

# EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE SALSAS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*) ADICIONADAS CON GOMAS GUAR Y XANTANA

## EFFECT OF THERMAL TREATMENT ON THE RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF HABANERO CHILI (*Capsicum chinense*) SAUCES ADDED WITH GUAR AND XANTHAN GUMS

Manuel O. Ramírez-Sucre, Diana K. Baigts-Allende\*

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Unidad Sureste. Parque Científico Tecnológico de Yucatán km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto C.P. 97302 Yucatán, México. Tel.:+52 999 920 26 71. (dbaigts@ciatej.mx)

### RESUMEN

En alimentos con multicomponentes dispersos, como las salsas, la estabilidad física del sistema es un parámetro de la calidad final. El comportamiento reológico de este tipo de productos depende de factores intrínsecos, como tamaño de partícula, peso molecular e interacciones moleculares, y factores extrínsecos, como temperatura, pH y fuerza iónica. En este estudio se prepararon salsas de chile habanero (*Capsicum chinense*) con pastas de chile comercial y agua, se adicionó 0.2, 0.5 y 0.7 % de gomas guar o xantana como hidrocoloides espesantes. El efecto del tratamiento térmico se evaluó en el comportamiento reológico (flujo y viscoelasticidad) con un diseño factorial mixto, con tres factores, en diferentes niveles. El tratamiento térmico afectó la interacción molecular de la goma guar con el agua, redujo los valores de viscosidad, deformación crítica y módulo elástico ( $G'$ ) y aumentó los del módulo viscoso ( $G''$ ). El efecto inverso se observó con la goma xantana, la que conservó una matriz más estable y mejor estructurada. La goma xantana en concentraciones de 0.5 % conservó las propiedades reológicas (espesantes) después de haberse calentado a temperaturas altas, por lo cual se puede usar para elaborar salsas de chile habanero con tratamiento térmico.

**Palabras clave:** *Capsicum chinense*, salsas, propiedades reológicas, goma guar, goma xantana, tratamiento térmico.

### INTRODUCCIÓN

México ocupa el segundo lugar mundial, después de China, como productor de una amplia variedad de especies de chile

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2015. Aprobado: junio, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 837-847. 2016.

### ABSTRACT

In foods with disperse multicomponents, such as sauces, the physical stability of the system is a parameter of the final quality. The rheological behavior of this type of product depends on intrinsic factors, such as size of the particle, molecular weight and molecular interactions, and extrinsic factors, such as temperature, pH and ionic force. In this study, habanero chili (*Capsicum chinense*) sauces were prepared with commercial chili pastes and water; guar or xanthan gums were added, in 0.2, 0.5 and 0.7 %, as thickening hydrocolloids. The effect of the thermal treatment was evaluated in the rheological behavior (flow and viscoelasticity) with a mixed factorial design, with three factors, in different levels. The thermal treatment affected the molecular interaction of the guar gum with water, decreased the values of viscosity, critical deformation and elastic modulus ( $G'$ ), and increased those of the viscous modulus ( $G''$ ). The inverse effect was observed with xanthan gum, which conserved a more stable and better-structured matrix. Xanthan gum in 0.5 % concentrations conserved the rheological (thickening) properties, after having been heated up to high temperatures; therefore, it can be used in the elaboration of habanero chili sauces with thermal treatment.

**Key words:** *Capsicum chinense*, sauces, rheological properties, guar gum, xanthan gum, thermal treatment.

### INTRODUCTION

México occupies the second place globally, after China, as producer of a broad variety of chili species (Jaramillo-Flores *et al.*, 2010) with an annual production of 2.29 thousand Mg in 2013 (FAOSTAT, 2013). Spicy chili (*Capsicum* spp.) is a popular additive in several places of the

(Jaramillo-Flores *et al.*, 2010) con producción anual de 2.29 mil Mg en 2013 (FAOSTAT, 2013). El chile picante (*Capsicum* spp.) es un aditivo popular en varios lugares del mundo, es valorado por sus atributos sensoriales, como el color, la pungencia y el aroma. El chile habanero (*Capsicum chinense*) es uno de los más demandados y se cultiva en la Península de Yucatán (Yucatán, Campeche y Quintana Roo, México). Esta región contribuye con más de la mitad de la producción nacional de chile (SIAP, 2013) y tiene la denominación de origen reciente (IMPI, 2010). El fruto del chile habanero se consume fresco y deshidratado (chile en polvo), es materia prima para extraer oleorresinas (capsaicinoides), pero el uso principal es para producir purés o pastas. Éstos se usan para preparar salsas habaneras para el mercado nacional e internacional (Ruiz *et al.*, 2011). La elaboración de salsas de chile consiste en la selección y desinfección del fruto, reducción del tamaño de partícula (trituration) y adición de agentes estabilizantes, saborizantes y conservadores.

Las salsas son emulsiones multifase complejas de partículas sólidas pequeñas y deformables que están dispersas en una fase continua acuosa (Sikora *et al.*, 2003). Las emulsiones son dispersiones termodinámicamente inestables de un líquido inmiscible en otro, y una de las fases líquida se dispersa en la otra en forma de gotas pequeñas (Desplanques *et al.*, 2012). Entre los fenómenos físicos que ayudan a caracterizarlas están los relacionados con fuerzas gravitacionales, electrostáticas, estéricas, Van der Waals y otras que afectan el tamaño, distribución y disposición espacial de las partículas dispersas, y pueden desestabilizar el sistema (separación de fases). Para controlar y mejorar su estabilidad física es conveniente conocer los efectos de las fuerzas de interacción entre las partículas y el medio dispersante (Tadros, 2009).

Los aditivos en los alimentos, como los hidrocoloides, participan en la conservación de la calidad sensorial del producto, principalmente en la consistencia, y mejoran su estabilidad física en el tiempo (Sikora *et al.*, 2008; Gamonpilas *et al.*, 2011). La estructura, distribución y arreglo de los compuestos que conforman las emulsiones alimenticias (azúcares, colorantes, sales, conservadores, y otros), determinan en gran medida la afinidad química y energía libre del sistema. Los aditivos, como los derivados de celulosa y las gomas, se han estudiado en el mejoramiento de las propiedades reológicas de sistemas mixtos (Dipjyoti and Suvendu, 2010; Hesarinejad *et al.*, 2014).

world and is valued because of its sensory attributes, such as color, pungency, and aroma. Habanero chili (*Capsicum chinense*) is among those with highest demand and it is cultivated in the Yucatan Peninsula (Yucatán, Campeche and Quintana Roo, México). This region contributes with more than half of the national chili production (SIAP, 2013), and achieved the denomination of recent origin (IMPI, 2010). The fruit of the habanero chili is consumed fresh and dehydrated (powdered chili), it is raw material to extract oleoresins, capsaicinoids, but, mostly, it is used to produce purees or pastes. These are used to prepare habanero sauces for the national and international market (Ruiz *et al.*, 2011). The elaboration of chili sauces consists in the selection and disinfection of the fruit, the reduction of the particle size (grinding), and the addition of stabilizing, flavoring and preserving agents.

