

**ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA Y PROPIEDADES DE RELAJACION DE GELES DE MEZCLAS ALMIDON DE MAIZ CEROSO ENTRECruzADO-GELANA****TEXTURE PROFILE ANALYSIS AND STRESS RELAXATION PROPERTIES OF CROSSLINKED WAXY MAIZE STARCH-GELLAN MIXED GELS**

N. B. Casas-Alencáster, D. G. Pardo-García\*

*Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales de Alimentos, Depto. de Ingeniería y Tecnología, FES Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México  
Av. Iro. de Mayo s/n C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Edo. De México*

Recibido 30 Julio 2004; Aceptado 06 Diciembre 2004

**Resumen**

Se evaluaron las propiedades texturales y reológicas de geles de mezclas almidón de maíz ceroso entrecruzado (AMCE) (1-4% p/p) y gelana (0.25% p/p), bajo pruebas de perfil de textura por compresión (PTC) y punción (PTP) a 12 y 43% de deformación, respectivamente, y pruebas de relajación por compresión a 8, 12, 16, y 19% de deformación. El AMCE disminuyó la dureza e impartió elasticidad y cohesividad a los geles de gelana. En pruebas de PTP todos los geles sufrieron fractura; sin embargo, la presencia y concentración de AMCE influyeron en las características de la fractura. Al aumentar la concentración del almidón la fuerza de fractura disminuyó entre 78.4 y 45.7% respecto a los geles de gelana sola, un comportamiento similar se observó en la distancia de fractura. En las pruebas de relajación no se tuvo acceso a la zona de viscoelasticidad lineal; sin embargo, se obtuvo un buen ajuste al modelo de Maxwell Generalizado y el empleo de un modelo empírico reveló que los geles con AMCE exhibieron un comportamiento más próximo al sólido-elástico que los geles de gelana sola. La pérdida de agua por sinéresis disminuyó notablemente al aumentar la concentración de almidón. La magnitud de la disminución va desde 15.6% hasta 2.1%, dependiendo de la deformación aplicada y la concentración de almidón.

*Palabras clave:* mezclas de hidrocoloides, gelana, almidón de maíz ceroso entrecruzado, geles, pruebas de relajación, análisis de perfil de textura, textura.

**Abstract**

Textural and rheological properties of 1-4% w/w crosslinked waxy maize starch (CWMS) and 0.25% w/w gellan mixed gels were evaluated by texture profile analysis under uniaxial compression (TPC) and punction (TPP) at 12 and 43% strain, respectively, and stress relaxation tests at four strain levels (8, 12, 16, 19%). Presence of CWMS in gellan gels decreased hardness and increased springiness and cohesiveness. In PTP, all gels exhibited fracture, however, the presence and concentration of AMCE had an important effect in fracture characteristics. As CWMS concentration increased, fracture force decreased between 78.4 and 45.7% compared to gellan alone. A similar behavior was observed for distance at fracture. Although the linear viscoelasticity region was not reached, the stress relaxation curves showed a good fit to Maxwell Generalized model and the use of an empirical model revealed that gels with CWMS in their formulation, exhibited a higher solid-elastic behavior than those with gellan alone. Water loss due to syneresis showed a significant decrease while increasing starch concentration, in the order of 15.6% to 2.1%, depending on the concentration and applied deformation level.

*Keywords:* mixed hydrocolloids, gellan gels, crosslinked waxy maize starch, gels, stress relaxation tests, texture profile analysis, texture.

**1. Introducción**

Mezclas de almidones con otros polisacáridos son usadas comúnmente en la industria de alimentos, ya que proporcionan una amplia variedad de propiedades físicas,

reológicas y texturales, mejoran el desempeño durante los procesos, ayudan a diversificar las aplicaciones y coadyuvan en la obtención de nuevos productos. Las propiedades reológicas y texturales de las

\*Autor para la correspondencia: E-mail: [denisse\\_pardo@yahoo.com](mailto:denisse_pardo@yahoo.com)  
Tel/Fax: (55) 56232038

mezclas de almidón con hidrocoloides dependen del tipo de ambos componentes y de las condiciones de preparación. Al adicionar un hidrocoloide a un sistema con almidón, el primero formará parte de la fase continua y dependiendo de si es gelificante o no, influirá de diferente manera en las propiedades de las mezclas. Las mezclas de almidón-hidrocoloides han sido objeto de estudio por diferentes investigadores, con enfoques que van desde el desarrollo de viscosidad durante la cocción de las pastas, el comportamiento de las mezclas en caliente, el proceso de gelificación (cuando éste se da) y las propiedades de los geles compuestos, buscando, entre otras cosas, dilucidar la estructura de los sistemas.

El almidón de maíz ceroso entrecruzado (AMCE) y la goma gelana, son dos polisacáridos cuyo empleo en la industria alimentaria ha tomado un gran auge. El almidón de maíz ceroso entrecruzado por estar constituido fundamentalmente de amilopectina (prácticamente exento de amilosa), se utiliza como espesante, estabilizante y texturizante, y el entrecruzamiento le proporciona estabilidad en un amplio intervalo de pH, altas temperaturas, agitación mecánica y ciclos de congelación-descongelación, además de conferir claridad a las pastas (Dickinson y Walstra, 1993; Seguchi y col., 2000). Debido a la ausencia de amilosa en este tipo de almidón, sus pastas pueden describirse como sistemas bifásicos formados por una fase continua acuosa y gránulos de almidón hinchados como fase dispersa.

La goma gelana es un polisacárido multifuncional con potencial para utilizarse en una amplia gama de productos como gelificante, texturizante y estabilizante. Tiene la particularidad de gelificar a concentraciones más bajas que otros polisacáridos por la formación y agregación de hélices inducida por cationes mono y divalentes. Las propiedades texturales de sus geles son influenciadas por la concentración

y tipo de cationes, la presencia de secuestrante y el pH. En el caso de iones monovalentes se requiere de concentraciones mayores para promover la gelificación (Nussinovitch y col., 1990a). La gelana de bajo acilo es la forma utilizada para aplicaciones en alimentos. Bajo pruebas de perfil de textura, sus geles pueden ser descritos como duros, firmes, frágiles y no elásticos comparados con agar,  $\kappa$ -carragenina y gelatina. Las pruebas de perfil de textura también han sido utilizadas para estudiar el efecto que en los geles de gelana tienen el pH, concentración y tipo de cationes, mezcla con otros hidrocoloides espesantes (xantana, guar, algarrobo, carboximetilcelulosa) y gelificantes (mezcla xantana/algarrobo, gelana de alto acilo, gelatina, agar, alginato) (Sanderson, 1990; Gibson y Sanderson, 1997; Lau y col., 2000; Sanderson y Ortega, 1994; Durán y col., 1994). Otros autores han recurrido a ensayos de compresión uniaxial, fluencia, relajación, tensión y torsión para evaluar propiedades mecánicas (módulo de deformabilidad, esfuerzo y deformación a la ruptura) de geles de gelana sola y el efecto de diferentes tipos de cationes y azúcares (Tang y col., 1997; Moritaka y col., 1995; Nussinovitch y col., 1990a, 1990b; Tang y col., 1995; Tang y col., 2001; Sworn y Kasapis, 1998). Geles compuestos de gelana/gelatina han sido estudiados por Papageorgiou y col. (1994) y Papagerogiou y Kasapis (1995) bajo pruebas de cizalla oscilatoria.

