

Estudio del comportamiento reológico de soluciones acuosas de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica* L. Mill). Parte I: Propiedades de flujo.

Claudia Quinzio^{1,2}, Beatriz López de Mishima¹, Laura Iturriaga^{1,2}

(1) *Instituto de Ciencias Químicas, Facultad de Agronomía y Agroindustria, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

(2) *Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

cmquinzio@hotmail.com

RESUMEN: El mucílago de la tuna es un polisacárido complejo presente en los tallos de las plantas de *Opuntia ficus indica* (L. Mill). Las propiedades reológicas de soluciones acuosas de mucílago fueron estudiadas y comparadas con las de soluciones de hidrocoloides comerciales (HC), tales como goma Guar (GG), goma Xantica (GX) y Carboximetilcelulosa (CMC). Se evaluó la viscosidad intrínseca $[\eta]$, las propiedades de flujo en función de la concentración, de la fuerza iónica y del pH. Las propiedades de flujo se evaluaron en un rango de velocidades de cizalla de 1-100 s⁻¹ aplicadas durante 2 minutos. Los resultados mostraron que la $[\eta]$ del MP fue del orden de la de GG. Las soluciones de MP y de los HC mostraron un comportamiento pseudoplastico, que se incrementó con el incremento de la concentración. Las curvas de flujo fueron ajustadas con el modelo de Ostwald de Waele.

1 INTRODUCCIÓN

Los biopolímeros, también llamados hidrocoloides por su habilidad para disolverse en agua, están presentes en forma natural o agregados en los alimentos y son capaces de conferir textura y modificar las propiedades de los mismos. Los polisacáridos más utilizados son: almidones, derivados de celulosa, extractos de algas marinas, exudados de plantas, gomas de semillas, extractos de plantas y las gomas microbianas (Whistler, 1993). En la actualidad; los nuevos aportes de la química a nivel molecular, como así también el conocimiento de las propiedades funcionales de los polisacáridos ha permitido la selección del biopolímero más apropiado para las necesidades específicas de la industria.

En la actualidad, el conocimiento de las propiedades funcionales de los polisacáridos es considerable. Sin embargo, la búsqueda de nuevas fuentes de polisacáridos, con mejores propiedades funcionales o que presenten nuevas interacciones sinérgicas es permanente.

Los polisacáridos obtenidos a partir de extractos de plantas son una interesante fuente de aditivos para varias industrias, en particular para la alimentaria. Estos polímeros tienen la ventaja de ser considerado como totalmente naturales.

Una fuente alternativa regional es un muco polisacárido llamado mucílago, que se extrae del tejido parenquimático de los cladodios (tallos) de la planta de tuna (*Opuntia ficus indica* L. Mill) (Cárdenas et al., 1997). Se trata de un polielectrolito complejo de alto peso molecular (Ting, 1997), cuya estructura química contiene residuos de arabinosa, galactosa, ácido galacturónico, ramnosa y xilosa (McGarvie & Parolis, 1979). Es soluble en agua y su configuración en solución correspondería a la de un ovillo estadístico (Cardenas, et al 1997; Medina Torres et al., 2000).

Los polisacáridos obtenidos de las cactáceas, se han utilizado empíricamente para modificar las propiedades reológicas de algunos productos (Pimienta-Barrios, 1991), debido a su capacidad de retención de agua lo que les permite producir geles o soluciones de alta viscosidad. Se sabe que estas propiedades dependen de la estructura química de los polisacáridos que componen los exudados y de su conformación en el disolvente (Whistler, 1993). Aunque se han reportado varios estudios sobre la estructura química y la composición de algunos de estos polisacáridos (McGarvie & Parolis, 1979), prácticamente no hay información sobre sus propiedades funcionales.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar las propiedades reológicas de soluciones acuosas de mucílago (*Opuntia ficus indica*). Esta información es necesaria con el fin de obtener una perspectiva sobre las propiedades funcionales de este biopolímero. Se estudió los efectos de la concentración, la fuerza iónica y el pH sobre las propiedades de flujo de las soluciones de mucílago.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se usaron plantas de tuna (*Opuntia ficus indica* L.Mill) procedentes del cultivar El Zanjón perteneciente a la Facultad de Agronomía y Agroindustria de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, para la obtención del mucílago de tuna.