Sauces are complex multiphase emulsions of small and deformable solid particles, which are dispersed in a continuous aqueous phase (Sikora *et al.*, 2003). Emulsions are thermodynamically unstable dispersions of a liquid that is immiscible in another, and one of the liquid phases is dispersed in the other in form of small drops (Desplanques *et al.*, 2012). Among the physical phenomena that help to characterize them are those related with gravitational, electrostatic, steric, Van der Waals, and other forces that affect the size, distribution and spatial disposition of the dispersed particles, and which can destabilize the system (phase separation). To control and improve their physical stability, it is convenient to understand the effects of the forces of interaction between the particles and the dispersing medium (Tadros, 2009).

Additives in foods, such as hydrocolloids, participate in the preservation of the sensory quality of the product, primarily in the consistency, and they improve their physical stability in time (Sikora *et al.*, 2008; Gamonpilas *et al.*, 2011). The structure, distribution, and arrangement of the compounds that integrate the food emulsions (sugars, coloring, salts, preservatives, and others), determine in great measure the chemical affinity and the system's free energy. Additives, such as those derived from cellulose and gums, have been studied for the improvement of the rheological properties of mixed systems (Dipjyoti and Suvendu, 2010; Hesarinejad *et al.*, 2014). Gums are polysaccharides

Las gomas son polisacáridos que en concentraciones bajas forman dispersiones viscosas o geles. Entre ellas, las gomas guar (GG) y xantana (GX) se usan en la industria alimentaria porque son espesantes y estabilizadoras, pero también son gelificantes. La GG se obtiene del endospermo de la semilla de la planta guar, es un polisacárido no iónico soluble en agua, que en su molécula tiene un segmento central lineal de unidades de D-manosa, con enlaces  $\beta$  (1,4), conectadas a unidades de D-galactosa, con enlaces  $\alpha$  (1,6) en proporciones 2:1 (Chenlo *et al.*, 2010). El hidrocoloide de esta goma es relativamente estable en pH 2.0 a 3.5 y temperaturas altas (Wang *et al.*, 2000). La GX es una cadena lineal de D-glucosa con enlaces de  $\beta$  (1-4), residuos de glucosa en C3 se encuentran alternados con cadenas laterales de un trisacárido con carga que contiene un residuo de ácido glucurónico entre dos unidades de manosa. La conformación ordenada de cadenas rígidas de esta molécula le permite formar soluciones más viscosas que otras gomas, como carragenina, en concentraciones similares (Marcotte *et al.*, 2001). Las propiedades reológicas son útiles para predecir la estabilidad física de un producto alimentario. El comportamiento reológico de las salsas de Chile se considera pseudoplástico, pero los hidrocoloides permiten mejorar esta característica (Martínez-Padilla y Rivera-Vargas, 2006; Gamonpilas *et al.*, 2011).

Las salsas de Chile se clasifican como productos acidificados con actividad alta de agua y deben someterse a un tratamiento térmico para asegurar la calidad para exportación. En México la comercialización nacional de la mayoría de las salsas de Chile habanero utiliza sólo conservadores químicos como medida de inocuidad del producto. La aplicación de tratamientos térmicos como método para mejorar la vida útil del producto, es una alternativa para disminuir el pardeamiento (inactivación de polifenoloxidasas) y no aplicar aditivos químicos. Una desventaja son probables cambios estructurales de los componentes del sistema que provoquen inestabilidad física y separación de fases (FDA, 2010).

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del tratamiento térmico en las características reológicas (flujo y viscoelasticidad) de salsas de Chile habanero (*Capsicum chinense*), elaboradas con pasta comercial de Chile adicionadas con GG y GX.

that at low concentrations form viscous dispersions or gels. Among them, the guar (GG) and xanthan (XG) gums are used in the food industry because they are thickening and stabilizing, but also gelling. The GG is obtained from the endosperm of the guar plant seed, it is a non-ionic polysaccharide soluble in water, which has a central linear segment of D-manose units in its molecule, with  $\beta$  (1,4) bonds, connected to units of D-galactose, with  $\alpha$  (1,6) bonds in a proportion of 2:1 (Chenlo *et al.*, 2010). The hydrocolloid of this gum is relatively stable at pH 2.0 to 3.5, and at high temperatures (Wang *et al.*, 2000). The XG is a linear chain of D-glucose with  $\beta$  (1-4) bonds, glucose residues in C3 alternate with lateral chains of a trisaccharide with charge that contains a residue of glucuronic acid between two units of mannose. The ordered conformation of rigid chains in this molecule allows it to form more viscous solutions than other gums, such as carrageenins, in similar concentrations (Marcotte *et al.*, 2001). The rheological properties are useful to predict the physical stability of a food product. The rheological behavior of chili sauces is considered pseudoplastic; however, hydrocolloids allow improving this characteristic (Martínez-Padilla and Rivera-Vargas, 2006; Gamonpilas *et al.*, 2011).

Chili sauces are classified as acidified products with high water activity and must be subjected to a thermal treatment, to guarantee the export quality (FDA, 2010). In México, national commercialization of most of the habanero chili sauces uses only chemical preservatives as a measure of product innocuousness. Applying thermal treatments as a method to improve the useful life of the product is an alternative to increase product innocuousness and to decrease the browning (inactivation of polyphenol oxidases) without applying chemical additives. One disadvantage is that there could be structural changes of the system's components that cause physical instability and phase separation (FDA, 2010).

The objective of this study was to determine the effect of the thermal treatment on the rheological characteristics (flow and viscoelasticity) of habanero chili (*Capsicum chinense*) sauces, elaborated with commercial chili paste supplemented with GG and XG.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Elaboración de salsas

Las salsas se elaboraron con pasta de chile habanero comercial (Marca PAPIK, INDUSTRIA AGRÍCOLA MAYA, S.A. de C.V.; mezcla de chile habanero triturado, tamaño de partícula de 500  $\mu\text{m}$ , con ácido acético y sal), agua (1:1; testigo) y 0.2, 0.5, y 0.7 % de GG o GX. Las mezclas se agitaron a 3000 rpm, con un homegeinizador (IKA, T18; Alemania, con un dispersor 18N-19G), por unos 2 min. Los compuestos químicos usados fueron grado reactivo (Sigma Aldrich Inc; EE.UU.).

