

POTENCIALES EFECTOS DE LA INGESTA DE FIBRAS SOLUBLES: ESTUDIO IN VITRO

*Natalia Vera C.
Magister en Ciencias de los alimentos.*

*Loreto Muñoz H.
Doctora en Ciencias e Ingeniería de los alimentos*



Algunas fibras dietarias, especialmente las solubles, han recibido especial atención debido a su capacidad para modificar las propiedades físicas de la digesta y a su estrecha relación con efectos fisiológicos positivos. Es así como el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la digestión sobre la viscosidad aparente y el grado de fragmentación y/o agregación de diferentes fibras solubles (goma guar, goma xanthan, pectina de alto metoxilo y mucílago de semillas de chia), empleando un sistema de digestión in vitro.



Introducción

Debido al alarmante aumento de personas que padecen enfermedades crónicas no transmisibles asociadas a una mal nutrición, es que tanto la industria alimentaria como investigadores se han enfocado en gran medida en desarrollar y potenciar ingredientes que contribuyan a prevenir y/o mitigar este tipo de enfermedades [1]. Bajo este contexto, es que ingredientes como la fibra dietaria han aumentado su consumo, al ser incorporados en diversos alimentos no sólo por sus propiedades tecnológicas, sino que también por sus efectos beneficiosos como prolongar la sensación de saciedad en el tiempo, disminuir la glucosa en sangre, disminuir el colesterol sanguíneo, producción de ácidos grasos de cadena corta con propiedades anticancerígenas producto de su fermentación en el intestino grueso, entre otras [2-4]. De acuerdo con diversos autores, los efectos positivos producidos por las fibras solubles (FDS) como las gomas, mucílago de chia y pectina, están estrechamente relacionados con su importante rol a nivel gastrointestinal y su capacidad para aumentar la viscosidad de la digesta; puesto que, este comportamiento tiende a generar un aumento del tiempo de tránsito intestinal produciendo un retraso en el vaciado gástrico afectando por tanto la sensación de saciedad y plenitud; por otro lado, también induce a minimizar la difusión de nutrientes como la glucosa, través de la membrana intestinal, ayudando a prevenir enfermedades como la diabetes tipo 2; o bien, induce a reducir los niveles de colesterol asociados a una mejora en la salud cardiovascular, reducción de la presión arterial, mejora de la salud del colon, entre otros [5-7].

Los efectos fisiológicos de las fibras solubles, si bien es consecuencia de su comportamiento a nivel gastrointestinal, este a su vez depende principalmente de sus propiedades fisicoquímicas como son: la capacidad de retención de agua y aceite, capacidad de absorción y adsorción de agua, y su solubilidad [8].

El propósito de esta investigación fue primero evaluar comparativamente las propiedades fisicoquímicas de cuatro fibras solubles estructuralmente diferentes: pectina, que presenta una cadena lineal compuesta por unidades de ácido α -(1-4)-D-galacturónico; goma guar, con una cadena principal constituida por unidades de β -(1-4)-D-manosa y residuos de α -(1-6)-D-galactosa; goma xanthan, con una cadena principal de β -(1-4)-glucosa con cadenas laterales trisacáridas constituidas por unidades de D-manosa, D-glucosa y ácido D-galacturónico; y mucílago de semilla de chia con una estructura tentativa de tetrapolisacárido compuesta por dos residuos de β -D-xylopiranosilo, un residuo de α -D-glucopiranosilo y una rama lateral compuesta por un residuo de ácido 4-O-metil- α -D-glucopiranosilurónico. Para luego comparar las propiedades reológicas y grado de fragmentación/agregación de cada fibra durante un proceso de digestión in vitro.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

La pectina de alto metoxilo (HM) de manzana, la goma xanthan de Xanthomonas y la goma guar se compraron en Sigma-Aldrich. El mucílago de chia se obtuvo a partir de semillas de chia proporcionadas por Benexia (Functional Products Trending S.A.), empleando la metodología propuesta por Muñoz, Cobos [9].