Se utilizaron con fines comparativos los siguientes hidrocoloides comerciales (HC): Goma Guar (GG), Goma Xántica (GX) y Goma Carboximetilcelulosa (CMC).

2.2 Obtención del mucílago

Se extrajo el exudado natural de tejido parenquimático de cladodios trozados de dos años de edad, el cual fue centrifugado a 10.000 rpm durante una hora. El sobrenadante (mucílago nativo, MN) se precipitó con cinco volúmenes de alcohol (MP). Posteriormente el precipitado fue secado en estufa a 60°C hasta peso constante. Para la extracción del exudado natural se empleó un extrusor diseñado especialmente.

2.3 Preparación de las soluciones

La viscosidad intrínseca se determinó preparando diluciones de mucílago de concentración (C) 0,02, 0,04, 0,06 y 0,1 gr/dl en agua destilada.

Para la caracterización reológica de las soluciones se prepararon soluciones acuosas de MP, GG, GX y CMC a diferentes concentraciones: 0,5% p/v, 1% p/v y 1,5% p/v, disolviendo la cantidad requerida del biopolímero seco en agua destilada. Las soluciones fueron agitadas con un agitador magnético durante 6 hs a temperatura ambiente. Las soluciones se dejaron reposar durante 24 hs a 4°C para asegurar la completa disolución de los polisacáridos.

2.4 Viscosidad intrínseca:

Se evaluó la viscosidad intrínseca del MP utilizando un viscosímetro capilar modelo Ubbelohde inmerso en un baño de agua a 25°C ±

0.05. Se midió el tiempo de escurrimiento de cada una de las soluciones. También se hicieron las evaluaciones con agua destilada (t_0).

Con los datos obtenidos se calculó la viscosidad relativa (η_{rel}), viscosidad específica (η_{sp}), viscosidad inherente (η_{inh}) y viscosidad reducida (η_{red}), aplicando las ecuaciones:

Viscosidad relativa

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} \quad (1)$$

donde η es la viscosidad de la solución de polímero y η_0 es la viscosidad del disolvente puro.

Viscosidad específica

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \quad (2)$$

Viscosidad reducida

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (3)$$

donde c es la concentración de polímero. Ésta es una medida de la habilidad de un polímero para aumentar la viscosidad de un disolvente.

Viscosidad inherente

$$\eta_{inh} = \frac{\ln \eta_r}{c} \quad (4)$$

Aun en soluciones muy diluidas las moléculas de polímero son capaces de interacciones intermoleculares. Las dos contribuciones a la viscosidad reducida son el movimiento de las moléculas aisladas en el disolvente y la interacción entre las moléculas del polímero y la solución. Para eliminar las interacciones es necesario extrapolar a concentración cero para obtener las viscosidades inherente y reducida comúnmente conocidas como viscosidad intrínseca

$$[\eta] = (\eta_{red})_{c \rightarrow 0} = (\eta_{inh})_{c \rightarrow 0} \quad (5)$$

La viscosidad intrínseca $[\eta]$ del mucílago se obtuvo mediante el ajuste lineal de las ecuaciones de Huggins y Kraemer a los datos de η_{inh} y η_{red} en función de C . El valor de la viscosidad intrínseca corresponde a la ordenada en el origen en ambos ajustes.

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta]_H + K_H [\eta]^2_H c \quad (6)$$

$$\frac{\ln \eta_r}{c} = [\eta]_K - K_K [\eta]^2_K c \quad (7)$$

2.5 Comportamiento al flujo de soluciones de mucilago e hidrocoloides comerciales

Se evaluó el efecto de la concentración sobre las propiedades de flujo de soluciones de MP y se lo comparó con el comportamiento de GG, GX y CMC.

La viscosidad aparente fue medida en un reómetro TA Instruments AR1000 modo rotacional (New Castle, DE197020), con una geometría cono-plato de acero inoxidable de 60 mm de diámetro y ángulo de 2°, accionado a través del software TA instrument- Water LLC 109 Lukens Drive. Las curvas de viscosidad se determinaron mediante un programa de un solo paso (0 s⁻¹ a 100 s⁻¹) aplicado durante 2 minutos y a 25° C. La recolección de datos se realizó a través del software Rheology Advantage Data Analysis, versión 5.2.18.

