



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

VISCOSIMETRÍA CON IMPULSOR HELICOIDAL EN LA CARACTERIZACION
REOLÓGICA DE ESPUMAS PARA LA COMPARACIÓN FUNCIONAL
DE PROTEÍNAS ESTABILIZADAS POR GOMAS

PUBLICACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

CLAUDIA BERENICE CALZADA ESPINOZA

ASESOR: M.C. ROSA MANUELA ARRIAGA ORIHUELA



CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2005

m. 344909



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA 28
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

La publicación: Viscosimetría con Impulsor Helicoidal en la Caracterización
Reológica de Espumas para la comparación Funcional de Pro--
teínas Estabilizadas por Gomas

que presenta la pasante: Claudia Berenice Calzada Espinoza

con número de cuenta: 9101263 - 2 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de Abril de 2005

PRESIDENTE MC. Rosa Manuela Arriaga Orihuela

VOCAL IA. Laura Margarita Cortazar Figueroa

SECRETARIO MC. Carolina Moreno Ramos

PRIMER SUPLENTE IA. Miriam Edith Fuentes Romero

SEGUNDO SUPLENTE MC. Enrique Martínez Manrique

DEDICATORIAS

A DIOS

POR ESTAR JUNTO A MI COMO MI ANGEL GUARDIAN SIEMPRE.

A BETO

QUE NUNCA DESISTIO PARA QUE ESTE TRABAJO SE CULMINARA

A LUCY

POR LA MUJER QUIEN SOY

A TAVO Y LALA

GRACIAS POR ESTAR A MI LADO EN TODO MOMENTO

A PATTY ALARCON Y FAMILIA.

POR APOYARME SIEMPRE EN MI VIDA COMO MI SEGUNDA FAMILIA

A MIS SOBRINOS

QUE ESTE LOGRO PROFESIONAL MOTIVE LOS SUYOS PROPIOS

RECONOCIMIENTOS

A LA PROFRA. ROSA M. ARRIAGA ORIHUELA.

POR SU APOYO Y COMPRESION SIEMPRE PARA LA CULMINACION DE ESTE TRABAJO Y ESTA META PROFESIONAL

A LAURA MAQUEDA HURTADO

AMIGA, QUE ESTE LOGRO NOS LLEVE A OTRO MAS
POR EL TIEMPO COMPARTIDO JUNTAS ESTOS AÑOS PARA QUE ESTE TRABAJO
SE REALIZARA

AL PROF. BERISTAIN

POR SU APOYO PARA LA CULMINACION DE ESTE TRABAJO

A LAPRYFAL

A LA GENERACION 18^{ava.}

POR TODOS LOS SUEÑOS COMPARTIDOS

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
METODOLOGIA EXPERIMENTAL	5
Preparación y dispersión de las espumas	5
Evaluación de la expansión y estabilidad de las espumas	5
Densidad de las espumas	6
Caracterización reológica de espumas	6
RESULTADOS Y DISCUSION	9
CONCLUSIONES	18
REFERENCIAS	18

VISCOSIMETRÍA CON IMPULSOR HELICOIDAL EN LA CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE ESPUMAS PARA LA COMPARACIÓN FUNCIONAL DE PROTEÍNAS ESTABILIZADAS POR GOMAS

Arriaga- Orihuela, R. M., Calzada- Espinoza C. B., Maqueda- Hurtado, L. E. y F. Beristain

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (Campo 1). Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales en Alimentos. Avenida 1º de mayo s/n, Colonia Santa María las Torres. CP 54740. Estado de México - México.