2.2 Propiedades fisicoquímicas

2.2.1 Capacidad de adsorción de agua (WAdC)

Esta propiedad se obtuvo por diferencia de peso bajo un ambiente con humedad relativa constante de acuerdo con la metodología de Segura-Campos, Ciau-Solís [10].

Fibras solubles	Concentración (% p/p)		
	Baja	Media	Alta
Pectina HM	1	2	4
Goma guar	1	2	4
Goma xanthan	0,3	0,5	1
Mucílago de chia	0,3	0,5	1

Tabla 1

Concentración baja, media y alta para cada dispersión de fibra soluble.

2.1.2 Capacidad de absorción de agua (WAbC)

Esta propiedad se obtuvo por diferencia de peso luego de alcanzar la máxima saturación de las muestras de acuerdo con el método AACCC 88-04.

2.1.3 Capacidad de retención de agua y aceite (WHC/OHC)

Estas propiedades se determinaron por diferencia de peso luego de que las muestras alcanzaran su máxima hidratación de acuerdo con el método de Timilsena, Adhikari [11].

2.1.4 Solubilidad

Se determinó en función de diferentes temperaturas (30, 60, 70 y 80°C), siguiendo la metodología de Cortés-Camargo, Gallardo-Rivera [12].

2.3 Preparación de las dispersiones

Se prepararon dispersiones de cada una de las fibras en concentraciones denominadas como baja, media y alta (%p/p), como se muestra en la Tabla 1.

2.4 Procedimiento de digestión in vitro

El proceso de digestión gastrointestinal in vitro de las fibras se llevó a cabo de acuerdo con la metodología descrita por Minekus, Alminger [13], como se muestra en la Figura 1. Dicho método contempla la fase oral, gástrica e intestinal; simulando sus condiciones de acuerdo con los parámetros in vivo.

2.5 Análisis de comportamiento reológico

El comportamiento reológico fue determinado en cada fase digestiva, midiendo la viscosidad aparente de cada fibra con un reómetro, de acuerdo con la metodología descrita por Alpizar-Reyes, Roman-Guerrero [14].

2.6 Determinación del grado de fragmentación/agregación

El tamaño de partículas de cada fibra fue medido en cada fase digestiva, utilizando un analizador de partículas por difracción láser.

2.7 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente utilizando el programa Statgraphics Centurion XV.I. Todos los análisis se realizaron en triplicado, a excepción de la determinación del grado de fragmentación/agregación que se hizo en sextuplicado; y los datos expresados como el promedio \pm desviación estándar.

