

Análisis comparativo del comportamiento reológico de bases para aderezos de ensaladas adicionados con distintos hidrocoloideos

Agustina Zangrando, Susana Santana, Graciela Celma, Rosa M. de Breier, Patricia Della Rocca

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires
Grupo Tecnología de Alimentos, Departamento de Ingeniería Química
Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina.
patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 14 de marzo de 2009; aceptado el 20 de mayo de 2009

Resumen

El objetivo del presente trabajo es el estudio del comportamiento reológico de diferentes formulaciones bases para aderezos de ensaladas (emulsiones de aceite en fase acuosa) a las que se incorporaron almidón nativo, almidón modificado, goma guar y goma xántica. Todas las muestras analizadas mostraron un comportamiento no newtoniano de carácter pseudoplástico que se pudo describir con la ecuación de la ley de la potencia (Ostwald-de-Waele) y también tixotropía ya que la viscosidad aparente no estaba relacionada exclusivamente con la velocidad de deformación sino también con el tiempo. El almidón modificado mejoró el comportamiento reológico de las formulaciones (aumento de la pseudoplasticidad) respecto del almidón nativo. El agregado de concentraciones muy bajas de goma guar y xántica a las formulaciones incrementaron notablemente la pseudoplasticidad. Los datos experimentales obtenidos con las muestras que contenían almidón modificado y goma guar se ajustaron también satisfactoriamente con el modelo de Herschel-Bulckley modificado.

PALABRAS CLAVES: EMULSIÓN ACEITE-AGUA - HIDROCOLOIDES - REOLOGÍA

Abstract

The aim of the present work is the study of the rheological behaviour of different dressing salads (emulsions of oil in water fase) that contained native starch, modified starch, guar gum and xantic gum. All the samples showed a non Newtonian behaviour with pseudoplastic nature which could be described by the power law (Ostwald-de-Waele) and also thixotropy because the apparent viscosity was related not only with the stress rate but the time also. The modified starch improved the rheological behaviour of the samples (pseudoplasticity increase) with regard to native starch. The addition of low concentrations of guar gum and xantic gum to the samples enlarged the pseudoplasticity. The experimental data obtained with the samples that contained modified starch and guar gum were adjusted satisfactorily with the modified Herschel-Bulckley model.

KEYWORDS: OIL-WATER EMULSION - HYDROCOLLOIDS - RHEOLOGY

Introducción

El estudio del comportamiento reológico de los hidrocoloides tiene especial relevancia cuando se emplean para modificar la textura de diversas formulaciones alimenticias (Yaseen et al, 2004). Las propiedades reológicas juegan un importante rol en el diseño de procesos. Los datos reológicos se necesitan para los cálculos de flujo de fluidos en cualquier proceso (bombeo, extracción, filtración, extrusión, etc) (Marcotte et al., 2001). Los hidrocoloides (xantanos, carragenatos, pectinas, almidones y gelatinas) son usados ampliamente en alimentos debido a sus propiedades funcionales. Numerosos estudios se han llevado a cabo para analizar las características reológicas de los hidrocoloides individualmente o como integrantes de formulaciones alimentarias (Abdelrahim, 1995; Da Silva y Rao, 1997; Dickie y Kokini, 1983; Krumel y Sarkar, 1975; Sanderson, 1981; Stanley, 1990; White, 1993).

La viscosidad de los hidrocoloides puede ser significativamente afectada por variables como la velocidad de deformación, temperatura, presión y tiempo de deformación. Para los fluidos newtonianos a temperatura y presión constante la viscosidad no varía con la velocidad de deformación. En el caso de los fluidos no newtonianos la viscosidad puede decrecer con un aumento en la velocidad de deformación dando lugar a un comportamiento pseudoplástico o puede incrementarse cuando se está en presencia de un fluido dilatante. La pseudoplasticidad ocurre debido a una alineación molecular en el interior de una sustancia (Glickman, 1969). El efecto de la concentración sobre la viscosidad aparente de los hidrocoloides es generalmente descrito por una relación exponencial o potencial (Rao, 1977; Speers et al, 1986). La temperatura tiene una importante influencia en el comportamiento del flujo de soluciones de hidrocoloides. El efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente es generalmente expresado por un modelo tipo Arrhenius (Rao, 1977; Speers et al, 1986). Varios modelos han sido utilizados para describir el comportamiento de soluciones de hidrocoloides: Newtoniano, Bingham, ley de la potencia (Ostwald-de-Waele), Herschel-Bulkley y Casson. El modelo de la ley de la potencia es tal vez el más extensamente empleado para líquidos no newtonianos y el más aplicado en la práctica ingenieril (Barnes et al, 1989). Las propiedades reológicas de las soluciones de hi-

drocoloides podrían también exhibir una dependencia con el tiempo (tixotropía), en la que la viscosidad aparente disminuye con el tiempo. El modelo logarítmico modificado de Weltmann (Weltmann, 1943) ha sido aplicado para describir el comportamiento reológico de las soluciones de carboximetilcelulosa y pectinas en yogures.