Los trabajos efectuados en mezclas almidón de maíz ceroso (entrecruzado o no) con hidrocoloides (guar, xantana, carragenina, gelana) han sido enfocados al estudio de las propiedades en cizalla estacionaria (bajo condiciones en las que no se forma gel) y oscilatoria (en pastas en caliente y geles). En sistemas de almidón de maíz ceroso entrecruzado, Sanderson (1990) y Shi y BeMiller (2002) estudiaron el desarrollo de viscosidad durante el cocimiento de las pastas con gelana y otros

polisacáridos y encontraron que la gelana tiene un mínimo efecto en acelerar el inicio del aumento de viscosidad con el almidón ceroso, en comparación con otras gomas. Descamps y *col.* (1986) observaron que la carragenina provoca un notorio aumento en la viscosidad de pastas de almidón ceroso. Abdulmola y *col.* (1996a, 1996b) analizaron sistemas almidón de maíz ceroso/gelatina y almidón de maíz ceroso/xantana midiendo el comportamiento reológico de los geles compuestos y las fases separadas bajo pruebas de cizalla oscilatoria, con el fin de probar la aplicación en estos sistemas de las leyes de mezclas de polímeros y de dilucidar la estructura de los sistemas. Con gelatina la conclusión fue que los gránulos de almidón están presentes como partículas dispersas en una matriz de gelatina, y que el principal efecto del almidón es elevar el módulo elástico ( $G'$ ) de la fase de gelatina, con la fase de almidón causando solamente un ligero efecto en el aumento de  $G'$ . Contrario a lo observado con gelatina, en los sistemas con xantana, ésta promueve la asociación de gránulos gelatinizados induciendo la adhesión entre éstos como consecuencia de un mecanismo de depleción-floculación y la reología del sistema es dominada por el almidón. Rodríguez-Hernández y *col.* (2001), estudiaron el comportamiento viscoelástico a 25°C, de mezclas de almidón de maíz ceroso/gelana bajo pruebas de cizalla oscilatoria y encontraron que el comportamiento del sistema está dominado por la gelana y a una misma concentración de ésta, el aumento de concentración de almidón tiene un mínimo efecto en el módulo elástico del sistema además de ampliar la zona de viscoelasticidad lineal y concluyen que el sistema puede ser descrito como una mezcla de gránulos rotos con amilopectina y gelana en un medio acuoso. Tecante y Doublier (1999) y Herrera y *col.* (2001) estudiaron el efecto de la adición de  $\kappa$ -carragenina (0.5%) y gelana (0.25%), respectivamente, a AMCE (2-4%), bajo pruebas de cizalla estacionaria y

oscilatoria. A 60°C, en cizalla estacionaria, encontraron un incremento de la viscosidad aparente por efecto de la adición de las gomas, mientras que en cizalla oscilatoria, no fue evidente un aumento de los módulos. En las mezclas a 25°C, bajo condiciones que favorecieron la gelificación de las gomas (presencia de cloruro de calcio), ambos sistemas mostraron espectros mecánicos típicos de geles verdaderos, pero mientras que la adición de almidón a la gelana disminuyó el módulo elástico, las mezclas con carragenina mostraron un notable incremento del mismo con relación al almidón.

Es de esperarse que los cambios en las propiedades de los geles, observados bajo pruebas de cizalla oscilatoria, por efecto de la mezcla AMCE-hidrocoloides deben reflejarse también en cambios en las propiedades texturales que son fundamentales para el desarrollo de productos en la búsqueda de estructura y propiedades físicas específicas o para resaltar o disminuir alguna propiedad textural en particular. Dado que los estudios efectuados con geles de mezclas AMCE-gelana se han enfocado a las propiedades en cizalla oscilatoria, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la concentración de AMCE en las propiedades texturales y reológicas de geles de goma gelana con iones calcio, bajo diferentes regímenes de deformación como son las pruebas de perfil de textura (por compresión y punción) y relajación por compresión.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Preparación de geles

Se utilizó una concentración constante de goma gelana de bajo acilo (Kelcogel®F Lot No. 2A0021A, Kelco) de 0.25% (p/p) y la concentración de AMCE (C\*Tex 0620, Makymat) se varió en cuatro niveles: 1, 2, 3 y 4% (p/p), que se identificarán en figuras y tablas como: B, C, D y E respectivamente,

para obtener 5 formulaciones diferentes incluyendo gelana sola identificada con la letra (A). Los geles se prepararon disolviendo la gelana en agua desionizada a temperatura ambiente con agitación magnética y calentando hasta 80°C, en una parrilla de calentamiento con agitación magnética (Corning, PC 351), manteniendo esta temperatura durante 30 minutos, al final de los cuales se adicionó CaCl<sub>2</sub> grado analítico (Productos Químicos Monterrey) en solución en una pequeña cantidad de agua calculada para reponer las pérdidas por evaporación, alcanzando una concentración final 0.01M. Cuando se prepararon mezclas, en el 65% del volumen total de agua se preparó la solución de gelana como se describió anteriormente y se dejó enfriar a temperatura ambiente. En el agua restante se suspendió en frío el almidón y se agregó la solución de gelana, calentando la mezcla a una velocidad de 1.5° C/minuto hasta 92°C, con agitación magnética, manteniendo esta temperatura por 10 minutos y adicionando por último el CaCl<sub>2</sub> en solución. La mezcla se vació en cajas de Petri de 5.3 cm de diámetro. Los geles resultantes se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se refrigeraron durante 48 h, protegidos para evitar pérdidas de humedad. Se cortaron geles en forma cilíndrica de 3.25 cm de diámetro por 1.1 cm de altura y se dejó que alcanzaran una temperatura de 25°C ± 1 al momento de realizar las pruebas.

La preparación de los geles, y los niveles de concentración empleados están basados en los estudios realizados anteriormente por Herrera y col. (2001) y son compatibles con los niveles de uso en la industria de alimentos. Lo anterior fue con el objetivo de ampliar y contrastar la investigación de estas mezclas dentro de condiciones previamente empleadas.

## 2.2. Pruebas texturales

Se utilizó un texturómetro TA XT2® Texture Analyser (Texture Technologies

Corporation, Stable Microsystems) y se efectuaron las siguientes pruebas:

### 2.2.1. Perfil de textura por punción (PTP).

Muestras cilíndricas de los geles se sometieron a dos ciclos de punción con un cilindro de acrílico de 1.27 cm de diámetro y una distancia de penetración de 43% con respecto a la altura original del gel, a una velocidad de 0.2 cm/s, con un tiempo de espera entre ciclos de 5 s. La fuerza de contacto con la muestra fue de 0.05 N. Se calculó resistencia inicial a la punción (pendiente inicial de la curva de punción durante el primer ciclo), fuerza de fractura (pico máximo de fuerza en el primer ciclo), distancia de fractura (distancia recorrida al momento de la fractura), pendiente de caída de fuerza posterior a la fractura, fuerza mínima posterior a la fractura (fuerza mínima en el primer ciclo de punción, después de la fractura) y resiliencia (relación del área de descompresión del primer ciclo sobre el área de compresión del mismo).