Las curvas experimentales fueron modeladas usando el modelo de Ostwald- de Waele (Brito-De LaFuente, et al, 1997).

$$\eta = k\gamma^{n-1} \quad (8)$$

donde, k es el coeficiente de consistencia [Pa sⁿ], γ es la velocidad de corte [s⁻¹] y n es el índice de comportamiento de flujo.

También se evaluó el efecto del pH y de la fuerza iónica sobre las propiedades de flujo de soluciones de MP al 1,5% p/v. El rango de pH empleados estuvo comprendido entre 3 y 11.

Se utilizaron diferentes concentraciones de K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, para obtener la fuerza iónica (I) deseada, las mismas variaron entre 0 y 0,6 M. Para todas las medidas reológicas, los valores reportados son los valores medios de tres repeticiones.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Fig. 1 muestra las curvas correspondientes al ajuste de las ecuaciones de Huggins (Ecuación 6) y Kraemer (Ecuación 7), respectivamente del MP. Los valores promedio de las viscosidades intrínsecas encontradas fueron $[\eta]_H$ (dL/gr) 22,77 ± 1,01 y $[\eta]_K$ (dL/gr) 20,23 ± 1,31. Un valor de viscosidad intrínseca grande está relacionado con un volumen hidrodinámico grande o un peso molecular grande y también con un gran poder espesante (Glicksman, 1982).

Cárdenas, et al, (1997) estimaron el peso molecular del mucilago de *Opuntia ficus-indica* por cromatografía de exclusión y determinaron una masa molecular media en peso (M_w) de 3 x 10⁶ y un número promedio de masa molecular (M_n) de 2.4 x 10⁴.

Los primeros trabajos realizados sobre las propiedades funcionales de la goma *Opuntia ficus indica* son los referentes a Trachtenberg & Mayer (1982). Estos autores reportaron que el mucilago purificado es una molécula constituida por un heteropolisacárido de alto peso molecular con variación en el contenido de ácido urónico y cuya viscosidad intrínseca en solución acuosa reporta valores en un intervalo de 15-20 dL/g, los que son similares a los encontrados en el presente trabajo. Además estos autores sugieren que esta molécula es polielectrolítica y cargada negativamente. La viscosidad intrínseca refleja las interacciones del polímero con el solvente.

Azero & Andrade (2002) determinaron la viscosidad intrínseca a 25 °C para GG ($[\eta]$ 10,30 dL/g), empleando un reómetro con geometría de cilindros concéntricos. Khouryieh et al. (2007), utilizando un reómetro capilar oscilante, obtuvieron una estimación de la viscosidad intrínseca de 12 dL/g para GG a partir del intercepto de la función de Huggins.

Más recientemente Wu et al. (2009) determinaron la viscosidad intrínseca y el peso molecular de cuatro galactomananos, los datos se muestran en la tabla 1. Se observa que los valores de viscosidad intrínseca de estos galactomananos son del mismo orden de magnitud que MP. Los pesos moleculares también son del mismo orden de magnitud que los determinados para el mucilago mediante diferentes métodos.

La Fig. 2 muestra las curvas de viscosidad obtenidas para MP a distintas concentraciones. Se observa que todas las soluciones presentaron un comportamiento de fluido no-Newtoniano. La viscosidad disminuye con el aumento de la velocidad de cizalla, dando lugar a lo que se conoce como pseudoplasticidad o comportamiento de adelgazamiento al corte. La disminución de la viscosidad se atribuye a la alineación de las partículas dispersas en la dirección del flujo (Vardhanabhuti & Ikeda, 2006). El aumento de la velocidad de cizallamiento da lugar a que las largas y desordenadas cadenas de moléculas del polímero se alinean en la dirección del flujo y en consecuencia exista una menor interacción entre las cadenas adyacentes del polímero (Koocheki et al., 2009).