E-mail : ferber@servidor.unam.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue emplear geometrías helicoidales adaptadas a un viscosímetro para la evaluación de parámetros reológicos empleados para la comparación funcional de proteínas con capacidad espumante: Caseinato de sodio (CS), Aislado proteico de soya (APS) y Albúmina de huevo (AH) estabilizadas por Carboximetil Celulosa (CMC) y Xantana en concentraciones de 0,05, 0,1 y 0,15%. Las espumas se prepararon empleando 2% de proteína determinando la estabilidad del volumen de la espuma (EVE) y la estabilidad del líquido en la espuma (ELE), el rendimiento y parámetros reológicos. Se utilizó, para las determinaciones reológicas de espumas un viscosímetro Rheomat modelo VT550 con geometría helicoidal. Las espumas se ajustan al modelo reológico de la potencia con adelgazamiento al corte en todas las formulaciones. El APS y el CS desarrollan espumas con mayor EVE, ELE y rendimiento que la AH, sin embargo, aún cuando la viscosidad aparente de las espumas recién preparadas con AH son menores en comparación con las de APS y CS, se mantienen en mayor medida con el tiempo sobre todo al emplear CMC. De lo anterior resulta que la evaluación de los parámetros reológicos permite ampliar la información sobre el comportamiento funcional de las proteínas.

Palabras clave: Espumas, proteínas espumantes, reología de espumas, geometrías helicoidales, viscosimetría de mezclado.

HELICOIDAL IMPELLER VISCOMETRY ON RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF FOAMS FOR FUNCTIONAL COMPARING OF PROTEINS STABILIZED WITH GUMS

Abstract

The aim of this work was to employ helicoidal geometries adapted to a viscometer to evaluate rheological parameters used to functional comparing of proteins with foaming capacity: Sodium Caseinate (CS), Soya Isolate Protein (APS), and Egg Albumin (AH) stabilized by Carboxymethylcellulose (CMC) and Xantana Gums at different concentrations (0,05, 0,1 and 0,15%). Foams were prepared using protein at 2% determining volume stability in foam (EVE) and liquid stability in foam (ELE), yield and rheological parameters. A Rheomat Viscometer VT550 Model with helicoidal geometry was used for rheological determinations of foams. Foams behavior is adjusted by the Power Law Model with Shear Thinning over all concentrations. APS and CS develop foams with a greater EVE, ELE and yield than AH, however, even when apparent viscosity of foams recently prepared with AH are smaller than those prepared with APS and CS, they are sustained in a greater way with time, specially when using CMC. These results indicate that rheological parameters evaluation permits to enlarge the information about functional behavior of proteins.

Key words: Foams, Foaming proteins, Foam rheology, helicoidal geometry, mixing viscometry.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran variedad de espumas alimenticias con texturas muy diferentes, las más conocidas son los merengues, las cremas y mantequillas batidas, los pasteles, la producida por las cervezas y el pan. Las espumas son utilizadas para proporcionar textura, consistencia y apariencia en diferentes tipos de productos alimenticios. Se forman comúnmente al disminuir la tensión en la interfase gas-líquido por medio del uso de agentes tensoactivos como lo son algunas proteínas o, en algunos casos, ciertos hidratos de carbono. Son varios los factores que influyen en las propiedades espumantes de las proteínas, entre los cuales se tiene su estructura y estabilidad conformacional, interacciones secundarias, grado de modificación, pH, agentes oxidantes-reductores, etc (Kinsella, 1984).

Las espumas pueden ser clasificadas como sólidas o líquidas. Las espumas sólidas son materiales plásticos o elásticos en las que su comportamiento mecánico (reológico) depende principalmente de las propiedades físicas de la fase sólida y la densidad del material. Las espumas líquidas son más difíciles de caracterizar, en general consisten de una fase de aire discontinua que es dispersada en una continua de líquido, estas son inestables con tiempos de vida en rangos de pocos segundos a algunos días y requieren agentes activos de superficie para mantener la estabilidad mediante la reducción de la tensión superficial. A volúmenes de fases de aire bajas son fluidos viscosos, pero a volumen de aire altos son materiales viscoelásticos. (Pernell et al, 2002).

Entre los factores que determinan respuesta reológica de las espumas líquidas se tienen; el volumen de aire incorporado, la viscosidad de la fase continua, la distribución del tamaño de las burbujas, y la forma de la burbuja (Weaire, 1989, Princen, 1989). La complejidad reológica de las espumas va más allá de la viscosidad dependiente de la velocidad de cizallamiento, la existencia del esfuerzo inicial y otras características no Newtonianas que pueden ser descritas por una relación constitutiva para el cuerpo de la espuma, "El deslizamiento en la pared" es otra más de las características curiosas del flujo de espumas.