La interacción sinérgica de mezclas de gomas en la viscosidad ha sido también objeto de numerosos estudios. Khouryieh et al, 2006 analizó el comportamiento de las mezclas de goma xántica y guar a distintas temperaturas.

Cabe resaltar que el comportamiento viscoso de los productos es importante en muchas áreas de la tecnología de alimentos y puede convertirse en un factor significativo en determinados procesos, que se hacen más ineficientes a altas viscosidades en los procesos de bombeo, agitación, mezclado, etc, en los que se requiere que el fluido se mueva con menor resistencia y una mayor facilidad. De esta manera, se consumiría una mayor cantidad de energía en su movimiento. A una gran variedad de alimentos como la mayonesa o la salsa ketchup, se les exige determinadas características de textura: untabilidad y flujo bajo pequeños esfuerzos, pero que mantengan su forma cuando están en reposo. Así, la viscosimetría es un importante componente de la calidad de alimentos fluidos y semi-fluidos. Los hidrocoloides se agregan al producto a fin de aumentar la viscosidad de la solución que integra el sistema bifásico. Los productores nacionales en general eligen el tradicional almidón de maíz nativo debido principalmente a su bajo costo, teniendo como desventaja que una vez gelatinizado presenta el fenómeno de retrogradación y subsiguiente sinéresis con el transcurso del tiempo. Otros hidrocoloides, como las gomas guar y xántica pueden sustituir al almidón a nivel industrial ya que en menores concentraciones pueden brindar mayor consistencia a costos comparables y minimizar la sinéresis.

La goma guar es el polisacárido del endospermo de la semilla de *Cyamopsis tetragonolobus*, familia de las leguminosas. Ofrece un especial interés, derivado del hecho de presentar simultáneamente las propiedades de los polisacáridos lineales y las de los ramificados. Se presenta como una larga cadena de unidades de D-manosa y las pequeñas cadenas laterales de restos de una sola molécula de D-galactosa.

La molécula es por lo tanto muy larga, pero con numerosas ramas laterales muy cortas.

La goma xántica es un polisacárido extracelular elaborado por diversas especies de Xanthomonas, siendo X. campestris el microorganismo comercialmente utilizado para su síntesis. Su estructura consiste en una cadena de celulosa con grupos de oligosacáridos unidos como ramificaciones.

Parte Experimental

Preparación de las Muestras

Las muestras se elaboran a partir de las materias primas (formulación según Jellinek, 1985). Los espesantes usados son almidón de maíz nativo (Buffalo 034010) 3% m/m, almidón modificado al 3.8 % m/m, goma guar al 0.1 % y 0.3%, goma xántica al 0.3 %. El pH final se ajusta siempre a 4.0 a 20°C. Las muestras se envasan en frascos estériles y se conservan en refrigeración hasta su análisis.

Metodología

Para la caracterización reológica se utiliza un viscosímetro Brookfield RVDVII con Small sample adapter, baño termostatzado Brookfield con controlador digital Modelo TC 502. Las muestras se termostatzan a $20 \pm 0,5$ °C. Cada muestra es sometida a un ciclo de deformación (curvas ascendente o ida y descendente o vuelta) incrementando la velocidad cada 10 segundos variando el gradiente de velocidad. Las medidas se llevan a cabo por triplicado. Se mide el tor

que para cada gradiente de velocidad. La viscosidad aparente se calcula a partir de la ley de Newton. El umbral de fluencia se estima a partir de la curva de flujo (esfuerzo vs. velocidad de deformación) extrapolando a deformación 0 en la curva ascendente (Barbosa & Peleg 1983). Se estudia la dependencia con el tiempo a través de la determinación de la viscosidad aparente a velocidad constante. Se selecciona la velocidad en la que se encuentre el mayor grado de histéresis, encendiendo el rotor en dicha velocidad. Se mide durante 5 minutos cada 10 s (Barbosa & Peleg 1983). Se determina la retención de la fracción líquida de las muestras realizando un Half Hour Blotter Test (Bridge & Company-Printers and Stationers, London).

