceite en agua, agentes de limpieza (piel, dientes), geles para desinfección (etanol, polímero gelificante y GMK como espesante), gel removedor y maquillaje (pigmentos recubiertos con GMK) (Zhang et al., 2005).

Finalmente algunas aplicaciones en el área de la biotecnología, están relacionadas con el empleo del GMK como material para la inmovilización de células (*Escherichia coli*, levaduras, *Bacillus Bifidus*) en geles de carragenina; formación de microesferas con GMK entrecruzado, para eliminar sal de disoluciones de proteína; como agente de soporte de fijación para biopsias, y como material de encapsulación de líquidos que pueden contener sabores, enzimas, células, agentes biológicos, medicamentos, agentes inmunológicos, o mezclas de ellos, usando el GMK como membrana protectora (Zhang et al., 2005; Yang, Xiao & Ding, 2009.).

### **3.4. Propiedades funcionales nutricionales o medicinales**

Durante más de 2000 años el GMK ha sido empleado por los indígenas de China para el tratamiento del asma, tos, hernia, dolor de pecho, quemaduras, así como trastornos hematológicos y de la piel. En la medicina tradicional china, el GMK ha sido utilizado para desintoxicar, suprimir tumores, alivio de estasis sanguínea y licuefacción de flemas (Chua et al., 2010).

Por otro lado, los estudios clínicos actuales han demostrado que suplementar la dieta con GMK reduce significativamente el colesterol en el plasma, mejora el metabolismo de los carbohidratos y el movimiento intestinal. Se ha estudiado también su uso como prebiótico, ya que una ingesta diaria ha demostrado que aumenta la población de bacterias lácticas en el colon y promueve la frecuencia de defecación (González-Canga et al., 2004; Chua et al., 2010). A continuación se describen brevemente los usos medicinales documentados recientemente (en revisiones).

#### ***3.4.1. Tratamiento para la obesidad***

Se han realizado diferentes estudios clínicos usando GMK para el tratamiento de la obesidad, y se ha concluido que puede poseer propiedades que promueven la pérdida de peso cuando se usa en conjunto con una dieta normal o hipocalórica (3 semanas a 4 meses). Se recomienda un consumo de entre 2 y 4 gramos diarios, debido a su buena tolerancia y porcentaje bajo de efectos adversos (González-Canga et al., 2004; Keithley & Swanson, 2005).

Su efectividad está relacionada con la elevada capacidad de absorción de agua que posee el GMK, lo que hace que en el estómago se hinche proporcionando sensación de saciedad a través de la inducción de la señales cefálicas y de la fase gástrica; además, debido a su capacidad de aumentar la viscosidad del contenido gastrointestinal retrasa el vaciado gástrico, hace más lento el tránsito intestinal, prolongando así el efecto de plenitud (González-Canga et al., 2004; Keithley & Swanson, 2005).

Además reduce la velocidad de absorción de los alimentos en el intestino delgado, considerando que las fibras solubles reducen la absorción de grasa y proteína, posiblemente limitando su contacto físico con el vello intestinal,

lo que conduce además a la atenuación de glucosa postprandial y la presencia de una hormona producida en el intestino delgado, colecistocinina, que actúa como un supresor del apetito (Keithley & Swanson, 2005; Chua et al., 2010).

En otros estudios se probó el efecto de la adición de GMK en un programa integral (dieta y ejercicio) sobre la pérdida de peso, composición corporal y lípidos en sangre, en hombres y mujeres con sobrepeso. El GMK promovió la reducción en la masa corporal, la masa grasa, el colesterol y las lipoproteínas, estos índices fueron mejorados por la inclusión de actividad física además de la dieta. Asimismo, se observó el incremento en el contenido de leptina, una hormona derivada de tejido adiposo producida por los adipocitos, que regula la masa corporal a través del gasto energético y la ingesta (Chua et al., 2010).

### ***3.4.2. Actividad anti-hiperglucémica***

El GMK también se ha empleado en el manejo dietético de la diabetes. Existen muchas evidencias de que la fibra soluble inhibe la absorción de carbohidratos y mejora los parámetros glucémicos. En el siglo pasado, a finales de la década de los 80 se reportó una reducción de la glucemia y la insulinemia posprandiales en individuos sanos y en pacientes diabéticos, hecho que se ha demostrado en numerosos estudios realizados con posterioridad, tanto en el hombre como en los animales (González-Canga et al., 2004; Chua et al., 2010).