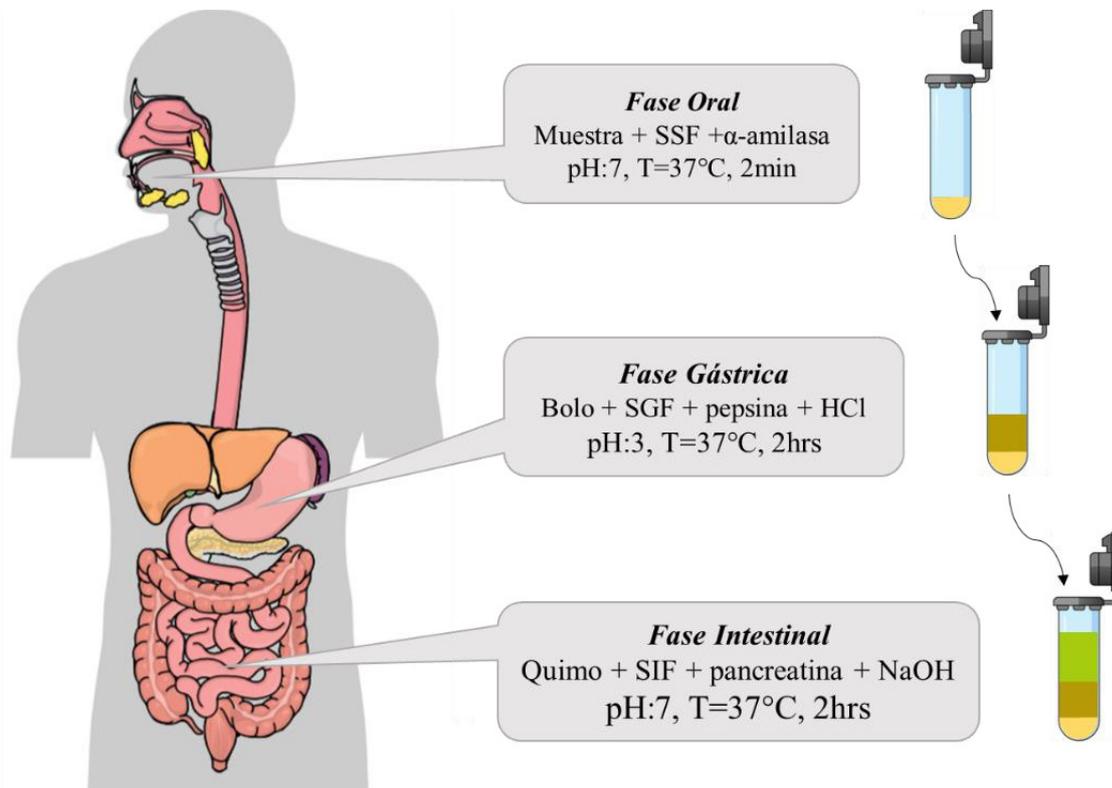


Figura 1

Diagrama del procedimiento de digestión in vitro gastrointestinal empleado.

3. Resultados

3.1 Capacidad de adsorción de agua (WAdC)

Esta propiedad permite predecir el intercambio de humedad entre los materiales alimenticios y su entorno, lo que también se conoce como higroscopicidad de los materiales.

De acuerdo con la tabla 2, donde se pueden observar las propiedades fisicoquímicas de las fibras estudiadas; la goma xanthan fue la que presentó un valor superior de WAdC, seguida por la goma guar, la pectina HM y por último con un valor significativamente menor la mucílago. Por lo tanto, la goma xanthan tendría una mayor capacidad para adsorber agua espontáneamente al exponerse a una atmósfera de humedad relativa constante en comparación con las demás fibras, producto de la composición de su cadena que le otorga una mayor polaridad, por ende, una mayor afinidad por el agua.

3.2 Capacidad de absorción de agua (WAbC)

La capacidad de absorción de agua es una propiedad fundamental en la textura de los alimentos, la cual depende tanto de la cantidad como de la naturaleza de los sitios disponibles para unirse a las moléculas de agua. De acuerdo con esto, el comportamiento de las fibras con los valores más altos de WAbC, como es el caso de la goma xanthan, guar y mucílago de chia (Tabla 2), se deberían principalmente a la presencia de estructuras ramificadas, mientras que el factor decisivo para la ligera variación entre ellas sería producto de las diferentes estructuras helicoidales y lineales propias de cada fibra [15]. Por otro lado, el significativamente inferior valor de WAbC de la pectina HM, se debería a su estructura lineal y a su menor cantidad de sitios afines al agua [16].

3.3 Capacidad de retención de agua y aceite (WHC/OHC)

Esta propiedad tiene relación con la capacidad de las fibras para permitir la oclusión del agua o aceite dentro de su estructura, lo que depende principalmente de los grupos funcionales de las

fracciones de polisacáridos hidrofílicos y de las fracciones de proteína presente en las fibras [8]. Por otro lado, un elevado WHC se ha asociado con un aumento de volumen, lo que produciría un aumento en el contenido intestinal al ingerir FDS evitando el estreñimiento [6]. Ahora bien, en cuanto a los valores de WHC en la Tabla 2, se puede observar claramente que la goma xanthan, guar y mucílago de chia fueron los que presentaron los valores más altos en comparación con la pectina HM; por ende, las tres primeras fibras mencionadas podrían tener una mayor incidencia en el tránsito intestinal en comparación con la pectina HM.