El deslizamiento depende de las condiciones de la vecindad de la pared cuya visión a nivel de celda depende de la existencia de una delgada película de fluido que no precisamente se desliza sino que humedece la pared y lubrica el flujo de la espuma (Princen, 1989). Este fenómeno resulta común al emplear geometrías convencionales para las evaluaciones reológicas (cono y placa, cilindros concéntricos etc.). El pequeño volumen que se requiere en estas geometrías y el cizallamiento al que es sometida origina destrucción en la estructura de la espuma, de manera que los resultados en muchos casos son mas bien debidos a las alteraciones de la espuma durante la medición, lo que es más común cuando las espumas son de baja consistencia y estabilidad.

Prud'homme y Khan (1996) adaptaron un impulsor de paleta a un reómetro haciendo posible la medición del esfuerzo inicial en espumas y suspensiones concentradas. Este método ha sido aplicado en productos con estructura compleja como es el helado (Briggs et al., 1996), y en la evaluación de la funcionalidad de proteínas como espumantes (Pernel et al., 2000), sin embargo se considera que este método resulta limitado cuando se presenta inestabilidad de las espumas, de manera que el cizallamiento propicia que se incrementen los cambios debidos a la inestabilidad de la espuma, lo cual es función también de las velocidades rotacionales del impulsor empleadas.

Una de las características del empleo de los impulsores helicoidales es su alta eficiencia aún en bajas velocidades de mezclado, ya que al ser de proximidad (mantienen relaciones geométricas diámetro del recipiente – diámetro del impulsor cercanas a uno), disminuyen la existencia de zonas estáticas dentro del recipiente de mezclado (Merquiol y Choplin, 1988, Brito et al., 1990), además las velocidades de cizalla desarrolladas son menores a las obtenidas en otras geometrías (Arriaga- Orihuela et al., 1997b), lo que en las espumas se considera ventajoso ya que es común que el cizallamiento producido en la evaluación las desestabilice.

En este trabajo se estudió el empleo de una hélice adaptada a un viscosímetro, para la determinación de parámetros reológicos aplicados a la comparación de las propiedades espumantes de distintas proteínas, en presencia de polisacáridos empleados como estabilizantes.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Preparación y expansión de las espumas

Las proteínas empleadas fueron: Caseinato de sodio ALANATE 180 (New Zeland Milk Products. México), Aislado de soya FP940 (Food Technology, S.A. de C.V., México) y Albúmina de huevo (Helm de México), a una concentración de 2% en todos los casos, como estabilizantes se emplearon: Carboximetilcelulosa (CMC) y Xantana (Gomas Naturales S.A., México) a concentraciones de 0.05, 0.1 y 0.15% (p/p). Para cada una de las formulaciones, la proteína y el polisacárido se mezclaron con agua destilada a 25°C en una batidora Kitchen Aid (10 velocidades mod. Classic K45SS) a velocidad 2 por un tiempo de 5min para su completa dispersión, batiendo posteriormente a la velocidad 8 por un tiempo de 15min. Estas son las condiciones en las que se obtiene la expansión mayor de la espuma.

Evaluación de la expansión y estabilidad de la espuma

Se empleó el método de batido-drenado propuesto por Patel et al, (1988) donde se propone que el rendimiento ($R(\%)$) de la espuma es:

$$R(\%) = \frac{\text{Peso}100\text{mlDPE} - \text{Peso}100\text{mlE}}{\text{Peso}100\text{mlDPE}} \quad (1)$$

Donde DPE se refiere a la dispersión de proteína- estabilizante y E corresponde a la espuma.

La estabilidad del líquido en la espuma ($ELE(\%)$) se calculó mediante:

$$ELE\% = 100 - \frac{VLD}{VolumenDPE} \quad (2)$$

Donde VLD es el volumen del líquido drenado después de 30min de preparación de la espuma, el cual queda dividido entre el volumen de DPE antes de batir.

La estabilidad del volumen de la espuma (EVE) es:

$$EVE\% = \frac{Volumen\ Espuma\ después\ de\ 30\ min}{Volumen\ Espuma\ 0\ min} \times 100 \quad (3)$$

Las determinaciones se realizaron por triplicado a 25°C y en la sección de resultados se presentan los valores promedio.