La alta viscosidad de la fibra dietética se propone como un factor importante en la reducción de la actividad hiperglucémica, tanto en individuos normales como diabéticos. El mecanismo por el que se produce este efecto se ha atribuido al incremento de la viscosidad del GMK en el tracto gastrointestinal, lo que, a nivel del estómago, retrasa el vaciado gástrico y, a nivel del intestino, reduce la velocidad de absorción de nutrientes, al constituir una barrera que los protege de la acción de las enzimas y que dificulta su acceso a la mucosa intestinal (González-Canga et al., 2004). En otros estudios, se demuestra que el GMK presenta el mayor efecto en la respuesta de la glucosa postprandial, al compararlo con la goma xantana y el *Psyllium*. También se probaron las mezclas de GMK- polisacárido en galletas, y se demostró que la mezcla GMK-polisacárido tiene un bajo índice glucémico (Chua et al., 2010).

### ***3.4.3. Actividad anti-hipercolesterolemia***

El glucomanano también ha sido aplicado como complemento de dietas con el objeto de reducir el exceso de colesterol en la sangre. Recopilando resultados de varios estudios, se llegó a la conclusión de que el uso de GMK reduce significativamente el colesterol total (Chua et al., 2010).

Algunos investigadores atribuyen la acción hipocolesterolemia de esta fibra a su elevada capacidad para formar disoluciones viscosas, a veces ha sido atribuido erróneamente a la formación de gel, pero en el medio ácido de los jugos gástricos es difícil la formación de un gel verdadero. Los ácidos biliares, encargados de transportar el colesterol hasta la superficie de la mucosa, quedan atrapados en el interior de la disolución viscosa de GMK, excretándose con las heces, por lo que se disminuye la absorción intestinal de colesterol; sin embargo, las sales biliares pueden reducir la absorción de las vitaminas liposolubles. Es importante mencionar que para compensar la pérdida de ácidos biliares, las células hepáticas sintetizan los ácidos biliares a partir del colesterol, descendiendo así los niveles del mismo (González-Canga et al., 2004; Chua et al., 2010).

Los estudios en individuos con y sin diabetes tipo 2, demuestran que la fructosamina y el colesterol en suero fueron significativamente reducidos durante los tratamientos con GMK, cuando fue usado en conjunto de un tratamiento de cardiopatía coronaria convencional. Además, la presión arterial sistólica se redujo significativamente en los tratamientos que contenían GMK (Chua et al., 2010).

En otro estudio se evaluaron los efectos de un suplemento de GMK sobre los niveles de lípidos y de glucosa en sangre en diabéticos (tipo 2). En comparación con el placebo, el colesterol en plasma, lipoproteínas de alta densidad, índice colesterol total/lipoproteínas de alta densidad, la apolipoproteína B y glucosa en sangre (ayunas) se redujeron significativamente. Además, se observó un aumento de esteroides fecales y ácidos biliares (Chua et al., 2010).

También se han realizado estudios usando GMK y con otros agentes reductores del colesterol, se observó un efecto sinérgico hipocolesterolemia en comparación con la administración de suplementos con GMK solo. De igual manera se probó un suplemento que contiene cantidades iguales de GMK y quitosán, se sugiere que este suplemento es un agente reductor del colesterol potente, pero no fue posible atribuirlo únicamente al GMK (Chua et al., 2010).

En otro estudio, se investigó el efecto del GMK en un suplemento combinado con esteroides vegetales sobre el perfil lipídico, así como la biosíntesis de colesterol en individuos hipercolesterolémicos y diabéticos (tipo 2). En general, las concentraciones de lipoproteínas de alta densidad en plasma se redujo significativamente después de suministrar GMK solo o combinado en comparación con el control (Chua et al., 2010).

También se ha estudiado la eficacia terapéutica de ácido hidroxycítrico, un bloqueador competitivo de ATP-citrato-licasa extraído de *Garcinia cambogia* más GMK en el tratamiento de la obesidad. Se observó una reducción significativa en el colesterol total y lipoproteínas de alta densidad. Además, el efecto hipolipemiante de la administración conjunta fue cuantitativamente similar a la reportada para las estatinas, un inhibidor competitivo de la HMG-CoA reductasa específicamente destinado a reducir la síntesis de lipoproteínas de baja densidad en el hígado. A pesar de que las estatinas son actualmente consideradas en el tratamiento de referencia para la hiperlipidemia, no es una panacea para el tratamiento en pacientes con riesgo de enfermedad hepática y con un elevado consumo de alcohol (Chua et al., 2010).