Las salsas preparadas (50 mg) se colocaron en bolsas (48.0x14.5 cm) resistentes a temperaturas extremas y presiones altas (pouch), se sellaron a 1.6 s 40 %<sup>-1</sup> vacío (Koch Equipment, UV250; EE.UU., 2009), se calentaron 15 min a 121 °C en una autoclave vertical (ECOSHEL, CVQ-B50L; EE.UU.) y se almacenaron 24 h a 25 °C, antes de analizarse. Todas las muestras se prepararon por duplicado.

### Determinaciones analíticas

La caracterización física y química parcial de la pasta de chile y de las salsas antes y después del tratamiento térmico incluyó: pH de acuerdo con la norma NMX-F-317-S-1978 y con un potenciómetro (Hanna Instruments, HI3222; EE.UU.); sólidos solubles totales de acuerdo con la norma NMX-FF-015-1982 y con un refractómetro (Atago, NAR-1Tliquid; Japón); y contenido de humedad con el método rápido descrito en la norma NMX-F-428-1982 y con una termobalanza (Ohaus, B45; EE.UU.).

### Determinaciones reológicas

Las propiedades reológicas de las salsas se determinaron con un reómetro de esfuerzo controlado (TA Instruments, DHR<sub>2</sub>; EE.UU.) y la geometría de plato paralelo (40 mm de diámetro) con espacio (gap) de 1050  $\mu\text{m}$ . El flujo se evaluó con las curvas de flujo en función de la velocidad de deformación (0.2 a 200 s<sup>-1</sup>), esfuerzo de corte y viscosidad. Los datos experimentales se ajustaron a la expresión matemática del modelo de Carreau (Carreau, 1972), que describe el comportamiento pseudoplástico de polímeros de forma más realista que la ley de potencia, ya que se adapta mejor a un intervalo amplio de velocidades de deformación. La determinación del modelo de mejor ajuste a las curvas de flujo se realizó con el programa del equipo (Trios 3.2.0 3877, Discovery HR TA instrument) con R<sup>2</sup>=0.999.

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \frac{1}{(1 + (C\dot{\gamma}^2))^{b/2}}$$

## MATERIALS AND METHODS

### Sauce elaboration

The sauces were elaborated with commercial habanero chili paste (Brand: PAPIK, INDUSTRIA AGRÍCOLA MAYA, S.A. de C.V.; mixture of ground habanero chili, size of particle 500  $\mu\text{m}$ , with acetic acid and salt), water (1:1; control), and 0.2, 0.5 and 0.7 % of GG or XG. The mixtures were shaken at 3000 rpm, with a homogenizer (IKA, T18; Germany, with a 18N-19G dispersor), approximately 2 min. The chemical compounds used were of reactive grade (Sigma Aldrich Inc; USA).

The sauces prepared (50 mg) were placed in bags (48.0x14.5 cm) resistant to extreme temperatures and high pressures (pouch), sealed at 1.6 s and 40 % vacuum (Koch Equipment, UV250; USA, 2009), heated for 15 min at 121 °C in a vertical autoclave (ECOSHEL, CVQ-B50L; USA), and stored at 25 °C for 24 h before being analyzed. All of the samples were prepared in duplicate.

### Analytical determinations

The partial physical and chemical characterization of chili paste and of the sauces before and after the thermal treatment included: pH according to the NMX-F-317-S-1978 norm and with a potentiometer (Hanna Instruments, HI3222; USA); total soluble solids according to the NMX-FF-015-1982 norm and with a refractometer (Atago, NAR-1Tliquid; Japan); and moisture content with the fast method described in the NMX-F-428-1982 norm, with a thermobalance (Ohaus, B45; USA).

### Rheological determinations

The rheological properties of the sauces were determined with a controlled effort rheometer (TA Instruments, DHR<sub>2</sub>; USA) and the parallel plate geometry (40 mm of diameter) with a gap of 1050  $\mu\text{m}$ . The flow was evaluated with the flow curves in function of the deformation speed (0.2 to 200 s<sup>-1</sup>), cutting effort and viscosity. The experimental data were adjusted to the mathematical expression of the Carreau model (Carreau, 1972), which describes the pseudoplastic behavior of polymers of a more realist form than the power law, since it adapts better to a broad interval of deformation speeds. The determination of the model of best fit to the flow curves was carried out with the software of the equipment (Trios 3.2.0 3877, DHR TA instruments) with R<sup>2</sup>=0.999.

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \frac{1}{(1 + (C\dot{\gamma}^2))^{b/2}}$$

donde  $\eta_0$  es la viscosidad constante a velocidades de deformación muy pequeñas (cercasas al reposo),  $\eta_\infty$  es la viscosidad newtoniana para valores altos de velocidad de deformación y  $c$  y  $b$  son la consistencia y el índice de velocidad de deformación.

Las propiedades viscoelásticas se evaluaron en la región viscoelástica lineal (RVL) determinada por ensayos de amplitud de deformación, incrementos logarítmicos (0.02 a 100 %) y frecuencia de 10 rad s<sup>-1</sup>. Los espectros mecánicos se obtuvieron con ensayos de barridos de frecuencia angular (0.1-100 rad s<sup>-1</sup>), deformación de 0.5 % mediante el análisis del módulo elástico ( $G'$ ) y el módulo viscoso ( $G''$ ) en función de la frecuencia.

### Análisis estadístico de los resultados

El diseño experimental fue factorial mixto de tres factores (goma, temperatura y concentración) con diferentes niveles. Los resultados se analizaron con ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI. I. versión 16.1.17 (StatPoint Technologies, 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de las propiedades fisicoquímicas

Las pastas de chile mostraron en promedio 84.3 % de humedad, 1.17 % de acidez titulable, 20 °Brix y pH 3.43. Las GG y GX y el tratamiento térmico no causaron cambios significativos en pH o sólidos solubles (3.4 y 20.0 °Brix). La humedad ( $h$ ) de todas las salsas tendió a disminuir con las gomas ( $h_{\text{promedio}} = 70.0$  %) en comparación con el testigo ( $h_{\text{promedio}} = 77.8$  %), y fue significativamente menor en las salsas con 0.7 % de GX ( $h_{\text{promedio}} = 68.0$  %). Este comportamiento pudo deberse a la combinación de la concentración y cambios estructurales de GX. Un número mayor de cadenas de GX pudieron favorecer la interacción intramolecular (formación de red) e interacciones electrostáticas entre las moléculas polares del agua y el polielectrolito que permitieron retener agua y disminuir la humedad global del sistema.