En la figura también se observa que la concentración de polisacárido en solución afecta

directamente la viscosidad y el grado de pseudoplasticidad (Sutherland, 1994). Pequeños cambios en esta variable están asociados a grandes cambios en la viscosidad de los sistemas así como a cambios en el comportamiento viscoelástico (Whistler, 1993). Esto puede explicarse teniendo en cuenta que a mayor concentración aumenta el grado de interacción entre las cadenas poliméricas (Launay et al., 1986), lo cual da origen a sistemas macromoleculares cada vez más enredados y con menor movilidad, resultando en un incremento de la viscosidad (Bhattacharya et al., 1982)

En el caso de los sistemas de GG, (Fig. 3) la solución menos concentrada (0,5% P/V) presentó un comportamiento newtoniano a un régimen de tasa de cizallamiento relativamente bajo y un comportamiento de adelgazamiento al corte cuando el régimen de velocidad de cizallamiento fue de intermedio a alto. Es de suponer que el entrelazamiento intermolecular no se alteró significativamente cuando la velocidad de cizallamiento fue menor. Los enlaces abiertos durante el cizallamiento a baja velocidad vuelven a su estado original dentro de un periodo de tiempo corto. Cuando la velocidad de cizallamiento aumenta, la red enredada se altera significativamente y no puede recuperarse dentro de un corto período de tiempo (Chauveteau, 1982), como resultado se observa un comportamiento pseudoplastico (Dakia, et al, 2008; Mao & Chen, 2006) La velocidad de cizallamiento que marca la transición del comportamiento newtoniano a la región de comportamiento pseudoplástico, se define como la velocidad de cizalla crítica ($\dot{\gamma}_c$) (Fijan et al., 2009). La presencia de las dos regiones ha sido descrita previamente para dispersiones acuosas de galactomananos (Ellis et al., 2001; Morris et al., 1981). La longitud del plateau es tanto menor cuanto más alta es la concentración del polímero, obteniendo en correspondencia, una disminución en los valores de la velocidad de cizalla crítica ($\dot{\gamma}_c$), a medida que aumenta la concentración; esto pudo observarse en las soluciones de GG más concentradas (1,5; 1% P/V). Un comportamiento similar ha sido descrito para otros galactomananos a diferentes concentraciones (Sittikijyothin et al., 2005).

La viscosidad de muchos polisacáridos cuya conformación es de ovillo estadístico es dependiente de la velocidad de cizallamiento a altas concentraciones, mientras que el comportamiento de flujo newtoniano se observa a concentraciones bajas (Brummer, et al, 2003; Xu, et al, 2009).

Respecto a las soluciones de GX se sabe que estas presentan propiedades de flujo peculiares

con un marcado comportamiento pseudoplastico, como se observa en la fig. 4. No se observa el cambio de comportamiento newtoniano a pseudoplastico, ya que en el rango de velocidad de cizalla estudiado solo se detectó el comportamiento pseudoplastico. Es posible suponer que GX presenta una velocidad de cizallamiento crítica muy baja, lo que se atribuye a su propensión a ser orientada bajo cizallamiento a causa de su conformación extendida y semirrígida (Launay et al., 1997). El carácter pseudoplástico de la XG es más pronunciado que el de otros sistemas polisacáridos debido a su excepcional rigidez, conformación tipo varilla que es más sensible al cizallamiento que una conformación de ovillo estadístico (Urlacher & Noble, 1997)

En la Fig. 5 se observa que la dependencia de la viscosidad aparente de los sistemas de CMC con la velocidad de cizalla presentó dos regiones diferenciadas: en una primera región de velocidades bajas y medias los sistemas mantienen constante la viscosidad aparente (comportamiento newtoniano), mientras que a velocidades mayores presentaron un comportamiento pseudoplástico. Es de destacar que la solución de CMC al 0,5% P/V presentó un comportamiento independiente de la velocidad de cizalla (comportamiento newtoniano) en todo el rango de velocidad de cizalla estudiado. Estas tendencias fueron asimismo descritas por El Ghzaoui et al., (2001), trabajando con disoluciones de metilcelulosa en rangos de concentración similares.

La Tabla 2 muestra los valores de los parámetros obtenidos al modelar las curvas de flujo aplicando el modelo de Ostwald-de-Waele. En la misma se observa que el mucílago al igual que los hidrocoloides comerciales presentó un comportamiento típico pseudoplástico, en todos los casos ($0 < n < 1$), disminuye la viscosidad al aumentar el gradiente de velocidad aplicado. Además el valor del índice de flujo (n) disminuyó a medida que se aumentó la concentración.