Por otro lado, de los resultados obtenidos para OHC, el mucílago fue quien presentó un valor significativamente mayor en comparación con las demás fibras, seguido por la pectina HM, goma xanthan y goma guar. Estos resultados se podrían deber a la ausencia de proteína en su estructura y a la cantidad de grupos hidrofílicos, proporcionando sitios donde es posible retener el aceite en las últimas tres fibras mencionadas [12].

3.4 Solubilidad

La solubilidad es una propiedad que permite predecir la posible funcionalidad de las fibras, mediante la determinación de su capacidad para disolverse parcial o totalmente en agua [17]. Como se muestra en la Figura 2, la solubilidad fue determinada en función de distintas temperaturas, donde se puede observar que la solubilidad del mucílago y la goma xanthan dependieron significativamente de la temperatura; aumentando conforme aumenta la temperatura alcanzando la máxima solubilidad a los 70°C, esto podría deberse a la descomposición de los enlaces de H de las fibras, exponiendo una mayor cantidad de grupos OH al agua aumentando su solubilidad a mayores temperaturas. Sin embargo, al sobrepasar los 70°C, la solubilidad disminuyó drásticamente probablemente por el efecto gelificante asociado a algunos polisacáridos a dicha temperatura [18, 19].

Por otro lado, la pectina HM y la goma guar no mostraron una dependencia significativa; donde la pectina presentó la mayor solubilidad independiente de la temperatura, comportamiento

FDS	WAbC* g H ₂ O/g muestra	WHC* g H ₂ O/g muestra	OHC* g aceite/g muestra	WAdC* g H ₂ O/g muestra
Pectina HM	1,51 ± 0,29 a	0,31 ± 0,1 a	2,51 ± 0,06 b	0,42 ± 0,01 a
Goma Xanthan	50,25 ± 0,42 b	39,65 ± 0,1 c	1,76 ± 0,08 a	0,65 ± 0,02 b
Goma Guar	50,19 ± 0,46 b	39,84 ± 0,2 c	1,73 ± 0,05 a	0,48 ± 0,01 c
Mucilago	50,12 ± 0,54 b	33,62 ± 0,6 b	9,06 ± 0,36 c	0,41 ± 0,01 a

(*) WAdC: Capacidad de adsorción de agua; WAbC: Capacidad de absorción de agua; WHC/OHC: Capacidad de retención de agua/aceite. Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo con el test de Tukey.

Tabla 2

Propiedades fisicoquímicas de las FDS seleccionadas.

que podría explicarse con su alto grado de esterificación y su carga negativa en solución de pH neutro, realizando su naturaleza polielectrolito. La goma guar por su parte, al ser una fibra con una cantidad de grupos OH intermedia su solubilidad también se presenta con valores intermedios al compararla con las demás fibras [20].

3.5 Análisis del comportamiento reológico

Del análisis del comportamiento reológico se obtuvo la viscosidad aparente y el comportamiento de flujo de las diferentes fibras solubles durante el proceso de digestión in vitro en concentraciones baja, media y alta a 37°C (simulando la temperatura corporal), presentándose de manera gráfica en la Figura 3.

En términos generales, de acuerdo con la Figura 3, se puede observar que todas dispersiones mostraron un comportamiento de flujo similar en las diferentes concentraciones y etapa de digestión evaluadas, exhibiendo un comportamiento no newtoniano; donde, la viscosidad aparente disminuyó conforme la velocidad de corte fue aumentando, fenómeno que también se conoce como pseudoplasticidad o comportamiento de adelgazamiento por cizalla [21].

Como era de esperarse, la viscosidad de las FDS sin digestión (Figura 3a, b y c) en concentraciones baja, media y alta mostraron una relación directamente proporcional con la concentración. Donde, la goma guar fue quien presentó una viscosidad significativamente mayor en todas las concentraciones, seguida por la goma xanthan, mucilago de chia y en último lugar se la pectina HM, quien exhibió una viscosidad significativamente inferior a las demás fibras.