### Propiedades de flujo

Todas las muestras tuvieron comportamiento no newtoniano pseudoplástico, una característica común en emulsiones, suspensiones, o dispersiones, en las que la viscosidad se reduce con el aumento

where  $\eta_0$  is the constant viscosity at very low deformation speeds (close to resting),  $\eta_\infty$  is the Newtonian viscosity for high values of deformation speed, and  $c$  and  $b$  are the consistency and the index of deformation speed.

The viscoelastic properties were evaluated in the linear viscoelastic region (LVR) determined by assays of deformation amplitude, logarithmic increments (0.02 to 100 %), and frequency of 10 rad s<sup>-1</sup>. The mechanical spectra were obtained with angular frequency sweeping assays (0.1-100 rad s<sup>-1</sup>), with a deformation of 0.5 % through the analysis of the elastic modulus ( $G'$ ), and the viscous modulus ( $G''$ ) in function of the frequency.

### Statistical analysis of the results

The experimental design was mixed factorial of three factors (gum, temperature, and concentration) with different levels. The results were analyzed with ANOVA and the means were compared by the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ), with the statistical software Statgraphics Centurion XVI. I. version 16.1.17 (StatPoint Technologies, 2011).  $\gamma$

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of the physical-chemical properties

The chili pastes showed in average 84.3 % of humidity, 1.17 % of titrable acidity, 20 °Brix and pH 3.43. The GG and XG and the thermal treatment did not cause significant changes in pH or soluble solids (3.4 and 20.0 °Brix). The humidity ( $h$ ) of all the sauces tended to decrease with the gums ( $h_{\text{average}} = 70.0$  %) in comparison to the control ( $h_{\text{average}} = 77.8$  %) and was significantly lower in the sauces with 0.7 % of XG ( $h_{\text{average}} = 68.0$  %). This behavior could be due to the combination of the concentration and structural changes of the XG. A higher number of chains of XG could have favored the intramolecular interaction (network formation) and electrostatic interactions, between polar molecules of water and the polyelectrolyte that allowed retaining water and decreasing the global humidity of the system.

### Flow properties

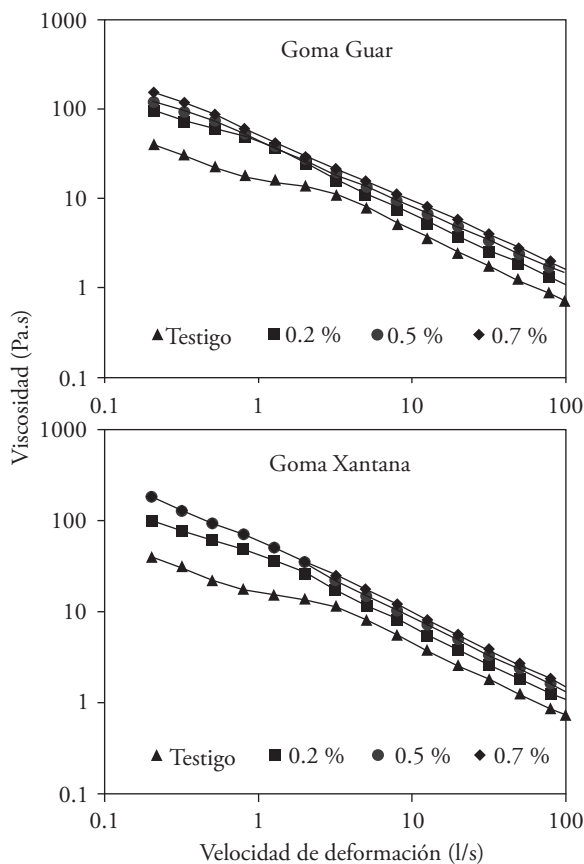
All the samples had a non-Newtonian pseudoplastic behavior, a common characteristic in emulsions, suspensions or dispersions, where viscosity is reduced with the increase of the deformation

de la velocidad de deformación (Figura 1). Con las gomas el comportamiento pseudoplástico fue prominente. El índice de consistencia de las salsas después del tratamiento térmico disminuyó significativamente solo en salsas con 0.2 y 0.5 % de GG. La viscosidad de las salsas aumentó con la concentración de la goma ( $h_{0.0.2\%} < h_{0.0.5\%} < h_{0.0.7\%}$ ) (Cuadro 1). En las salsas con GG y tratamiento térmico la viscosidad disminuyó; en contraste, en aquellas con GX los valores aumentaron significativamente. Las condiciones ambientales y las interacciones del hidrocoloide con otras moléculas (agua, sólidos solubles y sales) pueden afectar el comportamiento viscoso de la matriz. Opuesto al caso de las salsas con GX, el tratamiento térmico en salsas con GG pudo debilitar las interacciones entre el medio y la goma o la estructura de las partículas dispersas, lo que disminuyó la viscosidad.

La viscosidad en emulsiones con GG o GX calentadas dependió de GX (Desplanques *et al.*, 2012). Naji *et al.* (2012) obtuvieron resultados opuestos y observaron que dispersiones de GX, acentadas a 121 °C por 15 min, disminuyeron significativamente la viscosidad y estudiaron la goma sin considerar la interacción de otros componentes, como las sales. Las salsas, debido al número de componentes como sal, partículas vegetales, agua, goma u otros, son sistemas más complejos que una solución binaria. La GX, además de tener un peso molecular mayor que GG, tiene naturaleza de polielectrolito aniónico, por lo que el comportamiento reológico puede afectarse por la presencia de sales en las pastas de chile. El cloruro de sodio o potasio en soluciones de goma xantana ayuda a mantener la estructura ordenada y aumenta la estabilidad térmica (Katzbauer, 1998). La inestabilidad del sistema formado con GG pudo deberse al aumento de temperatura y disminución del pH (disociación mayor de iones  $H^+$  por calor). Ambos factores extrínsecos, en niveles altos, pueden afectar la velocidad de hidratación de la goma, y disminuir la viscosidad (Carlson y Ziegenfuss, 1965; BeMiller y Whistler, 1996; Srichamroen, 2007).