### 2.2.2. Perfil de textura por compresión (PTC)

El dispositivo utilizado fue una placa de acero inoxidable de 5 cm de diámetro lubricada con aceite vegetal, para evitar que el gel se adhiriera al dispositivo. Las muestras de gel se comprimieron 12% con relación a su altura, con una fuerza de contacto de 0.05 N, una velocidad de 0.2 cm/s y un tiempo de espera entre el primero y segundo ciclos de 5 s. Se calcularon los siguientes parámetros: módulo de deformabilidad como la pendiente inicial de la curva de esfuerzo corregido-deformación corregida en el primer ciclo de compresión (con las Ecs. 1 y 2 respectivamente) y a partir de la curva fuerza-tiempo se obtuvo dureza (fuerza máxima en el primer ciclo de compresión), índice de recuperación elástica instantánea (IREI) (cociente de la distancia recuperada por el gel durante la descompresión del primer ciclo sobre la

distancia comprimida), índice de recuperación elástica retardada (IRER) (cociente de la distancia recuperada por el gel entre el término de la compresión del primer ciclo y el inicio de la compresión del segundo sobre la distancia comprimida), cohesividad (relación del área positiva del segundo ciclo sobre el área positiva del primer ciclo), resiliencia (relación del área de descompresión del primer ciclo sobre el área de compresión del mismo), masticosidad (producto de dureza por cohesividad por índice de recuperación elástica retardada). Para el cálculo de los parámetros se tomaron en consideración algunas de las recomendaciones de Pons y Fiszman (1996).

### 2.3. Pruebas reológicas

#### 2.3.1. Relajación

Se realizó en el texturómetro TA XT2® Texture Analyser (Texture Technologies Corporation, Stable Microsystems) con una placa de acero inoxidable de 5 cm de diámetro, lubricada con aceite vegetal, aplicando 4 niveles de deformación: 8, 12, 16 y 19% con respecto a la altura original del gel, durante 600 s, con una fuerza de contacto de 0.05 N a una velocidad de 0.1 cm/s. A partir de las curvas fuerza-tiempo, se calcularon el esfuerzo corregido,  $\sigma(t)$ , y la deformación corregida,  $\varepsilon(t)$ , en función del tiempo, utilizando las Ecs. 1 y 2, respectivamente, según lo reportado por Nussinovitch y col. (1990a, 1990b).

$$\sigma_c(t) = \frac{F(t)[L_0 - \Delta L(t)]}{A_0 L_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon(t) = \ln \left[ \frac{L_0}{L_0 - \Delta L(t)} \right] \quad (2)$$

Donde  $F(t)$  y  $\Delta L(t)$  son la fuerza y la deformación a un determinado tiempo;  $A_0$  y

$L_0$  el área y altura inicial del gel, respectivamente.

De las curvas de esfuerzo corregido en función del tiempo, se calculó la pérdida de esfuerzo en función del tiempo,  $Y(t)$ , con la Ec. 3

$$Y(t) = \frac{\sigma_0 - \sigma(t)}{\sigma_0} \quad (3)$$

donde  $\sigma_0$  es el esfuerzo corregido inicial;  $\sigma(t)$  es el esfuerzo corregido en función del tiempo.

Se construyeron las curvas normalizadas, las cuales fueron ajustadas a modelos empíricos linealizados sugeridos por Peleg (1979) y Peleg y Normand (1983) y aplicados en geles y otros materiales biológicos por otros investigadores como Guo y col. (1999) y Nussinovitch y col. (1990), utilizando la Ec. 4

$$\frac{t}{Y(t)} = \frac{1}{ab} + \frac{t}{a} \quad (4)$$

donde “a” es el nivel de caída del esfuerzo durante la relajación. Si  $a=0$ , el esfuerzo no se relaja (sólido elástico); si  $a=1$  el esfuerzo eventualmente caerá a cero (líquido); si  $0 < a < 1$ , se tratará de un sólido viscoelástico en el cual el esfuerzo alcanzará un valor asintótico residual. El parámetro “b” es una medida de la velocidad a la cual el esfuerzo se relaja; si  $b=0$ , el esfuerzo no se relaja. Con el valor de “a” se calculó el módulo asintótico residual,  $E_A$ , con la Ec. 5

$$E_A = E_0(1 - a) \quad (5)$$

donde  $E_0$  es el módulo de relajación inicial.

A partir de la relación esfuerzo corregido(t) - deformación corregida(t), se calculó el módulo de relajación en función del tiempo y las curvas se ajustaron al

modelo de Maxwell Generalizado con dos tiempos de relajación con la Ec. 6

$$E(t) = E_1 e^{-\frac{t}{\lambda_1}} + E_2 e^{-\frac{t}{\lambda_2}} + E_3 \quad (6)$$

donde  $E(t)$  es el módulo de relajación en función del tiempo;  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son los tiempos de relajación;  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ , representan los módulos elásticos de cada elemento del modelo.

El modelo de Maxwell Generalizado está representado mecánicamente por tres resortes conectados en paralelo, de los cuales dos están conectados en serie a un pistón y el tercero se encuentra solo. Los resortes representan la parte elástica de un material y los pistones, la viscosa (Fig. 1).

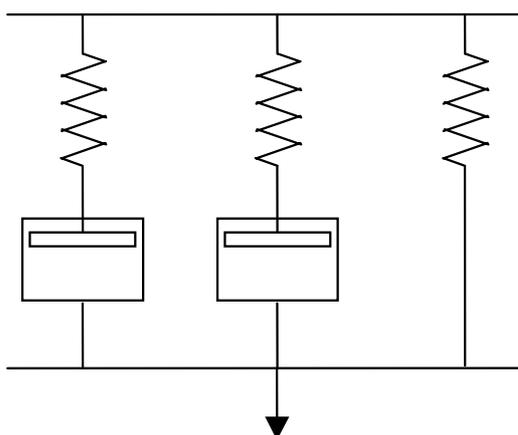


Fig. 1. Representación mecánica del modelo de Maxwell Generalizado con dos tiempos de relajación.

#### 2.4. Evaluación de Sinéresis

Se calculó la pérdida de peso por sinéresis en los geles que se sometieron a las pruebas de relajación, pesando cada gel al inicio y al final de la prueba. Las muestras se secaron suavemente con papel filtro antes de ser pesadas. La pérdida de peso está expresada como porcentaje en relación con el peso original del gel.

#### 2.5. Análisis Estadístico

Todas las pruebas se efectuaron por cuadruplicado y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para cada variable de respuesta en función de la concentración de AMCE. Cuando hubo diferencia significativa se aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan con un valor de  $\alpha=0.01$ . Se reportan las medias de las cuatro determinaciones. En las pruebas de relajación no se realizó ANOVA dado que los cálculos se efectuaron a partir de la curva promedio de las cuatro repeticiones de la prueba.

### 3. Resultados y discusión

Con el fin de que se pudieran observar claramente las figuras que distinguen a cada muestra en las curvas de pruebas de perfil de textura y relajación, se efectuó un filtrado de datos. Cabe aclarar que para fines de cálculo se consideraron todos los datos capturados durante la prueba.