Durante la digestión de las diferentes fibras, el comportamiento pseudoplástico se mantuvo y dependió de la concentración; mientras que la viscosidad aparente de las fibras disminuyó desde la fase oral a la intestinal, debido al aumento de volumen producido por la incorporación de fluidos digestivos propios de cada fase digestiva [22]. Específicamente, a nivel oral la tendencia de las fibras de mayor a menor viscosidad se mantuvo; sin embargo, se observó una disminución importante en la viscosidad de la goma guar, lo que podría ser causado por una ruptura en la estructura de la fibra por efecto de las variaciones de pH, disminución que se observó aumentaba conforme se avanzaba en la simulación digestiva. Por otro lado, la goma xanthan si bien se vio afectada su viscosidad por cambios en el pH, su disminución de viscosidad fue poco significativa en comparación a la goma guar. El mucilago de chia por su parte, presentó una mayor retención de la viscosidad, presentado modificaciones poco significativas a lo largo de la digestión; esta capacidad se ha relacionado con una mejor respuesta fisiológica aumentando el contenido intestinal, disminuyendo la difusión de nutrientes y la respuesta glicémica, entre otros [8]. Por último, la pectina HM, pese a que fue la que presentó inicialmente una menor viscosidad previa digestión y

en al fase oral, su viscosidad aumento durante la fase gástrica e intestinal, incluso bajo el efecto dilución causado por la adición de fluidos digestivos; esto sugiere, que variaciones en el pH tenderían a disminuir la repulsión electrostática intermolecular, promoviendo la agrupación de cadenas de pectina, por ende, conduciría a una agregación molecular.

En general, los resultados observados, sugieren que todas las fibras estudiadas proporcionan viscosidad a nivel gastrointestinal; lo que a su vez depende de la concentración y fase digestiva. Puesto que, muchos efectos positivos consecuencia de la ingesta de fibra soluble se han relacionado con su viscosidad, es posible mencionar que el mucilago de chia, la goma xanthan y la pectina HM podrían mejorar la funcionalidad de los alimentos y su digestión.

3.6 Determinación del grado de fragmentación/agregación

La determinación del grado de fragmentación y/o agregación permite predecir como podría ser el comportamiento de las fibras durante su digestión, puesto que durante la digestión humana los alimentos tienden a desintegrarse, reduciendo su tamaño por acción enzimática y física (masticación, movimiento peristálticos) [23]. Como se puede observar en la Figura 4, la goma guar y la goma xanthan presentaron cambios significativos en el tamaño de sus partículas, mientras que la pectina HM presentó ligeras modificaciones; contrario a lo que ocurrió con el mucilago de chia quien prácticamente no modificó su tamaño de partículas durante la digestión, independiente de la fase digestiva y concentración.

4. Conclusiones

El conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de las FDS es un herramienta útil para predecir sus potenciales funciones y propiedades estructurales, siendo estos dependientes de la estructura, composición y afinidad por el agua de cada fibra. Por otro lado, existió una directa relación entre los cambios en el

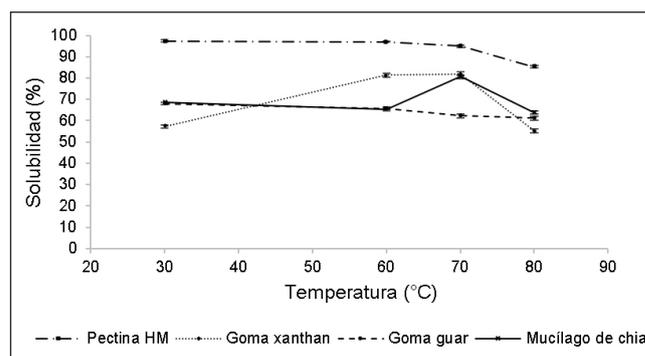


Figura 2

Solubilidad de las FDS (%) en función de la temperatura (°C)

comportamiento reológico y las variaciones en el grado de agregación y/o fragmentación de las FDS. Estos resultados podrían ser atribuidos principalmente al efecto dilución propio del proceso de digestión y a la relación entre las variaciones de pH y la capacidad de estas fibras para mantener, aumentar o disminuir su solubilidad.