Análisis de Resultados

A fin de describir el comportamiento reológico de las diferentes muestras, se ajustaron los datos experimentales obtenidos a diversos modelos encontrados en la literatura.

El modelo de Ley de la Potencia (Ostwald-de-Waele) ajusta satisfactoriamente los datos experimentales obtenidos con todas las muestras. En la Tabla 1 se muestran los valores obtenidos de a, coeficiente de consistencia; b, índice del comportamiento del flujo y R², coeficiente de determinación. En todas las muestras el índice de comportamiento de flujo, b, es menor que la unidad indicando un comportamiento pseudoplástico. Se puede inferir que cuando en las muestras se reemplaza el almidón nativo por el modificado el coeficiente de consistencia aumenta notablemente. Cuando se incrementa la

CONTENIDO EN ESPESANTES DE LAS FORMULACIONES (% M/M)	A (PA.S ^b)	B	R ²
almidón nativo 3.8 % y goma guar 0.3 %	40.138	0.2748	0.9972
almidón nativo 3.8 % y goma guar 0.1 %	12.987	0.3104	0.9992
almidón modificado 3.8 % y goma guar 0.1 %	40.666	0.2648	0.2648
almidón modificado 3.8 % y goma guar 0.3 %	74.52	0.2926	0.9900
almidón modificado 3.8 % y 0.3 % goma xántica	62.294	0.2374	0.9941
almidón modificado 3.8 % y 0 % goma	32.306	0.3455	0.9924

Tabla 1. Valores de los parámetros a y b obtenidos al ajustar con la Ley de la Potencia los datos experimentales de todas las formulaciones estudiadas

concentración de goma en las muestras para una misma concentración de un mismo tipo de almidón, el coeficiente de consistencia resulta superior. Asimismo, cuando se comparan las muestras que contienen la misma concentración de goma xántica que de guar se aprecia que las formulaciones con goma guar presentan un mayor coeficiente de consistencia y de índice de comportamiento de flujo.

En la Figura 1 se muestran los datos experimentales de la formulación con almidón modificado 3.83 % y goma guar 0.3 % y el ajuste de la ecuación de la Ley de la Potencia a los mismos.

Los datos experimentales obtenidos con las muestras que contenían almidón modificado y goma guar se ajustaron con el modelo de Herschel-Bulckley modificado. La ecuación del modelo utilizado es:

$$\sigma^{n_1} = \sigma_0^{n_1} + k_1 \gamma^{n_2}$$

donde: σ es el esfuerzo de corte (Pa)
 γ es la velocidad de deformación (s^{-1})
 σ_0 , n_1 , n_2 y k_1 son los parámetros del modelo