#### 3.1. Perfil de textura por punción (PTP)

En la Fig. 2 se muestran curvas de perfil de textura por punción y la ampliación del primer ciclo. Puede observarse que todos los geles presentaron fractura (pico máximo de fuerza en el primer ciclo), después de la cual la fuerza cae rápidamente y los valores de la pendiente de caída de fuerza y fuerza mínima posteriores a la fractura, dependen de la concentración de AMCE. Después de este mínimo, los geles con almidón muestran cierta recuperación de fuerza, no así los de gelatina sola. El área del segundo ciclo de punción fue considerablemente menor que el primero, en especial para los geles sin almidón, indicando una pérdida de la estructura del gel. En la Tabla 1 se reportan los parámetros obtenidos para PTP. La fuerza de fractura fue mayor para los geles de gelatina sola y disminuyó significativamente al aumentar la concentración de AMCE, de 78.4% con 1% de AMCE (B), hasta 45.7 con

4% de AMCE con respecto a los geles de gelana sola. En cuanto a la resistencia inicial a la punción, los geles al 1% de AMCE (B) presentaron el valor más alto, el cual disminuyó al incrementarse la concentración de AMCE, sin que se presentara diferencia significativa entre A y C. La distancia a la que se presentó la fractura fue considerablemente mayor para los geles de gelana sola (se fracturó al 24.4% de la altura inicial del gel) y disminuyó con la presencia de AMCE hasta un 13.5% de la altura inicial del gel con 2% de AMCE, presentándose diferencia entre 2 y 4% de almidón. Los geles de gelana sola mostraron las características típicas descritas por Sanderson (1990): duros (fuerza de fractura alta) y frágiles (con fractura alrededor de 35 % de compresión); en nuestro caso, ya que la prueba se hizo por punción, es lógico tener fractura a una menor distancia (24.4%). Después de la fractura, se presentó una caída de fuerza, donde la pendiente más pronunciada fue para los geles de gelana sola (A) y disminuyó al ir aumentado la concentración de AMCE. Un comportamiento similar se observó con la fuerza mínima posterior a la fractura, ya que para los geles A, la fuerza cayó en un 92.6% y la presencia e incremento de la

concentración de almidón redujo notablemente esta caída hasta un 46.5% con 4% de AMCE. Lo anterior es indicativo de una fractura que se extiende a todo el cuerpo del gel cuando no hay AMCE (comprobado visualmente). Si bien los geles de gelana se fracturan a mayor distancia, la pendiente de caída de fuerza y el nivel de caída de la misma son indicativos de la fragilidad de los geles de gelana de bajo acilo en una prueba de punción. Consideramos que la presencia del AMCE reduce la fragilidad en el sentido de impedir una fractura extensiva. Durán y *col.* (1994), utilizando pruebas de punción, encontraron una disminución de fragilidad en ates de fruta bajos en azúcar con goma gelana, por efecto de la adición de guar, acompañado por un aumento de dureza. Este efecto es similar al observado cuando se añade xantana y mezclas de xantana-algarrobo a geles de gelana de bajo acilo.

La resilencia aumentó al incrementarse la concentración de almidón, sin embargo el análisis de este parámetro será de mayor relevancia en PTC, dado que en la pruebas de perfil de textura por punción se provoca una destrucción del gel por lo que los valores presentados son mínimos.

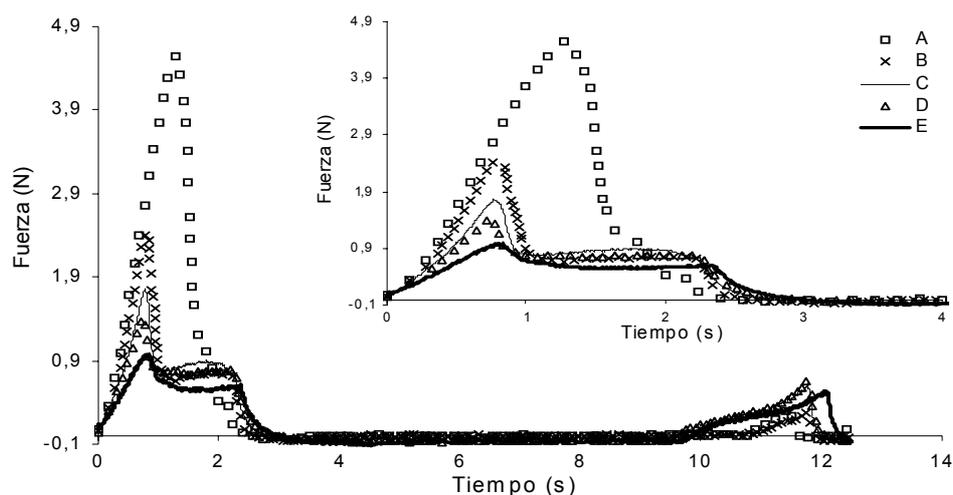


Fig. 2. Curvas de perfil de textura por punción (PTP): gelana (A), gelana-AMCE 1% (B), gelana-AMCE 2% (C), gelana-AMCE 3% (D), gelana-AMCE 4% (E).

Tabla 1. Parámetros calculados para la prueba de perfil de textura por punción (PTP).

Muestra	Resistencia Inicial a la Punción (N/mm)	Fuerza Fractura (N)	Dist. Fractura (mm)	Pendiente de Caída de Fuerza (N/mm)	Fuerza Mínima (N)	Resiliencia (-)
A	3.48 <sup>a</sup>	4.59 <sup>a</sup>	2.69 <sup>a</sup>	26.06 <sup>a</sup>	0.340 <sup>a</sup>	0.006 <sup>a</sup>
B	4.00 <sup>b</sup>	2.49 <sup>b</sup>	1.59 <sup>b,c</sup>	13.98 <sup>b</sup>	0.660 <sup>b</sup>	0.018 <sup>b</sup>
C	3.40 <sup>a</sup>	1.74 <sup>c</sup>	1.48 <sup>b</sup>	10.81 <sup>b,c</sup>	0.771 <sup>c</sup>	0.057 <sup>c</sup>
D	2.70 <sup>c</sup>	1.37 <sup>d</sup>	1.56 <sup>b,c</sup>	7.85 <sup>c</sup>	0.720 <sup>c,b</sup>	0.072 <sup>d</sup>
E	2.12 <sup>d</sup>	0.99 <sup>e</sup>	1.68 <sup>c</sup>	2.26 <sup>d</sup>	0.534 <sup>d</sup>	0.076 <sup>d</sup>

Las muestras con la misma letra no arrojaron diferencia significativa al aplicar la prueba de Duncan con  $\alpha=0.01$

### 3.2. Perfil de textura por compresión (PTC)

En PTC, la dureza (fuerza máxima en el primer ciclo de compresión) fue mayor para los geles de gelana sola, y disminuyó hasta un 68.4% al incrementarse la concentración de AMCE a 4% (Fig. 3, Tabla 2). En compresión fue menos evidente el cambio de dureza entre 0 y 1% de AMCE con relación a la fuerza de fractura en las pruebas de punción. Los resultados son congruentes con lo reportado por Herrera y col. (2001) en pruebas de cizalla oscilatoria, en el sentido de que el AMCE disminuyó la firmeza de los geles. Lau y col. (2000) y Sanderson (1990) reportan valores de dureza para geles de gelana sola (0.25-1.6%), de 20-80 N, pero dado que no hacen referencia a las dimensiones de los geles y que los niveles de compresión son diferentes (70% en comparación con 12 % en nuestro caso), es difícil hacer una comparación.