#### **3.4.4. Anti-estreñimiento**

Otro efecto terapéutico que se consigue con la ingestión de GMK es la mejoría de los cuadros clínicos de estreñimiento crónico. Se ha reportado que el consumo de esta fibra (3-4 gramos diarios de fibra, 10 días-3 meses), contribuye a normalizar el ritmo de evacuación intestinal y favorece la producción de heces blandas y voluminosas. Esto ha sido justificado por el aumento de la masa bacteriana que se produce en el colon, y aunque el GMK no se hidroliza por las enzimas del tracto gastrointestinal humano, sí es desdoblado en el colon por las enzimas bacterianas. Éstas degradan el glucomanano mediante fermentación anaerobia, dando lugar a la formación de gases y ácidos grasos de cadena corta: acético, propiónico y butírico (González-Canga et al., 2004). Los mecanismos responsables de los efectos laxantes de las fibras dietéticas incluyen el aumento del contenido en el colon que lleva a propulsión que promueve la defecación; la estimulación de la motilidad del colon por fibras y productos finales de la fermentación de la fibra (prebiótico), así como un aumento en el movimiento intestinal. En un estudio donde se aplicó 1.5 g de GMK/comida, aumentó significativamente la media de la defecación (Chua et al., 2010).

### **3.4.5. Efecto prebiótico**

Se examinó el efecto del GMK y sus respectivos oligosacáridos (OGMK) producidos por hidrólisis ácida, en la microflora fecal de ratones, donde se observó un aumento significativo de bifidobacterias, en comparación con un control de celulosa. Por el contrario, disminuyó significativamente la presencia de *Clostridium perfringens*. Estos datos sugieren que la suplementación de la dieta con 5% de GMK o OGMKO durante 4 semanas es suficiente para mejorar la población de bifidobacteria, asociada con una disminución de *C. perfringens* y *Escherichia coli*. En investigaciones con OGMK obtenidos vía enzimática, también se observó un crecimiento de todas las cepas y en el tamaño de las colonia, ya que fueron significativamente más grandes que las cultivadas con oligosacáridos de pectina, xilano o inclusive de inulina (Chua et al., 2010).

El efecto prebiótico del GMK también se ha demostrado en seres humanos sanos y en adultos estreñidos, lo anterior ha sido atribuido al incremento de la fermentación ácida (principalmente acetato y lactosa) y la secreción de sustancias antimicrobianas, incluidas las de los OGMK, además del aumento de la concentración de ácidos grasos de cadena corta y la disminución del pH fecal (Chua et al., 2010; Connolly, Lovegrove & Tuohy, 2010).

### **3.4.6. Antiinflamatorio**

Además de los efectos terapéuticos documentados del GMK como se ha mencionado anteriormente, la investigación se ha centrado también en el tratamiento de enfermedades tales como la dermatitis atópica, el asma y la rinitis alérgica. En el caso de la inflamación de piel usando 5% de GMK (pulverizado), durante 8 semanas, se disminuyó la producción de hiperinmunoglobulina, a través de una citocina reguladora. También se observó efecto en hiperqueratosis, mastocitosis cutánea y eosinofilia (Chua et al., 2010).

### **3.4.7. Excipiente de fármacos**

Finalmente otra de las aplicaciones medicinales está enfocada en modificaciones del GMK para ser usado como excipiente natural de fármacos,

principalmente para tratar enfermedades del colon o para fármacos que se absorben en el colon, considerando su biocompatibilidad, baja toxicidad y alta estabilidad (Alvarez-Manceño et al., 2008). Algunos ejemplos fueron descritos recientemente, entre los que se encuentran la formación de un polímero superabsorbente de ácido acrílico-caolín-GMK, diferentes hidrogeles, mezclas con goma xantana o alginato de sodio, quitosan con GMK oxidado y nano partículas de GMK-hidroxipropilmetilcelulosa (Zhang et al., 2014).