### Propiedades viscoelásticas

Los módulos dinámicos de almacenamiento ( $G'$ ) y pérdida ( $G''$ ), la región viscoelástica y la deformación crítica (punto en el que los módulos dinámicos dejan de ser constantes) representados por las



**Figura 1. Curvas de flujo de salsas de chile habanero, con 0.2, 0.5 y 0.7 % de gomas y tratamiento térmico.**  
**Figure 1. Flow curves of habanero chili sauces, with 0.2, 0.5 and 0.7 % of gums and thermal treatment.**

speed (Figure 1). With the gums, the pseudoplastic behavior was prominent. The index of consistency of the sauces after the thermal treatment decreased significantly only in sauces with 0.2 and 0.5 % of GG. The viscosity of the sauces increased with the gum concentration ( $h_{0.0.2\%} < h_{0.0.5\%} < h_{0.0.7\%}$ ) (Table 1). The viscosity decreased in the sauces with GG and thermal treatment; in contrast, in those that contained XG the values increased significantly. The environmental conditions and the interactions of the hydrocolloid with other molecules (water, soluble solids and salts) could affect the viscous behavior of the matrix. Opposite to the case of sauces with XG, the thermal treatment in sauces with GG could weaken the interactions between the medium and the gum, or the structure of the disperse particles, which decreased the viscosity.

**Cuadro 1. Parámetros reológicos obtenidos de las curvas ajustadas al modelo de Carreau de flujo de salsas adicionadas con gomas.<sup>†</sup>**
**Table 1. Rheological parameters obtained from the curves adjusted to the Carreau flow model of sauces complemented with gums.<sup>†</sup>**

Goma	(%)	Sin tratamiento térmico			Con tratamiento térmico		
		$\eta_0$ (Pa.s)	$C$ (s)	$b$	$\eta_0$ (Pa.s)	$C$ (s)	$b$
Guar	0.2	128 <sub>a</sub>	4.1 <sub>a</sub>	0.21 <sub>a</sub>	100 <sub>a</sub>	2.6 <sub>a</sub>	0.16 <sub>a</sub>
	0.5	297 <sub>b</sub>	9.4 <sub>b</sub>	0.23 <sub>a</sub>	159 <sub>b</sub>	5.3 <sub>b</sub>	0.23 <sub>b</sub>
	0.7	371 <sub>c</sub>	9.7 <sub>b</sub>	0.22 <sub>a</sub>	319 <sub>c</sub>	11.8 <sub>c</sub>	0.25 <sub>b</sub>
Xantana	0.2	79 <sub>d</sub>	2.5 <sub>c</sub>	0.25 <sub>a</sub>	103 <sub>d</sub>	2.8 <sub>d</sub>	0.18 <sub>b</sub>
	0.5	202 <sub>e</sub>	5.9 <sub>d</sub>	0.26 <sub>a</sub>	253 <sub>e</sub>	6.1 <sub>e</sub>	0.18 <sub>b</sub>
	0.7	254 <sub>f</sub>	6.0 <sub>e</sub>	0.21 <sub>c</sub>	319 <sub>f</sub>	11.8 <sub>f</sub>	0.25 <sub>c</sub>

<sup>†</sup>Valores con diferente letra en una columna para una de las gomas fueron estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).  $\eta_0$ =viscosidad constante;  $c$ =consistencia;  $b$ =índice de velocidad de deformación.  $\diamond$  <sup>†</sup>Values with different letter in a column for one of the gums were statistically different (Tukey  $p \leq 0.05$ ).  $\eta_0$ =constant viscosity;  $c$ =consistency;  $b$ =index of deformation speed.

líneas horizontales en una deformación dada (líneas verticales), aumentaron en las salsas con GG en relación con el incremento de la concentración (0.2 % < 0.5 % < 0.7 %). Pero, en las salsas con GX las diferencias ocurrieron únicamente entre la menor y las concentraciones mayores; al parecer la concentración menor no impactó las propiedades viscoelásticas (Figuras 2A y 3A). La pérdida de la linealidad en presencia de GX ocurrió en deformaciones mayores ( $g \leq 1$ ), y la caída de los módulos dinámicos fue más drástica en comparación con las muestras con GG. Este comportamiento pudo deberse a que la estructura del sistema formado con GG estuvo más alterada o que el reordenamiento estructural fue mayor (Figuras 2B y 3B).

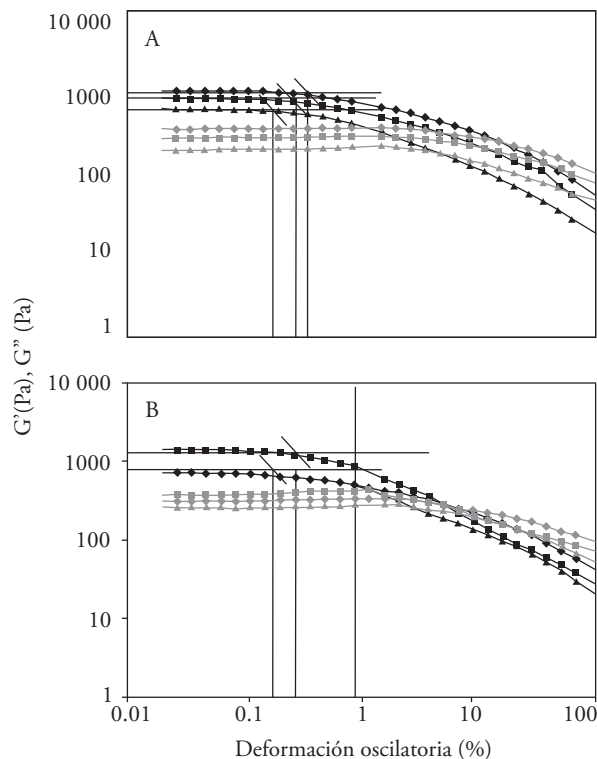
### Barridos de frecuencia

En todas las muestras la respuesta elástica predominó sobre el carácter viscoso durante el intervalo de frecuencias estudiado ( $G'G''$ ). Los módulos dinámicos ( $G'$  y  $G''$ ) de las salsas adicionadas con gomas, incrementaron significativamente con el aumento de la frecuencia en comparación con la muestra testigo (Figuras 4 y 5). Este comportamiento indicó la formación de una red de tipo gel débil poco estructurado, típico de sistemas dispersos viscoelásticos. La pendiente positiva de las líneas de comportamiento mostró la contribución de la fase sólida en la estructura del sistema, sin llegar a la formación de red tridimensional (Rao, 2013).