Los valores de K y n obtenidos para MP fueron del mismo orden que los citados por Medina-Torres et al. (2000). En su trabajo estos autores informan valores de K entre 0,15 a 25,47 Pa.sⁿ y de entre 0,56 a 0,22 cuando la concentración de las soluciones de mucílago variaron entre 1 y 10%.

Los resultados obtenidos indicaron que k fue mayor para la solución de GG que para las soluciones de MP en todo el rango de concentraciones estudiadas, mostrando a la GG como un hidrocoloide con mejores propiedades espesantes que el PM. Sin embargo a igual

concentración los valores de k de MP fueron mayores que los de las soluciones de CMC. Las soluciones de GX presentaron los valores de k más altos.

Los valores de n de GG decrecieron desde 0,47 a 0,28, siendo este resultado similar al informado por Wu, et al., (2009).

Los valores de n de GX la mostraron como la más pseudoplastic, la dependencia de la viscosidad con la tasa de cizallamiento es muy pronunciada, propia de moléculas rígidas. Las soluciones de CMC fueron las que presentaron una menor dependencia de la viscosidad con la velocidad de cizallamiento, características de moléculas lineales sustituidas.

MP presentó valores de n más altos que GG significando una mayor resistencia de MP a los incrementos de la velocidad de cizalla. Esto indicaría que la estructura molecular del mucilago podría ser más flexible que la de GG. Cuando la concentración de la solución de MP se incremento a 4,5% P/V, su comportamiento fue similar al de GX, comportándose como una molécula más rígida.

En la fig. 6 se observa que las soluciones de MP al 1,5 % no presentaron dependencia de su viscosidad respecto de la fuerza iónica. Medina Torres et al, 2000, reportaron que soluciones de mucilago al 5% presentaron dependencia con la fuerza iónica, produciéndose una disminución de la viscosidad con el incremento de la fuerza iónica. Estos autores sugieren que el mucilago es un polielectrolito cargado negativamente, sin embargo los ensayos realizados en este trabajo y bajo las condiciones ensayadas no se observó efecto de la fuerza iónica sobre la viscosidad.

La Fig. 7 muestra el comportamiento de la viscosidad aparente a 100 s^{-1} de una solución de MP al 1,5% en función del pH. Se puede apreciar que la viscosidad no sufre cambios significativos. Sin embargo Medina Torres et al (2000) informaron que incrementando el pH a una solución de mucilago al 5% esta sufría un incremento en su viscosidad aparente.

En cuanto a los otros hidrocoloides estudiados, la GG es un polisacarido no-iónico por lo tanto su viscosidad no se ve afectada por la fuerza iónica ni por los cambio de pH. GX y CMC son polisacáridos anionicos, por lo tanto su viscosidad depende del pH y la fuerza iónica del medio en donde son dispersados.

4. CONCLUSIONES

El mucilago presentó un valor de viscosidad intrínseca comparable al de hidrocoloides utilizados en la industria alimentaria.

Para todas las soluciones de MP, GG, GX y CMC y tal como sucede para muchas soluciones de polisacáridos la viscosidad disminuyó con el aumento de la tasa de cizallamiento. El comportamiento pseudoplastic se incremento con el incremento de la concentración.

Esto lo mostraría al MP como un hidrocoloide con capacidad viscosante, lo que permitiría su uso en la industria alimentaria como agente espesante y estabilizantes.

Figuras:

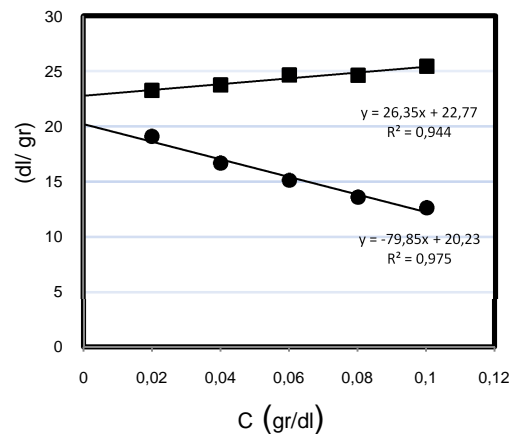


Figura 1: Determinación de la viscosidad intrínseca. Viscosidad reducida: MP, Viscosidad inherente: MP.