### 3.5. Conclusión

El GMK es un aditivo de origen natural, que por su alta viscosidad o facilidad para formar geles, presenta potenciales aplicaciones en la industria de alimentos como farmacéutica, con amplios beneficios a la salud.

### Agradecimientos

A la DGAPA, UNAM, por el apoyo recibido en el Programa de apoyo a proyectos de investigación e innovación tecnológica, PAPIIT IN118214 «Propiedades reológicas y fisicoquímicas de biomoléculas funcionales de interés en la formación de sistemas coloidales alimenticios».

### Referencias

- Agoub, A.A., Smith, A.M., Giannouli, P., Richardson, R.K., & Morris, E.R. (2007). «Melt-in-the-mouth» gels from mixtures of xanthan glucomannan under acidic conditions: A rheological and calorimetric study of the mechanism of synergist gelation. *Carbohydrate Polymers*, 69, 713-724. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.02.014>
- Alonso-Sande, M., Teijeiro-Osorio, D., Remuñan-López, C., & Alonso, J. (2009). Glucomannan, a promising polysaccharide for biopharmaceutical purposes. *European Journal Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 72, 453-462. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2008.02.005>

- Alvarez-Manceño, F.J., Landin M., Lacik I., & Martínez-Pacheco, R. (2008). Konjac glucomannan and konjac glucomannan/xanthan gum mixtures as excipients for controlled drug delivery systems. *Diffusion of small drugs. International Journal of Pharmaceutics*, 349, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2007.07.015>
- Amini-Sarteshnizi, R., Hosseini, H., Mousavi-Khaneghah, A., & Karimi, N. (2015). A review on application of hydrocolloids in meat and poultry products. *International Food Research Journal*, 22: 872-887.
- Chua, M., Baldwin, T.C., Hocking, T.J., & Chan K. (2010). Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophallus konjac* K. Koch ex N.E.Br. *Journal of Ethnopharmacology*, 128, 268-278. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.01.021>
- Chua, M., Chan, K., Hocking T.J., Williams, P.A., Perry, C.J., & Baldwin, T.C. (2012). Methodologies for the extraction and analysis of konjac glucomannan from corms of *Amorphophallus konjac* K. Koch. *Carbohydrate Polymers*, 87, 2202-2210. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.10.053>
- Connolly, M.L., Lovegrove, J.A., & Tuohy, K.M. (2010). Konjac glucomannan hydrolysate beneficially modulates bacterial composition and activity within the faecal microbiota. *Journal of Functional Foods*, 2, 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.05.001>
- Davé, V., & McCarthy, S.P. (1997). Review of konjac glucomannan. *Journal of Environmental Polymer degradation*, 5, 237-240.
- Fitzpatrick, P., Meadows, J., Ratcliffe, I., & Williams, P.A. (2013). Control of the properties of xanthan/glucomannan mixed gels by varying xanthan fine structure. *Carbohydrate Polymers*, 92, 1018-1025. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.049>
- Fitzsimons, M.S., Tobin, T.J., & Morris, R.E. (2008). Synergistic binding of konjac glucomannan to xanthan on mixing at room temperature. *Food Hydrocolloids*, 22, 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.023>
- González-Canga, A., Fernández-Martínez, N., Sahagún, A.M., García-Vieitez, J.J., Díez-Liéban, M.J., Calle-Pardo, A.P., Castro-Robles, L.J., & Sierra-Vega, M. (2004). Glucomanano de konjac: propiedades y aplicaciones terapéuticas. *Nutrición Hospitalaria*, 19, 45-50.