The viscosity in emulsions with heated GG or XG depended on XG (Desplanques *et al.*, 2012). Naji *et al.* (2012) obtained opposite results and observed that dispersions of XG, heated up to 121 °C for 15 min, decreased significantly the viscosity, and they studied the gum without taking into consideration other components, such as salts. The sauces, due to the number of components such as salt, plant particles, water, gum or others, are more complex systems than a binary solution. XG, in addition to having a higher molecular weight than GG, has anionic polyelectrolyte nature, which is why the rheological behavior could be impacted by the presence of salts in chili pastes. Sodium or potassium chloride in solutions with xanthan gum help to maintain the ordered structure and increase the thermal stability (Katzbauer, 1998). The instability of the system formed with GG could be due to the increase in temperature and decrease of pH (higher dissociation of  $H^+$  ions from heat). Both extrinsic factors, in high levels, could affect the hydration speed of the gum and decrease the viscosity (Carlson and Ziegenfuss, 1965; BeMiller and Whistler, 1996; Srichamroen, 2007).

### Viscoelastic properties

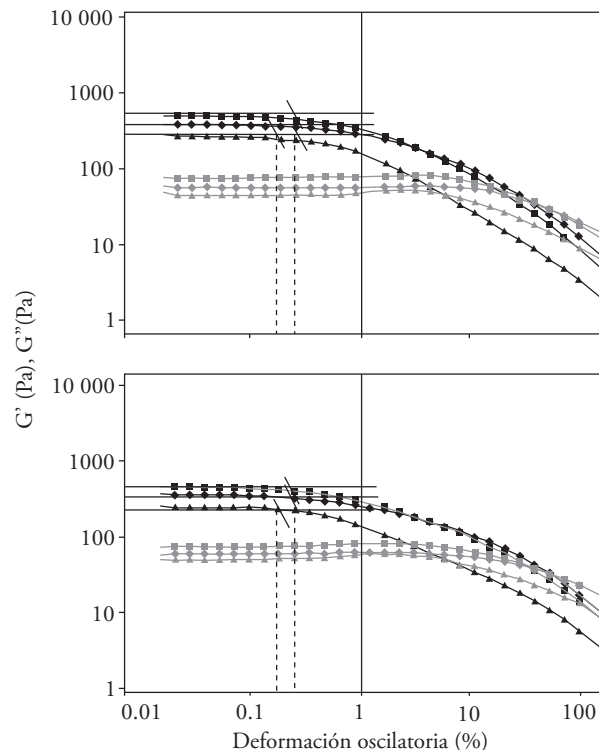
The dynamic modulus of storage ( $G'$ ) and loss ( $G''$ ), the viscoelastic region, and the critical deformation (point at which the dynamic modulus cease to be constant), represented by the horizontal lines in a specific deformation (vertical lines),



**Figura 2.** Módulo elástico ( $G'$ , símbolos oscuros) y módulo viscoso ( $G''$ , símbolos grises) como función de la deformación ( $\gamma$ ) de salsas de chile habanero adicionadas con 0.2 ( $\blacktriangle$ ), 0.5 ( $\blacksquare$ ) y 0.7 % ( $\blacklozenge$ ) de goma guar sin tratamiento térmico (A) y con él (B).

**Figure 2.** Elastic modulus ( $G'$ , dark symbols) and viscous modulus ( $G''$ , grey symbols) as function of the deformation ( $\gamma$ ) of habanero chili sauces added with 0.2 ( $\blacktriangle$ ), 0.5 ( $\blacksquare$ ) and 0.7 % ( $\blacklozenge$ ) of guar gum without thermal treatment (A) and with it (B)

Los módulos dinámicos ( $G'$ ,  $G''$ ) de las salsas con GG incrementaron con la concentración ( $G', G''_{0.2\%} < G', G''_{0.5\%} < G', G''_{0.7\%}$ ), pero para salsas con GX no hubo diferencias significativas entre 0.5 y 0.7 % ( $G', G''_{0.2\%} < G', G''_{0.5\%} = G', G''_{0.7\%}$ ). Esto pudo deberse a la concentración mayor de GX (0.7 %), la interacción molecular y que la fuerza iónica favoreció a las fuerzas repulsivas o al apantallamiento de cargas, lo que disminuyó la asociación polimérica e impidió la formación de una red estructurada y rígida. La concentración crítica efectiva observada para GX fue menor que para GG (0.5 %), pues no hubo significancia en el flujo y viscoelasticidad a concentraciones mayores.

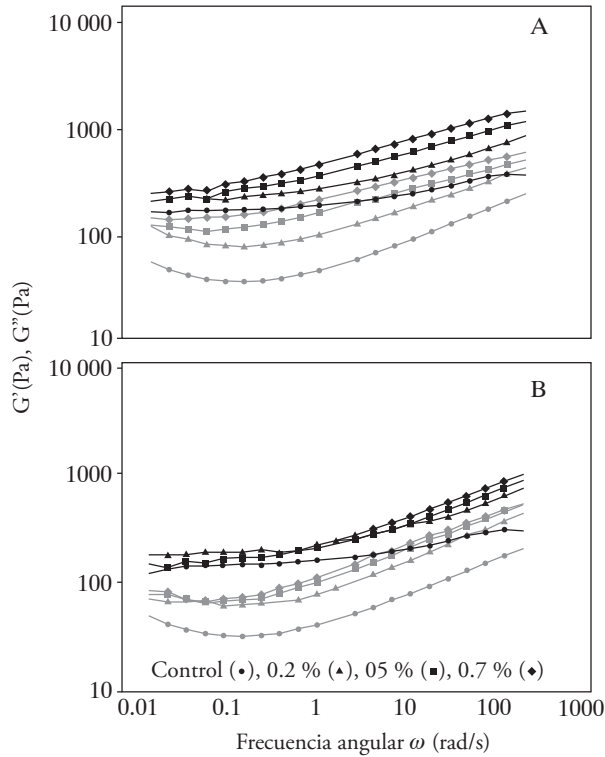


**Figura 3.** Módulo elástico ( $G'$ , símbolos oscuros) y módulo viscoso ( $G''$ , símbolos grises) como función de la deformación ( $\gamma$ ) de salsas de chile habanero adicionadas con 0.2 ( $\blacktriangle$ ), 0.5 ( $\blacksquare$ ) y 0.7 % ( $\blacklozenge$ ) de goma xanta sin tratamiento térmico (A) y con él (B).