Densidad de las espumas

Las espumas recién preparadas se colocaron cuidadosamente en recipientes con capacidad de 25 cm³, empleados para la evaluación de la densidad de materiales viscosos (Pirex No. 1620 – 25), mismos que fueron previamente desecados y tarados, pesando posteriormente los recipientes con la espuma y calculando la densidad por medio de la relación masa/volumen. En todos los casos las evaluaciones se realizaron por triplicado.

Caracterización reológica de espumas

Se empleó un viscosímetro rotacional Haake VT550 (Karlsruhe, Germany) al cual se le adaptó una geometría helicoidal (Figura 1). Para el cálculo de la viscosidad aparente (η) se tomaron datos de velocidad rotacional (N) y par de torsión (M) para cada una de las espumas estudiadas.

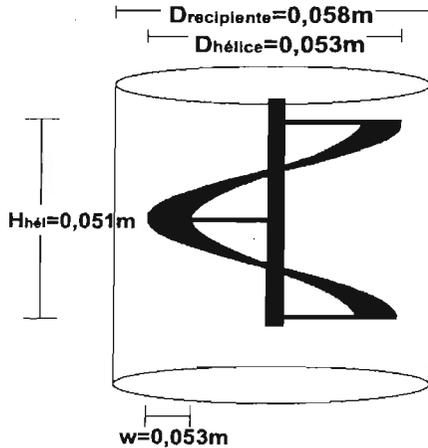


Fig. 1: Dimensiones de la Geometría Helicoidal usada en la caracterización reológica de espumas

Los recipientes para la colocación de la espuma en la evaluaciones reológicas, tienen una relación Dt/D (Diámetro del recipiente - Diámetro del impulsor) igual a 1.094, necesarias para mantener la analogía de flujo Couette.

En trabajos previos (Arriaga- Orihuela et al., 1997b; Arriaga et al., 2002) para la evaluación reológica de distintos fluidos usando geometrías helicoidales, se mostró que si el comportamiento reológico se ajusta al modelo Ostwald de Waele, la ecuación que define su comportamiento es la que corresponde a la curva del numero de potencia para el mezclado en régimen laminar (Ecuación 5).

$$P_0 = \frac{\text{Constante}}{Re_m} \quad (5)$$

Donde P_0 es el Numero de Potencia, Re_m es el Numero de Reynolds de mezclado y la constante se obtiene de la curva del numero de potencia para el mezclado en régimen

laminar de fluidos de calibración newtonianos. Los números P_o y Re_m de la ecuación 5 son adimensionales y se definen por las ecuaciones 6 y 7:

$$P_o = \frac{P}{\rho D^5 N^3} = \frac{2\pi MN}{\rho D^5 N^3} \quad (6)$$

$$Re_m = \frac{\rho ND^2}{\eta} \quad (7)$$

P es la potencia (N m/s); D es el diámetro del impulsor (m); M es el par de torsión (N m); N es la velocidad rotacional (rps); ρ es la densidad del fluido (Kg/m^3); η es la viscosidad aparente (Pa s). De esta manera conociendo los parámetros M y N del mezclado de las espumas y el valor de la constante de la ecuación 5, es posible el calculo de la η . Dicho de otra manera, por medio de la curva del número de potencia característica de la hélice, obtenida para fluidos newtonianos, es posible el calculo de las propiedades reológicas de fluidos que siguen la ley de la potencia (Arriaga- Orihuela et al., 1997a y Arriaga- Orihuela et al., 2002). En este mismo sentido Ait-Kadi et al. (2001), desarrollaron un procedimiento para la determinación de viscosidad aparente de fluidos de propiedades reológicas desconocidas a través de expresiones para fluidos newtonianos, por medio de reometría de mezclado, de manera que estos procedimientos facilitan la obtención de parámetros reológicos en sistemas complejos como lo son las espumas.

En este trabajo la curva del numero de potencia de la hélice fue obtenida con fluidos de calibración newtonianos con viscosidades entre 0.1 y 3 Pa s, trabajando en régimen laminar ($Re_m < 10$) a 25°C cuya ecuación es:

$$P_o Re_m = 136.24 \quad (8)$$

Por otro lado, se puede decir que el fluido cumple el modelo de Ostwald de Waele si la curva logarítmica del par de torsión (M) contra la velocidad rotacional (N) es una línea recta que parte del origen, en cuyo caso el valor de la pendiente corresponde al índice de flujo (n).