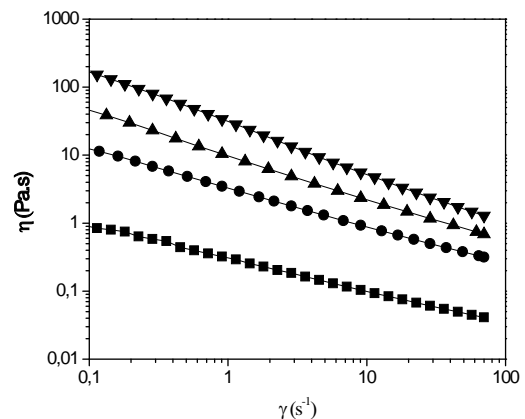


Figura 2: Viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla de soluciones de MP a 0,5 % p/v, 1% p/v, 1,5% p/v, 4,5% p/v.

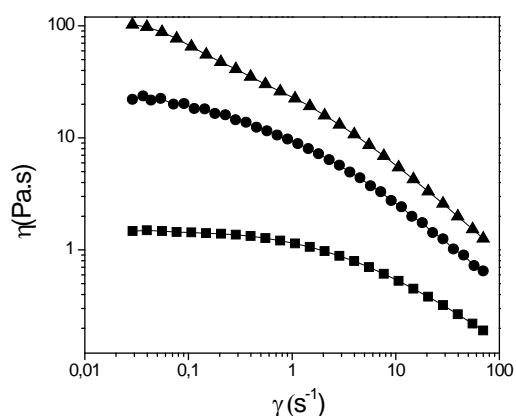


Figura 3: Viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla de soluciones de GG a 0,5 % p/v, 1% p/v, 1,5% p/v.

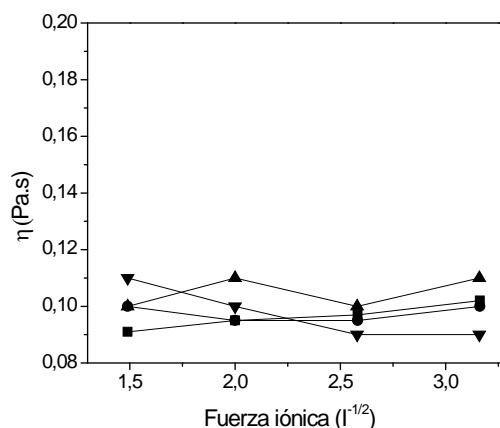


Figura 6: Viscosidad aparente en función de la fuerza iónica. Na+, K+, Mg++, Ca++.

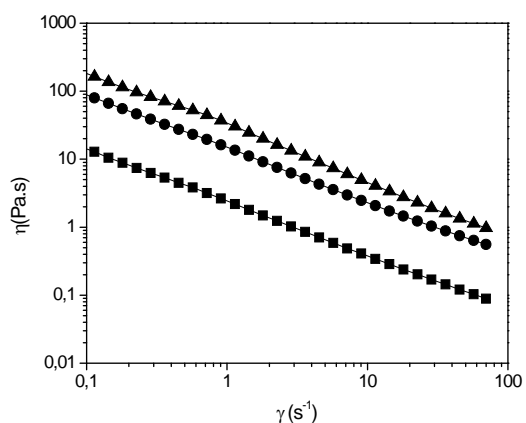


Figura 4: Viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla de soluciones de GX a distintas concentraciones: 0,5 % p/v, 1% p/v, 1,5% p/v.

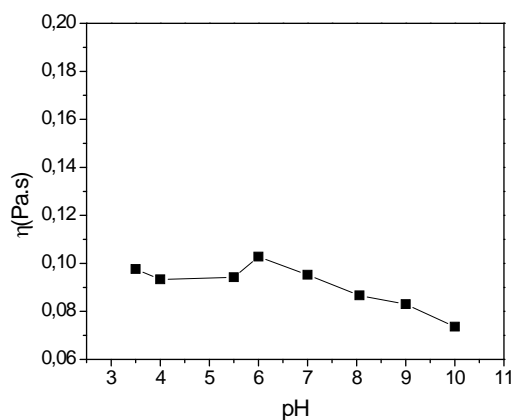


Figura 7: Viscosidad aparente en función de pH de MP.