Conforme al comportamiento reológico de la goma xanthan, mucílago de chia y pectina HM, se podría sugerir que la inclusión de estas fibras sería de utilidad para modular el proceso digestivo retrasando el vaciado gástrico y mejorando la funcionalidad de los alimentos ingeridos.

Bibliografía

[1]. Hosni, H., D. Periklis, and G. Baourakis, Consumers Attitude Towards Healthy Food: "Organic and Functional Foods". Vol. 2. 2017. 85-99.

[2]. Clark, M.J. and J.L. Slavin, The Effect of Fiber on Satiety and Food Intake: A Systematic Review. *Journal of the American College of Nutrition*, 2013. 32(3): p. 200-211.

[3]. Anderson, J.W., et al., Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 2009. 67(4): p. 188-205.

[4]. Fabek, H., et al., The effect of in vitro digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion. *Food Hydrocolloids*, 2014. 35: p. 718-726.

[5]. Brownlee, I.A., The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 2011. 25(2): p. 238-250.

[6]. Rana, V., et al., Dietary fibre and human health. *International Journal of Food Safety*, 2011. 4(Nutrition and Public Health).

[7]. Mackie, A., et al., Increasing dietary oat fibre decreases the permeability of intestinal mucus. *Journal of Functional Foods*, 2016. 26: p. 418-427.

[8]. Mudgil, D. and S. Barak, Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: a review. *Int J Biol Macromol*, 2013. 61: p. 1-6.

[9]. Muñoz, L.A., et al., Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, 2012. 108(1): p. 216-224.

[10]. Segura-Campos, M., et al., Chemical and Functional Properties of Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) Gum. *International Journal of Food Science*, 2014. 2014: p. 1-5.

[11]. Timilsena, Y.P., et al., Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds. *Carbohydrate Polymers*, 2016. 136: p. 128-136.

[12]. Cortés-Camargo, S., et al., Exploring the Potential of Mesquite Gum–Nopal Mucilage Mixtures: Physicochemical and Functional Properties. *Journal of Food Science*, 2018. 83(1): p. 113-121.

[13]. Minekus, M., et al., A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function*, 2014. 5(6): p. 1113-1124.