Para las determinaciones reológicas se emplearon muestras de espumas recién preparadas que se colocaron en el sistema de medición, evaluando el par de torsión (M) para diferentes velocidades rotacionales (N). Estos datos se emplearon para el cálculo de los parámetros reológicos haciendo uso de las ecuaciones 6, 7 y 8. En la siguiente sección se presentan los promedios de tres mediciones del índice de flujo (n) y de la viscosidad aparente (η) calculada de la curva de número de potencia para una velocidad rotacional de 0.3 rpm. de la misma manera se determinó (η) de las espumas después de 30 min de haber sido preparadas. En toda la experimentación se mantuvo una $T= 25^{\circ}\text{C}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto la concentración de estabilizante sobre el rendimiento de la espuma preparada con Aislado Proteico de Soya (APS), albúmina de huevo (AH) y Caseinato de sodio (CS), se presenta en la Figura 2, donde se puede apreciar que el incremento en la concentración de estabilizantes disminuye el rendimiento de la espuma, lo cual se relaciona comúnmente con el aumento en la viscosidad aparente de la fase continua (Walstra, 2000; Carp et al., 2001; Bals y Kulozik, 2003). Así mismo se observa que el APS y el CS producen rendimientos mayores que la AH, lo que se debe a muy diversos factores como la flexibilidad de la molécula, la actividad superficial, la velocidad de absorción en la interfase, etc. (Bos y Vliet, 2001)

Por otro lado, se puede decir que el fluido cumple el modelo de Ostwald de Waele si la curva logarítmica del par de torsión (M) contra la velocidad rotacional (N) es una línea recta que parte del origen, en cuyo caso el valor de la pendiente corresponde al índice de flujo (n).

Para las determinaciones reológicas se emplearon muestras de espumas recién preparadas que se colocaron en el sistema de medición, evaluando el par de torsión (M) para diferentes velocidades rotacionales (N). Estos datos se emplearon para el cálculo de los parámetros reológicos haciendo uso de las ecuaciones 6, 7 y 8. En la siguiente sección se presentan los promedios de tres mediciones del índice de flujo (n) y de la viscosidad aparente (η) calculada de la curva de número de potencia para una velocidad rotacional de 0.3 rpm. de la misma manera se determinó (η) de las espumas después de 30 min de haber sido preparadas. En toda la experimentación se mantuvo una $T= 25^{\circ}\text{C}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto la concentración de estabilizante sobre el rendimiento de la espuma preparada con Aislado Proteico de Soya (APS), albúmina de huevo (AH) y Caseinato de sodio (CS), se presenta en la Figura 2, donde se puede apreciar que el incremento en la concentración de estabilizantes disminuye el rendimiento de la espuma, lo cual se relaciona comúnmente con el aumento en la viscosidad aparente de la fase continua (Walstra, 2000; Carp et al., 2001; Bals y Kulozik, 2003). Así mismo se observa que el APS y el CS producen rendimientos mayores que la AH, lo que se debe a muy diversos factores como la flexibilidad de la molécula, la actividad superficial, la velocidad de absorción en la interfase, etc. (Bos y Vliet, 2001)