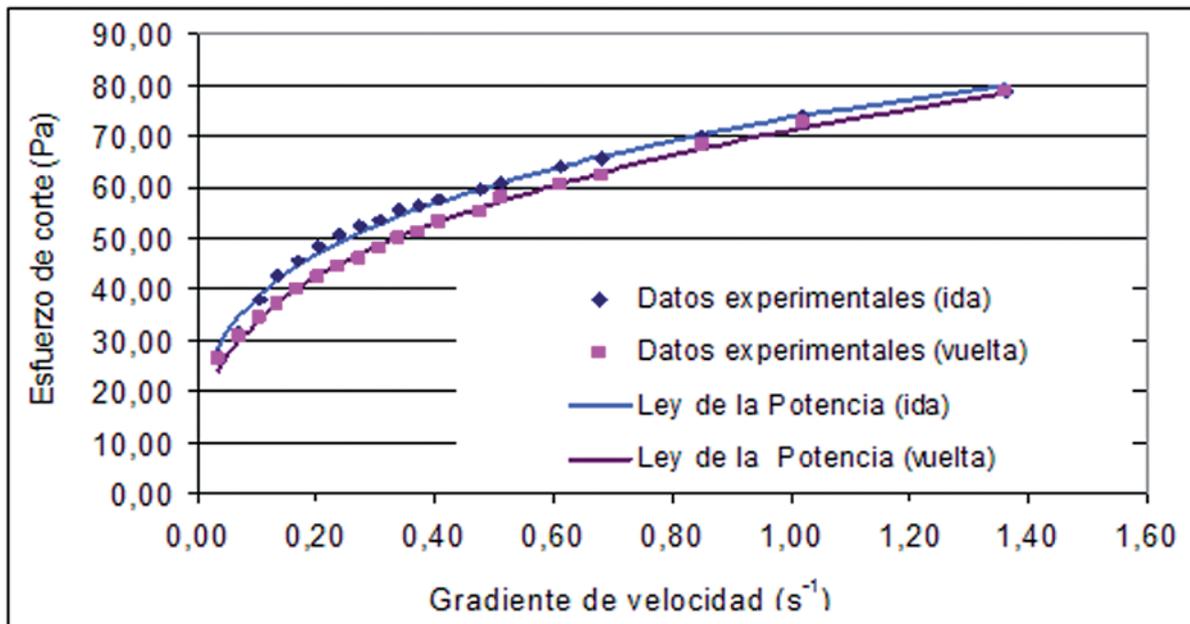


Fig 1. Ajuste de los datos experimentales de la muestra con almidón modificado 3.83 % y goma guar 0.3 % con el modelo de la Ley de la Potencia

Se apreció un comportamiento de las muestras dependiente del tiempo, que se puede apreciar en las curvas experimentales (ida y vuelta). En la curva de ida se representa la variación de la velocidad de rotación de la muestra en el equipo hasta una dada velocidad y a partir de allí se disminuye la velocidad hasta la inicial en la curva vuelta. En cada una de estas velocidades se determina el esfuerzo de corte. El descenso de la viscosidad aparente no está relacionado exclusivamente con la velocidad de deformación, sino también con el tiempo, atribuyéndose esto último a un comportamiento tixotrópico. Estas representaciones presentan un bucle de histéresis, ya que el camino de ida no coincide con el de vuelta.

En la Figura 2 se aprecian los datos experimentales obtenidos con la muestra que contiene almidón modificado 3.83 % y goma guar 0.3 % y el ajuste de los mismos con el modelo de Herschel-Bulckley modificado. Comparando los dos modelos matemáticos propuestos se observa que este último ajusta mejor los datos debido a que contiene un mayor número de parámetros.

En la Tabla 2 se muestran los parámetros estimados del modelo de Herschel-Bulckley modificado y su coeficiente de variación de las muestras con almidón modificado y goma guar 0.3 y 0.1 %, respectivamente.

MUESTRA	Σ_0	N_1	K_1	N_2	CV (%)
Almidón modificado 3.83 % y goma guar 0.3 % Trayecto ida (aumento de la velocidad de deformación) Trayecto vuelta (disminución de la velocidad de deformación)	7.32 10 ⁻⁵	0.46	7.38	0.13	0.021
	1.19	0.12	0.65	0.11	0.011
Almidón modificado 3.83 % y goma guar 0.1 % Trayecto ida (aumento de la velocidad de deformación) Trayecto vuelta (disminución de la velocidad de deformación)	0.86	0.53	6.17	0.16	0.040
	1.33	0.56	6.40	0.19	0.044

Tabla 2. Valores de los parámetros de ajuste del modelo de Herschel-Bulckley y coeficiente de variación de las formulaciones con almidón modificado y goma guar en las dos concentraciones estudiadas