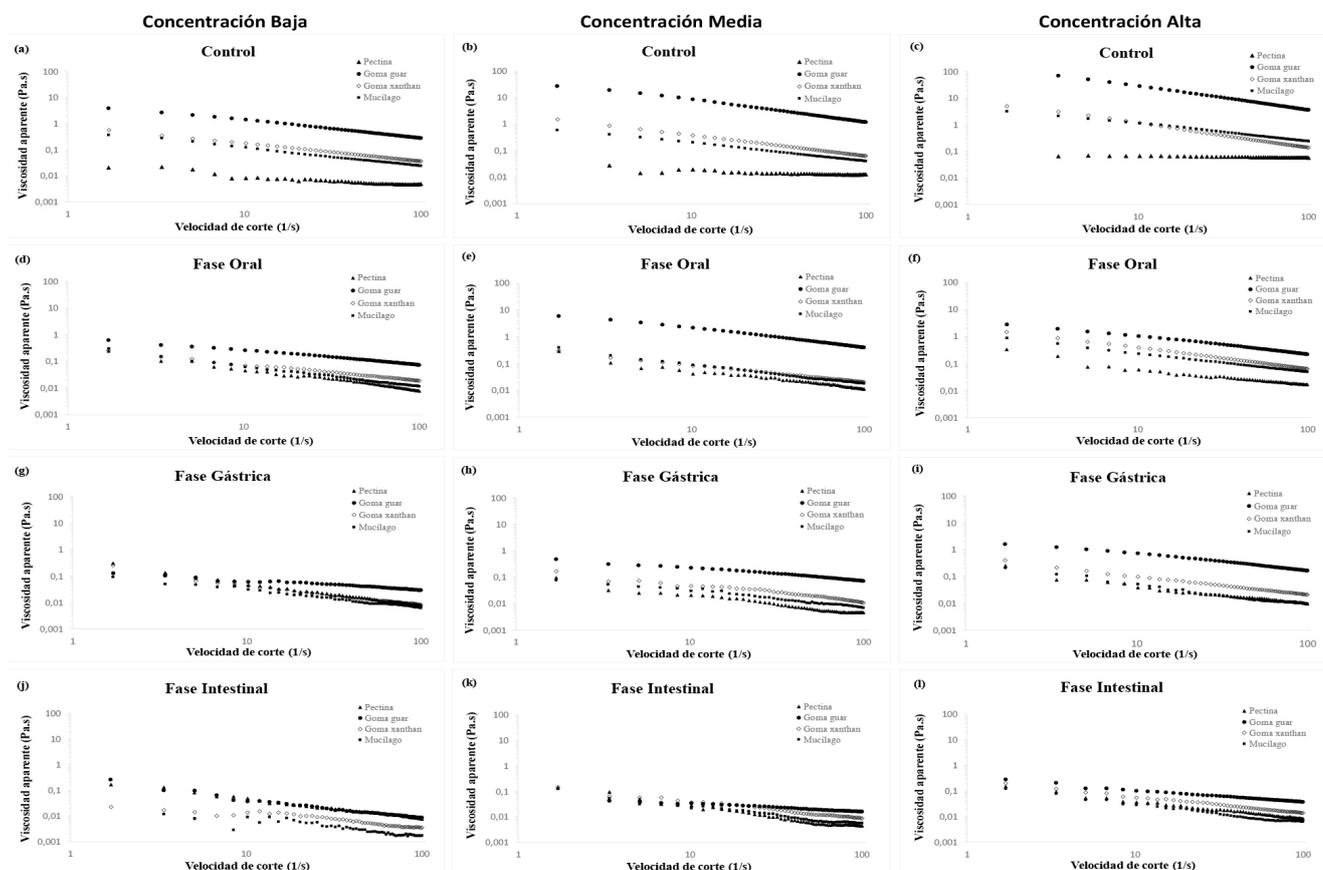


Figura 3

Viscosidad aparente de las FDS durante el proceso de digestión in vitro.