De los parámetros obtenidos en PTC y reportados en la Tabla 2, se observa que el módulo de deformabilidad disminuyó de 38.77 a 19.00 kPa al incrementarse el contenido de AMCE de 1% a 4%, con el cambio más importante de 3-4%. Para gelana sola (1 y 2% con 0.1% de cloruro de magnesio), Nussinovitch y col. (1990b) reportan valores del módulo de deformabilidad de 190 y 310 kPa respectivamente, mientras que Tang y col. (1997) desde 3.36 hasta 652.4 kPa en función de la concentración de goma y iones calcio.

Sanderson (1990) encuentra que el módulo de deformabilidad de geles de gelana (0.5%) es mayor que para agar, carragenina y gelatina en los niveles normales de uso de estas gomas, que es afectado de forma importante por la concentración de iones calcio y que la sustitución parcial de gelana con xantana disminuye el módulo de deformabilidad de sus geles. Sworn y Kasapis (1998) reportan que niveles de azúcares (glucosa, sacarosa y maltosa) hasta 20%, incrementan el módulo de deformabilidad de geles de gelana y disminuyen la cantidad de calcio necesaria para el máximo módulo, pero más allá de esta concentración el módulo disminuye drásticamente. Refieren que el módulo de deformabilidad está asociado al número de zonas de unión activas en una red de biopolímeros y que una disminución del mismo es indicativa de interrupción de la red. En el caso que nos ocupa, la disminución del módulo de deformabilidad por efecto de la adición de AMCE puede atribuirse a que los gránulos hinchados interrumpen la red del gel de gelana.

El índice de recuperación elástica instantánea, IREI, (cociente de la distancia recuperada por el gel durante la descompresión del primer ciclo sobre la distancia comprimida), en los geles de gelana sola fue de 0.725, aumentó con 1% de AMCE y disminuyó ligeramente al incrementarse su concentración, pero se mantuvo por arriba de los geles sin almidón hasta la concentración de 3%. El índice de recuperación elástica

retardada, IRER, (cociente de la distancia recuperada por el gel entre el término de la compresión del primer ciclo y el inicio de la compresión del segundo sobre la distancia comprimida) fue mayor para los geles con gelana sola (A), sin embargo, el análisis estadístico mostró que no existió diferencia significativa entre A, B, D y E, y que este parámetro disminuyó en los geles con 2% de almidón (C). Debido a que se manejó un nivel de compresión bajo y un tiempo de espera entre el primero y segundo ciclos relativamente largo (5 s) los geles mostraron un alto índice de recuperación elástica retardada. Lau y *col.* (2000), en geles de gelana-gelatina con diferentes niveles de concentración de calcio, muestran que la elasticidad fue significativamente afectada por el calcio y la relación gelana/gelatina, con la mayor elasticidad para 0.4% gelana/1.2% gelatina sin iones calcio y la menor para 0.8 % de cada polímero a la mayor concentración de iones calcio. La cohesividad (relación del área positiva del segundo ciclo sobre el área positiva del primero) presentó su valor más bajo sin almidón y aumentó de manera continua con el incremento de la

concentración de AMCE. Lau y *col.* (2000) encontraron que con 70% de compresión, los geles de gelana-gelatina presentaron la máxima cohesividad a relaciones altas y bajas gelana/gelatina. La resiliencia (relación del área de descompresión entre el área de compresión del primer ciclo) mostró un comportamiento similar al índice de elasticidad instantánea; sin gelana la muestra recuperó el 43.2% del trabajo aplicado al comprimir y alcanzó el máximo valor de 56.2% con 3% de AMCE, sin observarse diferencia significativa por efecto de la concentración de almidón. La masticosidad, (producto de la dureza por cohesividad por índice de recuperación elástica retardada) fue más alta para los geles de gelana sola y disminuyó al incrementarse la concentración de AMCE, principalmente por efecto de la dureza. El análisis estadístico arrojó que no existe diferencia significativa entre los geles A y B, y entre los geles C y D. Es evidente que el AMCE disminuye notablemente la dureza de los geles y que la cohesividad, recuperación elástica instantánea y resiliencia aumentan con la presencia de AMCE.

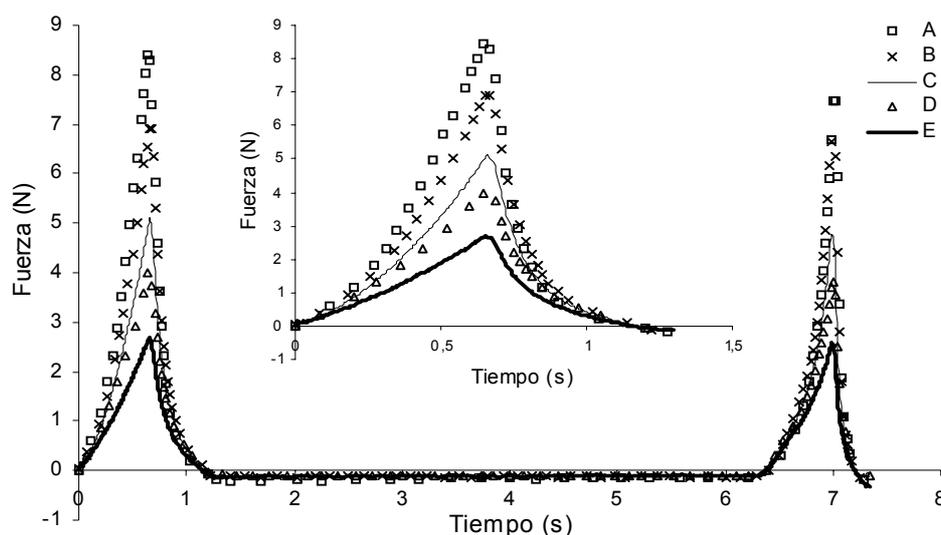


Fig. 3. Curvas de perfil de textura por compresión (PTC): gelana (A), gelana-AMCE 1% (B), gelana-AMCE 2% (C), gelana-AMCE 3% (D), gelana-AMCE 4% (E).

Tabla 2. Parámetros calculados para la prueba de perfil de textura por compresión (PTC).

Muestra	Módulo de Deformabilidad (kPa)	Dureza (N)	IREI (-)	IRER (-)	Cohesividad (-)	Resiliencia (-)	Masticosidad (N)
A	37.74 <sup>a</sup>	8.32 <sup>a</sup>	0.725 <sup>a</sup>	0.934 <sup>a</sup>	0.537 <sup>a</sup>	0.432 <sup>a</sup>	4.18 <sup>a</sup>
B	38.77 <sup>a</sup>	7.06 <sup>b</sup>	0.810 <sup>b</sup>	0.903 <sup>a,b</sup>	0.610 <sup>b</sup>	0.553 <sup>b</sup>	3.89 <sup>a</sup>
C	32.87 <sup>b</sup>	5.08 <sup>c</sup>	0.773 <sup>b</sup>	0.871 <sup>b</sup>	0.628 <sup>b</sup>	0.546 <sup>b</sup>	2.78 <sup>b</sup>
D	29.60 <sup>b</sup>	4.03 <sup>d</sup>	0.782 <sup>b</sup>	0.924 <sup>a</sup>	0.657 <sup>c</sup>	0.562 <sup>b</sup>	2.45 <sup>b</sup>
E	19.00 <sup>c</sup>	2.63 <sup>e</sup>	0.718 <sup>a</sup>	0.907 <sup>a,b</sup>	0.684 <sup>d</sup>	0.550 <sup>b</sup>	1.63 <sup>c</sup>