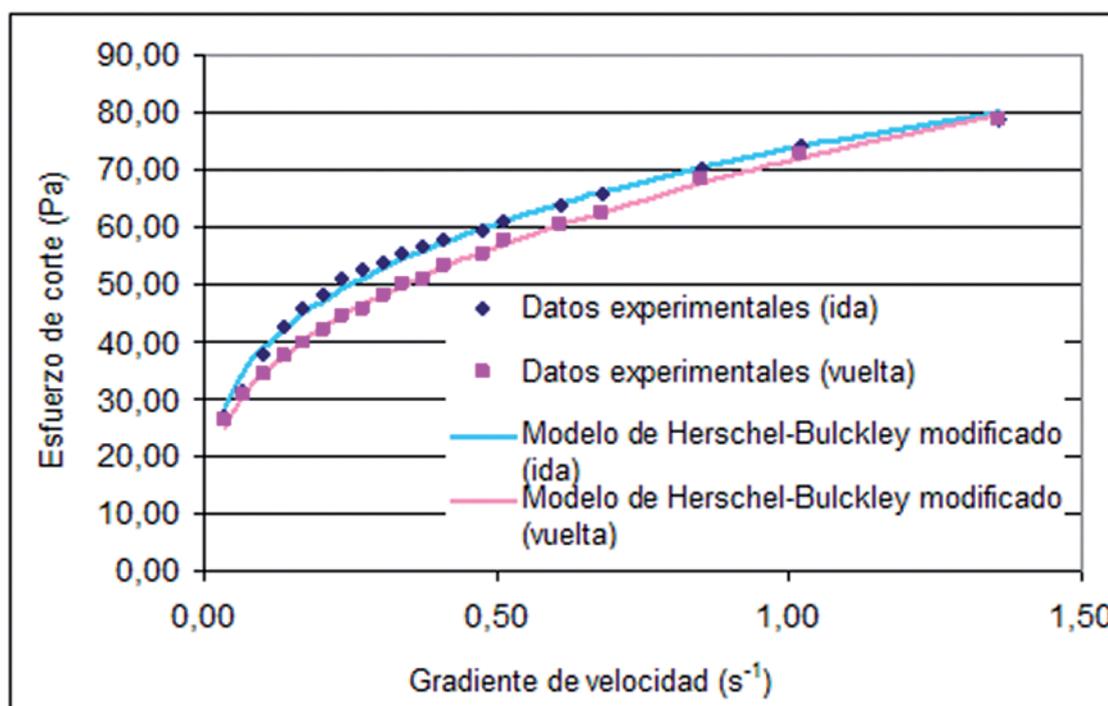


Fig 2. Ajuste de los datos experimentales de la muestra con almidón modificado 3.83 % y goma guar 0.3 % con el modelo de Herschel-Bulckley modificado.

Conclusiones

El almidón modificado mejora notablemente la consistencia de las formulaciones cuando se compara con el nativo. Asimismo el agregado de gomas guar y xántica incrementan la consistencia de la base de aderezo. Por lo general, un aumento en la concentración de gomas aumen-

ta el coeficiente de consistencia y disminuye el índice de flujo aumentando la pseudoplasticidad. Si se compara el agregado de goma xántica con el de goma guar se aprecia un notable aumento de la pseudoplasticidad con el agregado de goma xántica.

Referencias

- ABDELRAHIM, K.A.; RAMASWAMY, H.S.; VAN DE VOORT, F.R. (1995) *Food Research International* 28, pp. 473–480.
- BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. (1989) *Viscosity: An introduction to rheology*. Elsevier Applied Science, New York. pp.11–35.
- DA SILVA, M.S.; RAO, M.A. (1995) *Food Technology* 49 (10), pp. 70–73.
- DA SILVA, M.S.; PEDRO, J.C.; RAO, M.C. (1997) *Journal Texture Studies*. 28, pp. 123–138.
- DICKIE, M.; KOKINI, J.L. (1983) *Journal of Food Science* 48, pp. 57–65.
- GLICKMAN, M. (1969) *Rheology, Texture and Gums: Gum technology in the food industry*. Academic Press, New York and London. Chapter 3, pp. 56–93..
- KHOURYIEH, H.A.; HERALD, T.J.; ARAMOUNI, F.; ALAVI, S. (2006) *Food Research International*, 39 (9), pp 964-973.
- KRUMEL, K.L.; SARKAR, N. (1975). *Food Technology* 29 (4), pp. 36–44.
- MARCOTTE, M.; TAHERIAN HOSHAHI, A.R.; RAMASWAMY, H. S. (2001). *Food Research International*, 34 (8), pp 695-703
- RAO, M.A. (1977) *Journal Of Texture Studies*. (8), pp. 135–168
- SANDERSON, G.R. (1981) *Food Technology*. 74 , pp. 50–56.
- STANLEY, N. F. (1990). *Carrageenans. in: food gels*. Elsevier Applied Science, New York. Chapter 3, pp. 79–119.
- SPEERS R. A.; TUNG M. A. (1986). *Journal Of Food Science* 51, pp. 96–98.
- WELTMANN, R. N. (1943) *Journal Of Applied Physics* 14, pp. 343–350.
- WHITE, J.P.; DAVIDSON, V.J.; OTTEN, L. (1993) *Canadian Institute Of Food Science And Technology Journal*, 26, pp 109-129.
- YASEEN, E. I., HERALD T. M., ARAMOUNI, F.M., ALAVI, S.(2005). *Food research international*, 38 (2), pp 111-119.