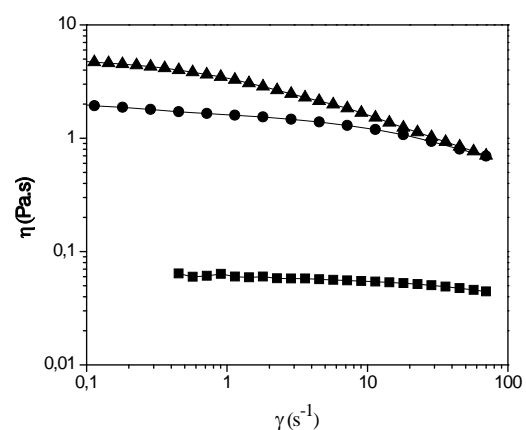


Figura 5: Viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla de soluciones de CMC a distintas concentraciones: 0,5 % p/v, 1% p/v, 1,5% p/v.

Tabla 1: Valores medios y desviación estándar de la viscosidad intrínseca y pesos moleculares viscosimétricos de diferentes Galactomananos.

HC	Goma Fenugreek	Goma Guar
η (dL/g)	$15,10 \pm 0,14$	$15,80 \pm 0,28$
M_v (10^6)	$3,23 \pm 0,03$	$2,91 \pm 0,05$
HC	Goma Tara	Goma de Algarroba
η (dL/g)	$14,55 \pm 0,07$	$14,20 \pm 0,28$
M_v (10^6)	$2,23 \pm 0,01$	$2,08 \pm 0,04$

Tabla 2: Coeficiente de consistencia (k) e índice de flujo (n) de soluciones de MP e hidrocoloides comerciales.

HC	C (% p/v)	$K (Pa \cdot s)^n$	n
MP	0,50%	0,303 ± 0,009	0,522 ± 0,002
	1%	3,311 ± 0,01	0,434 ± ,0008
	1,50%	9,781 ± 0,234	0,364 ± 0,001
	4,5%	19,912 ± 0,513	0,252 ± 0,009
GG	0,50%	1,85 ± 0,01	0,468 ± 0,003
	1%	13,449 ± 1,786	0,292 ± 0,03
	1,50%	29,089 ± 3,338	0,275 ± 0,02
GX	0,50%	2,348 ± 0,03	0,215 ± 0,005
	1%	14,494 ± 0,721	0,214 ± 0,005
	1,50%	30,392 ± 0,63	0,179 ± 0,001
CMC	0,50%	0,063 ± 0,009	0,933 ± 0,001
	1%	1,803 ± 0,017	0,803 ± 0,004
	1,50%	3,341 ± 0,126	0,656 ± ,0005

R^2 (coeficiente de determinación) estuvo entre 0,985 y 0,996.

5 REFERENCIAS

Azero, E.G. & C.T, Andrade, Testing procedures for galactomannan purification. *Polymer Testing*, 21, 551-556. 2002

Bhattacharya, K., M. Ghil, & I.L. Vulis, Internal variability of an energy-balance model with delayed albedo effects. *J. Atmos. Sci.*, **39**, 1747-1773. 1982

Brummer, Y., Cui, W., & Q, Wang, Extraction, purification and physicochemical characterization of fenugreek gum. *Food Hydrocolloids*, 17, 229–236. 2003

Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., F, Goycoolea,, Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 2, 152–157.1997.

Chauveteau, G. Rodlike polymer solution flow through fine pores: influence of pore size on rheological behavior. *Journal of Rheology*, 26, 111–142. 1982.

Dakia, P. A., Blecker, C., Roberta, C., Wathelata, B., & M, Paqueta, Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 22, 807–818. 2008.

De Brito-De La Fuente, E., Choplin, L., & P. A, Tanguy, *Transactions of the Institution of Chemical Engineers A*, 75, 52. 1997.