Las muestras con la misma letra no arrojaron diferencia significativa al aplicar la prueba de Duncan con  $\alpha=0.01$

Efectos similares a los encontrados en el presente trabajo, de reducción de dureza y fragilidad y aumento de elasticidad de geles de gelana, han sido documentados por Sanderson (1990) por la sustitución parcial de esta goma con otros hidrocoloides (xantana, xantana-algarrobo). Papageorgiou y Kasapis (1995) y Papageorgiou y *col.* (1994) investigaron el efecto de la adición de gelana y co-solutos (sacarosa y jarabe de maíz) a gelatina, bajo diferentes niveles de fuerza iónica y encontraron que la manipulación adecuada de estas variables produce geles con propiedades mecánicas y de fusión diferentes a los de gelatina sola, con mayor módulo elástico y fuerza del gel. Lo anterior muestra que la mezcla de gelana con otros ingredientes comunes en alimentos modifica de manera importante las propiedades de los sistemas resultantes, como es el caso de los geles AMCE-gelana.

### 3.3. Pruebas de Relajación

Para las pruebas de relajación, las curvas y valores con 19% de deformación no se reportan, ya que los geles presentaron fractura. Los geles de gelana sola (A) mostraron el mayor módulo inicial de relajación a todos los niveles de deformación, y una caída pronunciada del mismo en el tiempo utilizado para la experimentación, pudiendo apreciarse lo anterior en la Fig. 4 con 8% de deformación. La presencia e incremento de concentración de AMCE

disminuyó el módulo inicial y la pérdida del mismo con el tiempo, con un patrón similar al presentado por la dureza en PTC (Tabla 3). En la Tabla 4 se muestran los parámetros empíricos calculados a partir de la ecuación linealizada (Ec. 4) para las cinco formulaciones con 8, 12, y 16% de deformación, donde se observa que con almidón se alcanzó un mayor valor del módulo asintótico con relación a los geles de gelana sola y que éste disminuye a las diferentes concentraciones por efecto del aumento del nivel de deformación, presentándose un ligero aumento para A con 16% de deformación. Nussinovitch y *col.* (1990a) encontraron en geles de gelana, que la magnitud del módulo asintótico (calculado en la misma forma que en el presente trabajo), es del orden del 10% o menos del valor del módulo de deformabilidad (calculado de curvas esfuerzo corregido-deformación corregida de PTC), lo que es un referente de que los geles de gelana no son capaces de mantener una cantidad apreciable de esfuerzo sin relajar, hecho relacionado con su bajo nivel de elasticidad; estos hallazgos son similares a lo encontrado en nuestro trabajo para gelana sola en donde el módulo asintótico (al 12% de deformación) representa el 1.19% del valor del módulo de deformabilidad, acercándose los valores entre los módulos a la vez que se aumenta la concentración de AMCE (Tablas 2 y 4). El aumento de concentración de AMCE reduce la diferencia entre los módulos asintótico e

inicial de relajación. Al aumentar el nivel de deformación, disminuye el módulo asintótico para todos los geles, fenómeno similar al encontrado por Nussinovitch y col. (1990b) para geles de gelana, carragenina y agar, lo que atribuyen a que la deformación causa debilitamiento de la estructura. Las constantes empíricas (Tabla 4) muestran que los geles sin AMCE son los más alejados del comportamiento de un sólido elástico (mayor valor del parámetro “a”) y que al aumentar la concentración de almidón, el comportamiento próximo a sólido-elástico se incrementa, a la

vez que disminuye la velocidad de relajación (“b”). Lo anterior es indicativo de que el AMCE modifica el comportamiento viscoelástico de los geles actuando como un ingrediente que aumenta las propiedades de sólido-elástico al disminuir el nivel de relajación. Nussinovitch y col. (1990b), calcularon los parámetros empíricos  $k_1$  y  $k_2$  ( $k_1=1/ab$ ;  $k_2=1/a$ ) para agar, carragenina y gelana con niveles de deformación de 10-17.5% y encontraron, al igual que nosotros, que “a” y “b” aumentan al incrementarse el nivel de deformación.

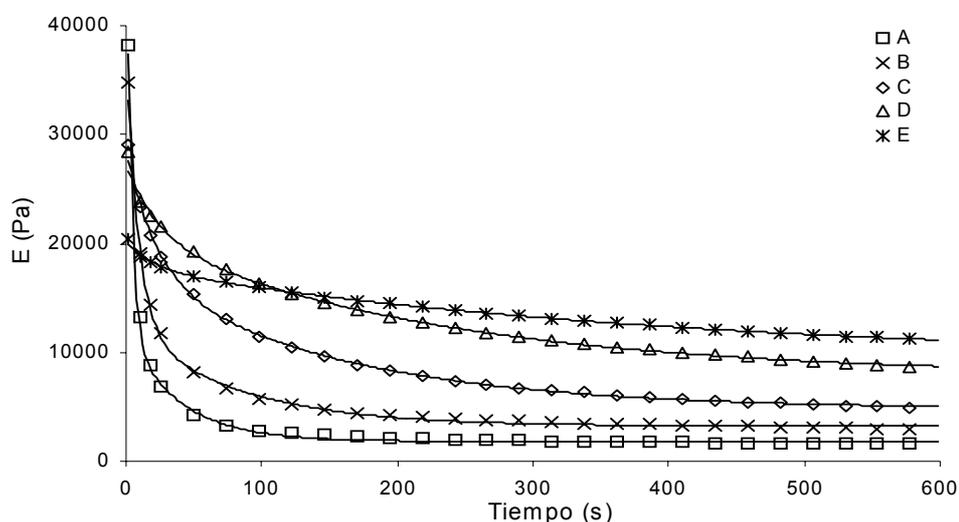


Fig. 4. Curvas de relajación y su ajuste al modelo de Maxwell Generalizado a 8% de deformación: gelana (A), gelana-AMCE 1% (B), gelana-AMCE 2% (C), gelana-AMCE 3% (D), gelana-AMCE 4% (E).

Tabla 3. Módulo inicial y pérdida del módulo de las curvas de relajación a 8, 12 y 16% de deformación.

Muestra	Módulo Inicial (kPa)			Pérdida del Módulo (%)		
	8%	12%	16%	8%	12%	16%
A	38.15	44.14	49.15	95.9	98.6	98.4
B	34.82	44.02	39.80	91.5	95.2	96.4
C	28.99	38.10	36.81	83.2	90.7	93.3
D	28.39	31.86	29.09	69.8	82.9	86.0
E	20.49	20.73	20.40	46.0	53.7	59.0

Tabla 4. Constantes empíricas de relajación a 8, 12 y 16 % de deformación.