- Huang, L., Takahashi, R., Kobayashi, S., Kawase, T., & Nishinari, K. (2002). Gelation behavior of native and acetylated konjac glucomannan. *Biomacromolecules*, 3, 1296-1303. <https://doi.org/10.1021/bm0255995>
- Harding, S.E., Smith, I.H., Lawson, C.J., Gahler, R.J., & Wood, S. (2011). Studies on macromolecular interactions in ternary mixtures of konjac glucomannan, xanthan gum and sodium alginate. *Carbohydrate Polymers*, 83, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.035>
- Jiménez-Colmenero, F., Cofrades, S., Herrero, A., Solas, M., & Ruiz-Capillas, C. (2013). Konjac gel for use as potential fat analogue for healthier meat product development: Effect of chilled and frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 30, 351-357. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.06.015>
- Jin, W., Mei, T., Wang, Y., Xu, W., Li, J., Zhou, B., & Li, B. (2014a). Synergist degradation of konjac glucomannan by alkaline and thermal method. *Carbohydrate Polymers*, 99, 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.029>
- Jin, W., Xu, W., Li, Z., Li, J., Zhou, B., Zhang, C., & Li, B. (2014b). Degraded konjac glucomannan by  $\gamma$ -ray irradiation assisted with ethanol: Preparation and characterization. *Food Hydrocolloids*, 36, 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.005>
- Keithley, J., & Swanson B. (2005). Glucomannan and obesity: a critical review. *Alternative Therapies*, 11, 30-34.
- Kobayashi, S., Tsujihata, S., Hibi, N., & Tsukamoto Y. (2002). Preparation and rheological of carboxymethyl konjac glucomannan. *Food Hydrocolloids*, 16, 289-294. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00101-1)
- Kohyama, K., Lida, H., & Nishinari, K. (1993). A mixed system composed of different molecular weights konjac glucomannan and kappa carrageenan: large deformation and dynamic viscoelastic study. *Food Hydrocolloids*, 7, 213-226. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80173-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80173-2)
- Kohyama, K., Sano, Y., & Nishinari, K. (1996). A mixed system composed of different molecular weights konjac glucomannan and K-carrageenan. II. Molecular weight dependence of viscoelasticity and thermal properties. *Food Hydrocolloids*, 10, 229-238. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(96\)80039-7](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(96)80039-7)

- Lamkey, J.W. (2009). Nonstarch hydrocolloids. En R. Tarté (Ed.). *Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality and Applications* (57-81). Berlin, Germany: Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71327-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71327-4_3)
- Leuangasukrer, M., Phupoksakul, T., Tananuwong, K., Borompichaichartkul, C., & Janjarasskul, T., (2014). Properties of konjac glucomannan-whey protein isolate blend films. *LWT – Food Science and Technology*, 59, 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.029>
- Li, J., Wang Y., Jin, W., Zhou, B., & Li, B. (2014). Application of micronized konjac gel for fat analogue in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 35, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.010>
- Liang, S., Li, B., Ding, Y., Xu, B.L., Chen, J., Zhu, B., Ma, M.H., Kennedy, J.F., & Knill, C.J. (2011). Comparative investigation of the molecular interactions in konjac gum/hydrocolloid blends: concentration addition method (CAM) versus viscosity addition method (VAM). *Carbohydrate Polymers*, 83, 1062-1067. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.026>
- Lin K.W., & Huang, H.Y. (2003). Konjac/gellan gum mixed gels improve the quality of reduced-fat frankfurters. *Meat Science*, 65, 749-755. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00277-2](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00277-2)
- Lin, X., Wu, Q., Luo, X., Liu, F., Luo, X., & He, P. (2010). Effect of degree of acetylation on thermoplastic and melt rheological properties of acetylated konjac glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 82, 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.053>
- Luo, X., He, P., & Lin, X. (2013). The mechanism of sodium hydroxide solution promoting the gelation of konjac glucomannan (KGM). *Food Hydrocolloids*, 30, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.012>
- Mei, T., Xu, X., Li, B., Li, J., Cui, B., Zhou, B., & Ablaye, W. (2011). Synergistic interaction of konjac glucomannan and gellan gum investigated by rheology and texture analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 125, 1363-1370. <https://doi.org/10.1002/app.35247>