El Ghzaoui, A., Trompette, J.L., Cassanas, G., Bardet, L. & E., Fabregue, Comparative rheological behavior of some cellulosic ether derivatives. *Langmuir*, 17, 1453-1456. 2001.

Ellis P.R., Wang Q., Rayment, P., Ren, Y. & S.B., Ross-Murphy, Guar gum: agricultural andbotanical aspects, physicochemical and nutritional properties, and its use in the development of functional foods. En Sungsoo, S., Dreher, M.L. (Eds.), *Handbook of Dietary Fiber: an Applied Approach*, Marcel. Dekker Inc, New York. 2001

Fijan R., Basile M., Šostar-Turk S., Žagar E., Žigon M., & R., Lapasin,. A study of rheological and molecular weight properties of recycled polysaccharides used as thickeners in textile printing. *Carbohydrate Polymers*, 76, 8-16. DOI: 10.1016/j.carbpol.2008.09.027. 2009

Glicksman, M. *Food Hydrocolloids* (Vol. 1), CRC Press, Boca Raton. 1982.

Hu, C. L., Wilfor, S., Holmlund, P., & B. Holmbom, Rheological properties of water-soluble spruce O-acetyl galactoglucomannans. *Carbohydrate Polymers*, 75, 498-504.2009.

Khouryieh, H.A., Herald, T.J., Aramouni, F. & S, Alavi, Intrinsic viscosity and viscoelastic properties of xanthan/guar mixtures in dilute solutions: Effect of salt concentration on the polymer interactions. *Food Res. Int.*, 40, 883-893. 2007.

Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., & A. R, Taherian, Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seedas a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91, 490-496. 2009.

Launay, B., Doublier, I. & G. Cavalier, Flow properties of aqueous solution and dispersions of polysaccharides. En Mitchell, J.A. (Ed.), *Functional Properties of Food Macromolecules*, (pp. 1-78) Elsevier, New York. 1986.

Launay, B., Cuvelier, G., & S., Martinez-Reyes, Viscosity of locust bean, guar, and xanthan gum solutions in the Newtonian domain: acritical examination of the $\log(\eta_{sp})_o - \log C(\eta)_o$ master curves. *Carbohydrate Polymers*, 34, 385–395.1997.

Mao, C. F., & J. C.,Chen, Interchain association of locust bean gum in sucrose solutions: an interpretation based on thixotropic behavior. *Food Hydrocolloids*, 20, 730–739. 2006.

McGarvie, D., & H., Parolis, *Carbohydrate Research*, 69, 171–179. 1979.

Medina-Torres,L; E. Brito-De La Fuente, B. Torrestiana-Sanchez, & R. Kathhain, Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) *Food Hydrocolloids* 14 417–424. 2000.

Morris, E.R., Cutler, A.N., Ross-Murphy, S.B., Rees, D.A. & J., Price, Concentration and shear rate dependence of viscosity in random coil

- polysaccharides solutions. *Carbohydr. Polym.*, 1, 5-21. 1981.
- Pimienta, B. E, El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México.1990.
- Sittikijyothin W., Torres D. & M.P. Gonçalves , Modelling the rheological behaviour of galactomannan aqueous Solutions. *Carbohydr. Polym.*, 59, 339-350. 2005
- Ting I. P, Carbohydrate Metabolism in Cacto: Gums and Mucilage. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 2: 7-12. (1997).
- Trachtenbergs, S. & A.M, Mayer, Biophysical properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry* 21. 2835-2844. 1982.
- Vardhanabhuti, B., & S. Ikeda, Isolation and characterization of hydrocolloids from monoi (*Cissampelos pareira*) leaves. *Food Hydrocolloids*, 20, 885–891. 2006.
- Whistler, R.L. Introduction to industrial gums. En Whistler, R.L., BeMiller, J.N. (Eds.), *Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives*, Academic Press, San Diego. 1993.
- Wu, Y., Cui, W., Eskin, N.A.M. & H.D. Goff, An investigation of four comercial galactomannans on their emulsion and rheological properties. *Food Res. Int.*, 42, 1141-1146. 2009.
- Urlacher, B. & O. Noble . Thickening and Gelling Agents for Food, pp 284-311. Capitulo 13. Xanthan gum. 1997.