Muestra	Módulo Asintótico (kPa)			a (-)			b (s <sup>-1</sup> )		
	8%	12%	16%	8%	12%	16%	8%	12%	16%
A	1.31	0.45	0.65	0.965	0.990	0.987	0.221	0.205	0.406
B	2.38	1.65	1.12	0.931	0.962	0.972	0.087	0.151	0.273
C	3.08	2.19	1.59	0.894	0.942	0.957	0.021	0.041	0.062
D	6.35	3.60	2.52	0.776	0.887	0.913	0.012	0.021	0.025
E	9.43	7.41	5.88	0.540	0.642	0.712	0.007	0.007	0.007

Al realizar la comparación de curvas a diferentes niveles de deformación para una misma concentración, (Fig. 5), se observó que no existe sobreposición de las mismas, mostrando dependencia con el porcentaje de deformación, por lo que se concluye que no se tuvo acceso a la zona de viscoelasticidad lineal. El hecho de que el módulo inicial aumentó al pasar de 8 a 12 % de deformación y al no haberse observado visualmente indicios de daño en el material posterior a la prueba, nos lleva a suponer que la caída de esfuerzo con el tiempo con deformación de 8% pueda estar dada fundamentalmente por un proceso de relajación, por lo que se decidió ajustar las curvas de relajación con este nivel de deformación, al modelo de Maxwell Generalizado con dos tiempos de relajación.

En la Fig. 4 se presentan las curvas de relajación, denotando los datos experimentales con figuras y con líneas las curvas de ajuste al modelo de Maxwell Generalizado, pudiéndose observar un buen ajuste ya que los datos experimentales caen prácticamente sobre la curva calculada con los parámetros obtenidos y los valores del coeficiente de correlación ( $r$ ) (Tabla 5) arrojados por el programa utilizado fueron mayores a 0.99. En la Tabla 5 se presentan los módulos y tiempos de relajación para las curvas con el menor nivel de deformación (8%) a las diferentes concentraciones de AMCE, así como los coeficientes de

correlación obtenidos al realizar el ajuste al modelo. Puede observarse que el módulo de relajación,  $E_1$ , disminuye al aumentar la concentración de AMCE y el módulo  $E_3$ , (módulo asintótico), aumenta. Asimismo, los tiempos de relajación se incrementan al aumentar la concentración de AMCE. Lo anterior es congruente con lo que arrojan los parámetros obtenidos con los modelos empíricos. Si bien no se tuvo acceso a la zona de viscoelasticidad lineal, las pruebas de relajación permitieron diferenciar claramente el efecto de la adición de AMCE en el comportamiento reológico de geles de gelatina. Gross y *col.* (1980), ajustan las curvas de relajación de geles de pectina de alto metoxilo al modelo de Maxwell con dos términos exponenciales y concluyen que están en la zona lineal por medio de un análisis de correlación entre los parámetros de fluencia transformados a parámetros equivalentes de relajación. Safari-Ardi y Phan-Thien (1998), en masas de harina de trigo de diferentes variedades, concluyen que las pruebas de relajación de esfuerzos a deformaciones altas, claramente fuera de la zona lineal, permitieron establecer diferencias entre variedades, mientras que las pruebas de cizalla oscilatoria y relajación en la zona lineal no fueron capaces de revelar tales diferencias, lo cual confirma que aún fuera de la linealidad, las pruebas arrojan información útil, en función del objetivo del estudio.

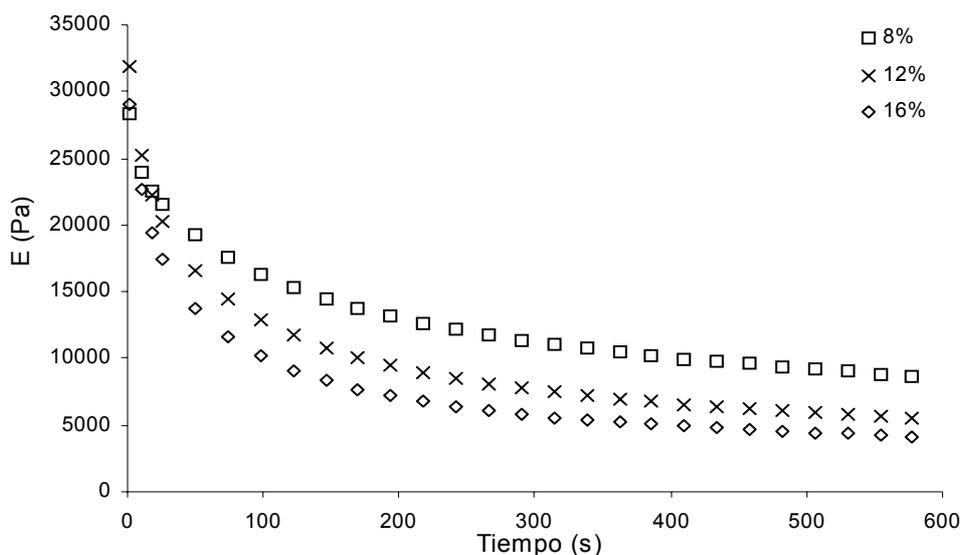


Fig. 5. Curvas de relajación de geles gelana-AMCE 3%: 8% de deformación, 12% de deformación, 16% de deformación.

Tabla 5. Parámetros del modelo de Maxwell Generalizado con dos tiempos de relajación para los geles a 8% de deformación.

Muestra	$E_1$ (kPa)	$E_2$ (kPa)	$E_3$ (kPa)	$\lambda_1$ (s)	$\lambda_2$ (s)	r
A	45.40	9.92	1.81	3.61	39.62	0.9967
B	26.38	9.38	3.22	8.52	80.32	0.9979
C	11.26	12.74	4.77	21.34	153.23	0.9995
D	6.32	13.16	7.84	22.06	220.83	0.9992
E	2.42	8.51	9.29	18.94	391.39	0.9996

Tabla 6. Porcentaje de pérdida de peso por sinéresis a 8, 12, 16 y 19% de deformación.

Deformación (%)	8	12	16	19
Muestra	Pérdida de peso (%)			
A	11.64 <sup>a</sup>	13.41 <sup>a</sup>	15.05 <sup>a</sup>	15.60 <sup>a</sup>
B	8.34 <sup>b</sup>	9.98 <sup>b</sup>	10.74 <sup>b</sup>	12.46 <sup>b</sup>
C	3.87 <sup>c</sup>	4.64 <sup>c</sup>	7.04 <sup>c</sup>	7.39 <sup>c</sup>
D	2.72 <sup>d</sup>	3.45 <sup>d</sup>	4.80 <sup>d</sup>	4.88 <sup>d</sup>
E	2.10 <sup>d</sup>	2.34 <sup>d</sup>	2.76 <sup>c</sup>	3.05 <sup>d</sup>

Las muestras con la misma letra no arrojaron diferencia significativa al aplicar la prueba de Duncan con  $\alpha=0.01$

### 3.4. Sinéresis

Al realizar las pruebas de relajación todos los geles liberaron agua de su estructura, siendo los de gelana sola los que más perdieron peso por esta razón. En la Tabla 6 se muestran los porcentajes de pérdida de agua de cada formulación a cada nivel de relajación, en relación al peso original antes de la prueba. La adición de AMCE y el incremento de su concentración disminuyeron notablemente la sinéresis debido a la gran cantidad de agua que captan los gránulos de almidón durante su hinchamiento. Al aplicar las pruebas estadísticas se obtuvo que la pérdidas de peso en las formulaciones D y E (3 y 4% de AMCE respectivamente) no mostraron diferencia significativa (excepto al 12% de deformación), debido seguramente a que en estas dos concentraciones se ha captado la mayor cantidad de agua posible.