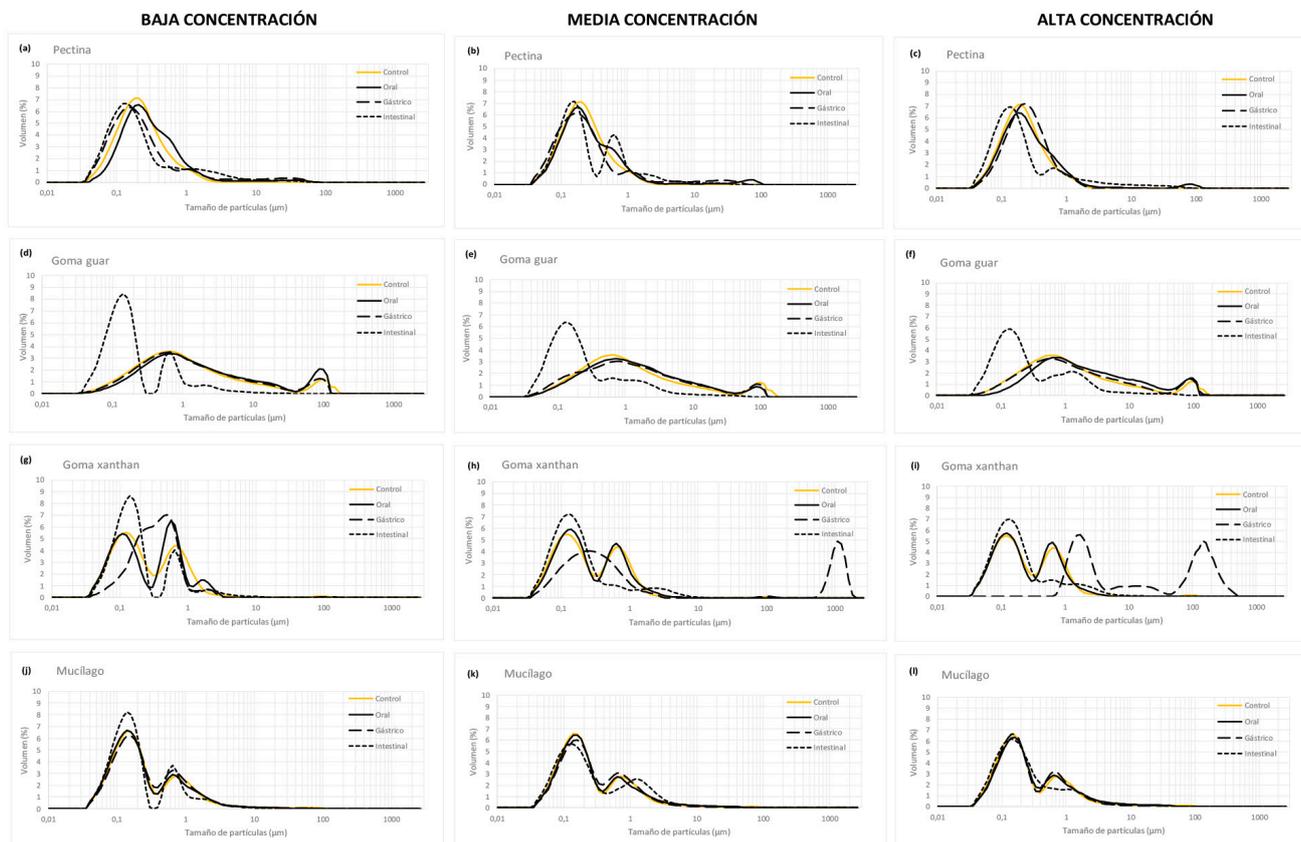


Figura 4

Distribución del tamaño de partículas de las FDS antes y durante la digestión *in vitro*, como una estimación del grado de fragmentación/agregación.

[14]. Alpizar-Reyes, E., et al., Rheological properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage obtained by spray-drying as a novel source of hydrocolloid. *Int J Biol Macromol*, 2018. 107(Pt A): p. 817-824.

[15]. Li, J.-M., G.G. Hou, and Z.X. Chen, Improvement of gums in physicochemical and rheological properties of barley-fortified saltine cracker dough. *Cereal research communications*, 2016. 44(3): p. pp. 481-489.

[16]. Lopes da Silva, J.A. and M.A. Rao, Xanthan gum: Properties, production conditions, quality and economic perspective, in *Food Polysaccharides and Their Applications*, A. Stephen, G.O. Phillips, and P.A. Williams, Editors. 2006.

[17]. Guillon, F. and M. Champ, Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 2000. 33(3): p. 233-245.

[18]. Capitani, M.I., et al., Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013. 93(15): p. 3856-3862.

[19]. Sciarini, L.S., et al., Chemical composition and functional properties of *Gleditsia triacanthos* gum. *Food Hydrocolloids*, 2009. 23(2): p. 306-313.

[20]. Pollard, M., et al., Investigation of equilibrium solubility of a carob galactomannan. *Food Hydrocolloids*, 2007. 21(5-6): p. 683-692.

[21]. Gómez-Díaz, D. and J.M. Navaza, Rheology of aqueous solutions of food additives: Effect of concentration, temperature and blending. *Journal of Food Engineering*, 2003. 56(4): p. 387-392.

[22]. Tamargo, A., et al., Understanding the impact of chia seed mucilage on human gut microbiota by using the dynamic gastrointestinal model simgi®. *Journal of Functional Foods*, 2018. 50: p. 104-111.

[23]. Kong, F. and R. Singh, Modes of Disintegration of Solid Foods in Simulated Gastric Environment. *Food Biophysics*, 2009. 4(3): p. 180-190.

Texto original

Vera C., N., Laguna, L., Zura, L., Puente, L., & Muñoz, L. A. (2019). Evaluation of the physical changes of different soluble fibres produced during an *in vitro* digestion. *Journal of Functional Foods*, 62, 103518. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.10>