**Figure 3.** Elastic modulus ( $G'$ , dark symbols) and viscous modulus ( $G''$ , grey symbols) as function of the deformation ( $\gamma$ ) of habanero chili sauces added with 0.2 ( $\blacktriangle$ ), 0.5 ( $\blacksquare$ ) and 0.7 % ( $\blacklozenge$ ) of xanthan gum without thermal treatment (A) and with it (B).

increased in sauces with GG in relation to the increase in concentration ( $0.2\% < 0.5\% < 0.7\%$ ). However, in the sauces with XG the differences occurred only between the lowest and the highest concentrations; it seems that the lowest concentration didn't impact the viscoelastic properties (Figures 2A and 3A). The loss of linearity in presence of XG took place in higher deformations ( $g \leq 1$ ), and the fall in the dynamic modulus was more drastic in comparison to the samples with GG. This behavior could be because the structure of the system formed with GG was more altered or because the structural reordering was greater (Figures 2B and 3B).



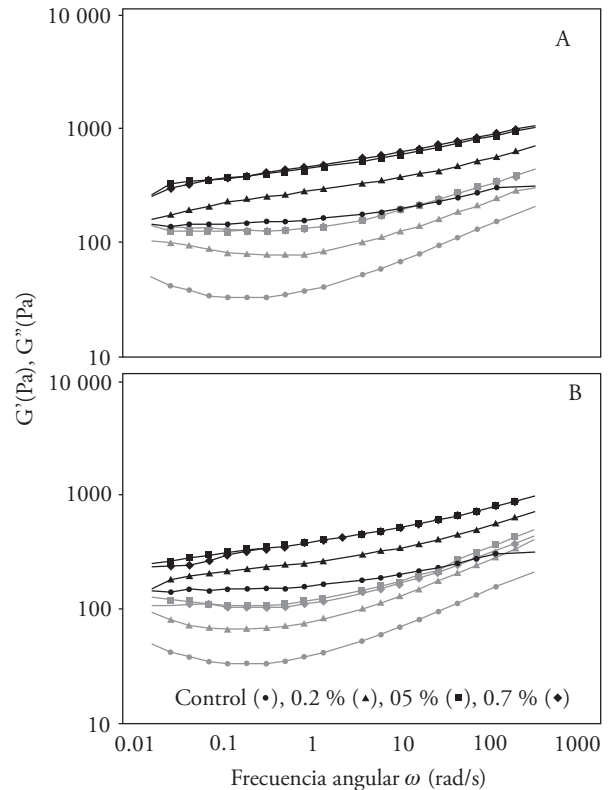


**Figura 4.** Modulo elástico ( $G'$ ) y de almacenamiento ( $G''$ ) en función de la frecuencia angular de salsas de chile habanero con concentraciones diferentes de goma guar sin tratamiento térmico (A) y con él (B).

**Figure 4.** Elastic ( $G'$ ) and storage ( $G''$ ) modulus in function of the angular frequency of habanero chili sauces with different concentrations of guar gum without thermal treatment (A) and with it (B).

Los valores  $G'$  y  $G''$  de todos los tratamientos disminuyeron ligeramente con el tratamiento térmico; pero para salsas con GG la separación entre  $G'$  y  $G''$  fue mayor que con GX (Figura 4B y 5B). Esto pudo deberse a la degradación de la estructura de la GG por la temperatura, que afectó las interacciones moleculares con el medio acuoso y entre sus propias cadenas. En las moléculas de la GX la temperatura favoreció la velocidad de hidratación y, por tanto, la formación de una red estable (Sworn, 2000).

Las propiedades reológicas de las salsas de chile habanero mejoraron con las tres concentraciones de las gomas. Además, la temperatura afectó positivamente la salsa con GX, pues mejoró la viscosidad y los módulos dinámicos (elástico y pérdida) en comparación con GG.



**Figura 5.** Modulo elástico y de almacenamiento en función de la frecuencia angular de salsas de chile habanero con concentraciones diferentes de de goma xanta sin tratamiento térmico (A) y con él (B).

**Figure 5.** Elastic ( $G'$ ) and storage ( $G''$ ) modulus in function of the angular frequency of habanero chili sauces with different concentrations of xanthan gum without thermal treatment (A) and with it (B).

### Frequency sweeps

In all the samples the elastic response predominated over the viscous character during the interval of frequencies studied ( $G' > G''$ ). The dynamic modulus ( $G'$  and  $G''$ ) of the sauces supplemented with gums increased significantly with the increase of frequency in comparison with the control sample (Figures 4 and 5). This behavior indicated the formation of a network of a slightly structured, weak type of gel, typical of disperse viscoelastic systems. The positive slope of the lines of behavior showed the contribution of the solid phase in the structure of the system, without reaching the formation of a tridimensional network (Rao, 2013).

## CONCLUSIONES

Las gomas (xantana o guar) adicionadas a salsas de chile habanero mejoran el comportamiento reológico. La GX puede utilizarse como aditivo en la industria alimentaria en salsas que se someterán a tratamiento térmico, porque en concentraciones bajas sus características espesantes y asociación iónica (en presencia de sales) son térmicamente estables.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo I0015 de Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica (2014) del CONACYT por el financiamiento del proyecto 224806 para la adquisición de equipos utilizados para la realización de este estudio. Agradecemos también a la INDUSTRIA AGRÍCOLA MAYA S.A. DE C.V., por la donación de la pasta de chile habanero para el desarrollo del presente estudio.

## LITERATURA CITADA

- BeMiller, J. N., and R. L. Whistler. 1996. Carbohydrates. *In*: Fennema, O. R. (ed.). Food Chemistry, 3rd ed. Marcel Dekker. New York, USA. pp: 157-223.
- Carlson, W. A., and E. M. Ziegenfuss. 1965. The effect of sugar on guar gum as a thickening agent. *Food Tech.* 19: 954-958.
- Carreau, P. J. 1972. Rheological equations from molecular network theories. *Trans. Soc. Rheol.* 16: 99-127.
- Chenlo, F., R. Moreira, and C. Silva. 2010. Rheological properties of aqueous dispersions of tragacanth and guar gums at different concentrations. *J. Texture Stud.* 41: 396-415.
- Desplanques, S., F. Renou, M. Grisel, and C. Malhiac. 2012. Impact of chemical composition of xanthan and acacia gums on the emulsification and stability of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloid* 27: 401-410.
- Dipjyoti, S., and B. Suvendu. 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Int. J. Food Sci. Tech.* 47: 587-597.
- FAOSTAT (Statistics of the Food and Agriculture Organization of the United States). 2013. Faostat domains Production crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> (Consulta: Mayo 2015).
- FDA (Food and Drugs Administration). 2010. Draft Guidance for Industry: Acidified Foods. Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocuments-RegulatoryInformation/AcidifiedLACF/ucm222618.htm> (Consulta: Abril 2015).
- Gamonpilas, C., W. Pongjaruvat, A. Fuongguchat, P. Methacanon, N. Seetapan, and N. Thamjedsada. 2011. Physicochemical and rheological characteristics of commercial chilli sauces as thickened by modified starch or modified starch/xanthan mixture. *J. Food Eng.* 105: 233-24.