- Nishinari, K., Williams, P.A., & Phillips, G.O. (1992). Review of the physico-chemical characteristics and properties of konjac mannan. *Food Hydrocolloids*, 6, 199-222. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80360-3](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80360-3)
- Nishinari, K., Miyoshi, E., Takaya, T., & Williams, P.A. (1996). Rheological and DSC studies on the interaction between gellan gum and konjac glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 30, 193-207. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(96\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00092-6)
- He, P., Luo, X., Lin, X., & Zhang, H. (2012). The Rheological Properties of Konjac Glucomannan (KGM) Solution. *Materials Science Forum*, 724, 57-60. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.724.57>
- Shen, D., Wan, C., & Gao, S. (2010). Molecular weight effects on gelation and rheological properties of konjac glucomannan-xanthan mixtures. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 48, 313-321. <https://doi.org/10.1002/polb.21890>
- Tatirat, O., & Charoenrein, S. (2011). Physicochemical properties of konjac glucomannan extracted from konjac flour by a simple centrifugation process. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 2059-2063. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.019>
- Tatirat, O., Charoenrein, S., & Kerr, W.L. (2012). Physicochemical properties of extrusion-modified konjac glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1545-1551. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.052>
- Wang, K., & He, Z. (2002). Alginate-konjac glucomannan-chitosan beads as controlled release matrix. *International Journal of Pharmaceutics*, 244, 117-126. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(02\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(02)00324-1)
- Wang, C., Xu, M., Lv, W., Qiu, P., Gong, Y., & Li, D. (2012). Study on rheological behavior of konjac glucomannan. *Physics Procedia*, 33, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.05.026>
- Wang, S., Zhan, Y., Wu, X., Ye, T., Li, Y., Wang, L., Chen, Y., & Li, B. (2014). Dissolution and rheological behavior of deacetylated konjac glucomannan in urea aqueous solution. *Carbohydrate Polymers*, 101, 499-504. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.090>

- Williams, M.A.K., Foster, T.J., Martin, D.R., Norton, I.T., Yoshimura, M., & Nishinari, K. (2000). A molecular description of the gelation mechanism of konjac mannan. *Biomacromolecules*, 1, 440-450. <https://doi.org/10.1021/bm005525y>
- Xiao, C., Gao, S., & Zhang, L. (2000). Blend films from konjac glucomannan and sodium alginate solutions and their preservative effect. *Journal of Applied Polymer Science*, 77, 617-626. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000718\)77:3<617::AID-APP17>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000718)77:3<617::AID-APP17>3.0.CO;2-1)
- Xu, W., Wang, S., Ye, T., Jin, W., Liu, J., Lei, J., Li, B., & Wang, C. (2014). A simple and feasible approach to purify konjac glucomannan from konjac flour-temperature effect. *Food Chemistry*, 158, 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.093>
- Xu, X., Li, B., Kennedy, J.F., Xie, B.J., & Huang, M. (2007). Characterization of konjac glucomannan-gellan gum blend films and their suitability for release of nisin incorporated therein. *Carbohydrate Polymers*, 70, 192-197. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.03.017>
- Yang, J., Xiao, J., & Ding, L. (2009). An investigation into the application of konjac glucomannan as a flavor encapsulant. *European Food Research and Technology*, 229, 467-474. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1084-2>
- Yaseen, E.I., Herald, T.J., Aramouni, F.M., & Alavi, S. (2005). Rheological properties of selected gum solutions. *Food Research International*, 38, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.01.013>
- Ye, T., Wang, L., Xu, W., Liu, J., Wang, Y., Zhua, K., Wang, S., Li, B., & Wang, C. (2014). An approach for prominent enhancement of the quality of konjac flour: Dimethyl sulfoxide as medium. *Carbohydrate Polymers*, 99, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.038>
- Yin, W., Zhang, H., Huang, L., & Nishinari, K. (2008). Effects of the lyotropic series salts on the gelation of konjac glucomannan in aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 44, 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.01.016>
- Yoshimura, M., & Nishinari, K. (1999). Dynamic viscoelastic study on the gelation of konjac glucomannan with different molecular weights. *Food Hydrocolloids*, 13, 227-233. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(99\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(99)00003-X)

- Zhang, C., Chen, J., & Yang, F. (2014). Konjac glucomannan, a promising polysaccharide for OCDDS. *Carbohydrate Polymers*, 104, 175-181. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.081>
- Zhang, H., Yoshimura, M., Nishinari, K., Williams, M.A.K., Foster, T.J., & Norton, I.T. (2001). Gelation behaviour of konjac glucomannan with different molecular weights. *Biopolymers*, 59, 38-50. [https://doi.org/10.1002/1097-0282\(200107\)59:1<38::AID-BIP1004>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/1097-0282(200107)59:1<38::AID-BIP1004>3.0.CO;2-A)
- Zhang, Y., Xie, B., & Gan, X. (2005). Advance in the applications of konjac glucomannan and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 60, 27-31. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.11.003>
- Zhao, X., Jing, Li, J., Jin, W., Geng, X., Xu, W., Ye, T., Lei, J., Li B., & Wang L. (2015). Preparation and characterization of a novel pH-response dietary fiber: Chitosan-coated konjac glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 117, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.09.038>