### Conclusiones

El AMCE modifica de manera importante las características texturales y reológicas de los geles de goma gelana, debido a que los gránulos hinchados de almidón interrumpen la red del gel, disminuyendo la dureza y el módulo de deformabilidad y, al comportarse como partículas elásticas, pueden ser la causa de la disminución de los parámetros empíricos de relajación (velocidad y nivel de relajación) y del incremento del índice de recuperación elástica instantánea, la cohesividad, la resiliencia y el módulo asintótico, además de modificar el comportamiento a la fractura, la cual ocurre a menor fuerza y distancia y no es extensiva, a diferencia de los geles de gelana sola en los que la fractura se extiende a todo el gel. Otro efecto importante fue la considerable disminución de sinéresis por efecto de la adición del AMCE en los geles de gelana.

Los hallazgos muestran que esta mezcla permite diversificar aún más las aplicaciones

de la gelana, ofreciendo una amplia variedad de propiedades texturales en productos gelificados para aplicaciones en confitería, panadería, repostería y otros usos.

### Referencias

- Abdulmola, N.A., Hember, M.W.N., Richardson, R.K. y Morris, E.R. (1996a). Application of polymer blending laws to starch-gelatin composites. *Carbohydrate Polymers* 31, 53-63.
- Abdulmola, N.A., Hember, M.W.N., Richardson, R.K. y Morris, E.R. (1996b). Effect of xanthan on the small-deformation rheology of crosslinked and uncrosslinked waxy maize starch. *Carbohydrate Polymers* 31, 65-78.
- Descamps, O., Langevin, P. y Combs, D. H. (1986). Physical effect of starch/carrageenan interactions in water and milk. *Food Technology* Abril, 81-88.
- Dickinson, E. y Walstra, P. (1993). *Food Colloids and Polymers: stability and mechanical properties*. Royal Society of Chemistry. Londres.
- Durán, E., Costell, E., Izquierdo, L. y Durán, L. (1994). Low sugar bakery jams with gellan gum-guar gum mixtures. Influence of composition on texture. *Food Hydrocolloids* 8 (3-4), 373-381.
- Gibson, W. y Sanderson, G.R. (1997). Gellan Gum. En: *Thickening and Gelling Agents for Food* (2da. ed.), (Imeson, A., ed.), Pp. 119-142. Blackie Academic & Professional, Londres.
- Gross, M.O., Rao, V.N.M. y Smit, C.J.B. (1980). Rheological characterization of low-methoxyl pectin gel by normal creep and relaxation. *Journal of Texture Studies* 11, 271-290.
- Guo, Z., Castell-Pérez, M.E. y Moreira, R.G. (1999). Characterization of masa and low-moisture corn tortilla using stress relaxation methods. *Journal of Texture Studies* 30, 197-215.
- Herrera, M.G., Tecante, A. y Doublier, J.L. (2001). Steady and small-deformation rheology of crosslinked waxy maize starch-gellan pastes and co-gels. En: *Proceedings of the Eighth International Congress on*

- Engineering and Food*, (J. Welty-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas, y J. M. Aguilera, eds.), Pp. 514-518. Technomic Pub. Co. Inc., Pennsylvania.
- Lau, M.H., Tang, J. y Paulson, A.T. (2000). Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels. *Food Research International* 33, 665-671.
- Moritaka, H., Nishinari, K., Taki, M. y Fukuba, H. (1995). Effects of pH, potassium chloride, and sodium chloride on the thermal and rheological properties of gellan gum gels. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 43 (6), 1685-1689.
- Nussinovitch, A., Ak, M.M., Normand, M.D. y Peleg M. (1990a). Characterization of gellan gels by uniaxial compression, stress relaxation and creep. *Journal of Texture Studies* 21, 37-49.
- Nussinovitch, A., Kaletunc, G., Normand, M.D. y Peleg M. (1990b). Recoverable work versus asymptotic relaxation modulus in agar, carrageenan and gellan gels. *Journal of Texture Studies* 21, 427-438.
- Papageorgiou, M. y Kasapis, S. (1995). The effect of added sucrose and corn syrup on the physical properties of gellan-gelatin mixed gels. *Food Hydrocolloids* 9 (3), 211-220.
- Papageorgiou, M., Kasapis, S. y Richardson, R.K. (1994). Steric exclusion phenomena in gellan/gelatin systems I. Physical properties of single and binary gels. *Food Hydrocolloids* 8 (2), 97-112.
- Peleg, M. (1979). Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. *Journal of Food Science* 44 (1), 277-281.
- Peleg, M. y Normand, M.D. (1983). Comparison of two methods for stress relaxation data presentation of solid foods. *Rheologica Acta* 22, 108-113.
- Pons, M. y Fiszman, S.M. (1996). Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies* 27, 597-624.
- Rodríguez-Hernández, A.I., Tecante, A. y Doublier, J.L. (2001). Viscoelastic behavior of waxy maize starch-gellan mixtures under small amplitude oscillatory shear. En: *Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food*, (J. Welty-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas y J.M. Aguilera, eds). Pp. 509-513. Technomic Pub. Co. Inc., Pennsylvania.
- Safari-Ardi, M. y Phan-Thien, N. (1998). Stress relaxation and oscillatory tests to distinguish between doughs prepared from wheat flours of different varietal origin. *Cereal Chemistry* 75 (1), 80-84.
- Sanderson, G.R. y Ortega, D. (1994). Alginates and gellan gum: complementary gelling agents. En: *Food Hydrocolloids: Structures, Properties and Functions*, (K. Nishinari y E. Doi, eds.), Pp. 83-89. Plenum Press, Nueva York.
- Sanderson, G.R. (1990). Gellan Gum. En: *Food Gels*, (P. Harris, ed.), Pp. 201-231. Elsevier Science, Londres.
- Seguchi, M., Yasui, T., Hosomi, H., e Imai, T. (2000). Study of Internal Structure of Waxy Wheat Starch Granules by KI/I<sub>2</sub> Solution. *Cereal Chemistry* 77 (3), 339-342.
- Sworn, G. y Kasapis, S. (1998). Effect of conformation and molecular weight of co-solute on the mechanical properties of gellan gum gels. *Food Hydrocolloids* 12, 283-290.
- Tang, J., Mao, R., Tung, M.A. y Swanson, B.G. (2001). Gelling temperature, gel clarity and texture of gellan gels containing fructose or sucrose. *Carbohydrate Polymers* 44, 197-209.
- Tang, J., Tung, M.A. y Zeng, Y. (1995). Mechanical properties of gellan gels in relation to divalent cations. *Journal of Food Science* 60 (4), 748-752.
- Tang, J., Tung, M.A., Lelievre, J. y Zeng, Y. (1997). Stress-Strain relationships for gellan gels in tension, compression and torsion. *Journal of Food Engineering* 31, 511-529.
- Tecante, A. y Doublier, J.L. (1999). Steady flow and viscoelastic behavior of crosslinked waxy corn starch-k-carrageenan pastes and gels. *Carbohydrate Polymers* 40, 221-231.
- Shi, X. y BeMiller, J.N. (2002). Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydrate Polymers* 50, 7-18.