The dynamic modulus ( $G'$ ,  $G''$ ) of the sauces with GG increased with the concentration ( $G', G''_{0.2\%} < G', G''_{0.5\%} < G', G''_{0.7\%}$ ); however, for sauces with XG there were no significant differences between 0.5 and 0.7 % ( $G', G''_{0.2\%} < G', G''_{0.5\%} = G', G''_{0.7\%}$ ). This could be due to the higher concentration of XG (0.7 %), the molecular interaction and because the ionic force favored the repulsive forces or the shielding of charges, decreasing the polymer association and impeding the formation of a structured and rigid network. The effective critical concentration that was observed for XG was lower than for GG (0.5 %), since there was no significance in the flow and viscoelasticity at greater concentrations.

The  $G'$  and  $G''$  values of all the treatments decreased slightly with the thermal treatment; but for sauces with GG the separation between  $G'$  and  $G''$  was higher than with XG (Figure 4B and 5B). This could be because of the degradation of the structure of GG from temperature, which affected the molecular interactions with the aqueous medium and between its chains. In the XG molecules, the temperature favored the hydration speed and, therefore, the formation of a stable network (Sworn, 2000).

The rheological properties of habanero chili sauce improved with the three concentrations of gums. In addition, the temperature affected positively the sauce with XG, since it improved the viscosity and the dynamic modulus (elastic and loss) as compared to GG.

## CONCLUSIONS

Gums (xanthan or guar) added to habanero sauces improve the rheological behavior. XG can be used as an additive in the food industry in sauces, which will be subjected to thermal treatment, because in low concentrations its characteristics of thickening and ionic association (in presence of salts) are thermally stable.

—End of the English version—

-----\*-----

Hesarinejad, M. A., A. Koocheki, and S. M. A. Razavi. 2014. Dynamic rheological properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum: Effect of concentration, temperature and heating/cooling rate. *Food Hydrocolloid* 35: 583-589.

- IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial). 2010. Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Chile Habanero de la Península de Yucatán. Disponible en: [http://www.impi.gob.mx/TemasInteres/Paginas/declaratoria\\_general\\_de\\_proteccion\\_de\\_la\\_habanero.aspx](http://www.impi.gob.mx/TemasInteres/Paginas/declaratoria_general_de_proteccion_de_la_habanero.aspx). (Consulta: Abril 2015).
- Jaramillo-Flores, M. E., L. Dorantes-Alvarez, R. García-Barrientos, and J. Welti-Chanes. 2010. Mexican Prickled Jalapeño Pepper. *In*: Hui, Y. H. (ed.). Handbook of Fruits and Vegetable Flavors, Chapter 49. John Wiley and Sons Inc. New York, USA. pp: 949-962.
- Katzbauer, B. 1998. Properties and applications of xanthan gum. *Polym. Degrad. Stabil.* 59: 81-84.
- Marcotte, M., A. R. Taherian-Hoshahili, and H. S. Ramaswamy. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Res. Int.* 34: 695-703.
- Martínez-Padilla, L. P., and C. Rivera-Vargas. 2006. Flow behaviour of Mexican sauces using a vane-in-large cup rheometer. *J. Food Eng.* 72: 189-196.
- Naji, S., M. A., Razavi, and H. Karazhiyan. 2012. Effect of thermal treatments on functional properties of cress seed (*Lepidium sativum*) and xanthan gums: A comparative study. *Food Hydrocolloid.* 28: 75-81.
- NMX-1978, Norma Mexicana (1978) que establece la determinación de pH en alimentos. NMX-F-317-S-1978. Dirección General de Normas. Mayo 23, 1978.
- NMX-1982, Norma Mexicana (1982) que establece la determinación de sólidos solubles para productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. NMX-FF-015-1982. Dirección General de Normas. Junio 10, 1982.
- NMX-1982, Norma Mexicana (1982) que establece la determinación de humedad en alimentos (método rápido de la termobalanza). NMX-F-428-1982. Dirección General de Normas. Octubre 7, 1982.
- Rao, M. A. 2013. Flow and functional models for rheological properties of fluids foods. *In*: Rheology of Fluid, Semisolid and Solid Foods. Principles and Applications, 3rd ed. Springer. New York, USA. pp: 27-36.
- Ruiz, L. N., L. F. Medina, y M. E. Martínez. 2011. El chile habanero: su origen y usos. *Rev. Ciencia* 62: 70-77.
- SIAP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Anuario Estadístico de la producción agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. (Consulta: Marzo 2015).
- Sikora, M., L. Juszcak, M. Sady, and J. Krawontka. 2003. Use of starch/xanthan gum combinations as thickeners o cocoa syrups. *Mol. Nutr. Food Res.* 47: 106-113.
- Sikora, M., N. Badrie, A. K. Deisingh, and S. Kowalski. 2008. Sauces and dressings: a review of properties and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48: 50-77.
- Srichamroen, A. 2007. Influence of temperature and salt on viscosity property of guar gum. *Naresuan Univ. J.* 15: 55-62.
- Sworn, G. 2000. Gellan gum. *In*: Philips G. O, and P. A. Williams (eds). Handbook of Hydrocolloids. Woodhead Publ. Ltd., New York. USA. pp: 117-134.
- Tadros, T. F. 2009. General classification of surface-active agents used in agrochemical formulations. *In*: Colloids in Agrochemicals: Colloids and Interface Science, Volume 5. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. Weinheim, Germany. pp: 7-18.
- Wang, Q., P. R. Ellis, and S. B. Ross-Murphy. 2000. The stability of guar gum in an aqueous system under acidic conditions. *Food Hydrocolloid* 14: 129-134.