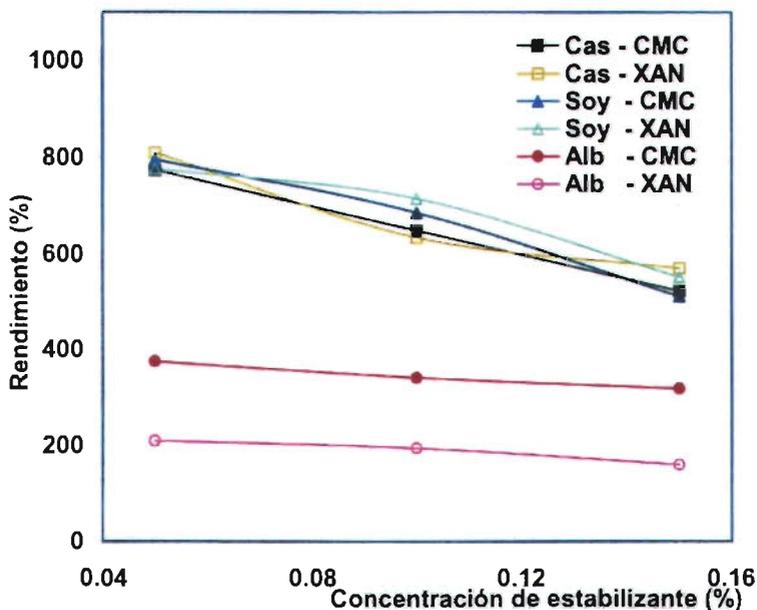


Fig. 2: Efecto concentración de estabilizante sobre el Rendimiento de la Espuma preparada con tres tipos de proteína

En las Figuras 3 y 4 se muestran los resultados de las medidas de estabilidad del líquido y volumen en la espuma en función a la concentración de goma, de manera que su efecto estabilizador se pone de manifiesto por el incremento en la capacidad de la espuma para el mantenimiento de su volumen y la disminución del drenado de líquido, lo cual sucede tanto con CMC como con Xantana. Las espumas preparadas con (APS) y Xantana en concentraciones de 0.05% y mayores muestran la mayor estabilidad, lo que está en relación con la mejor interacción que se presenta entre este polisacárido y las proteínas de soya.

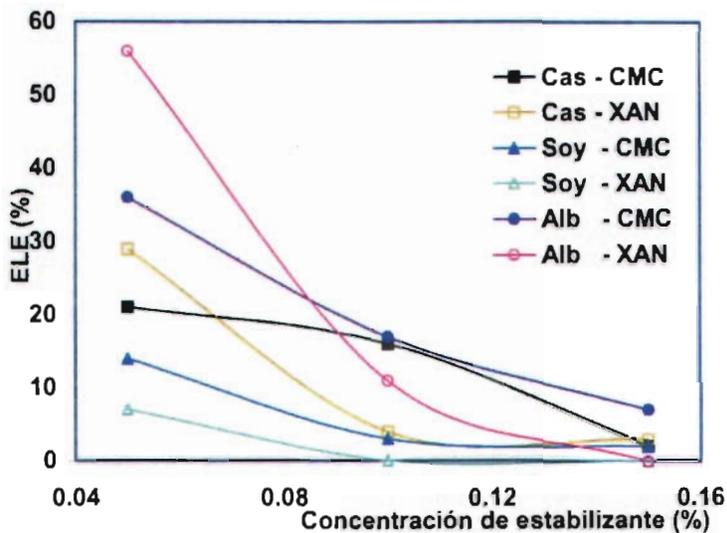


Fig. 3: Efecto concentración de estabilizante sobre Estabilidad del Líquido en la Espuma (ELE) preparada con tres tipos de proteínas

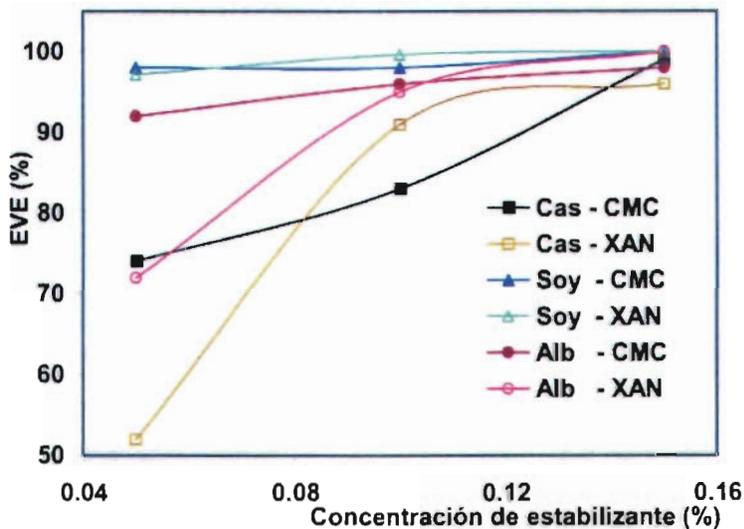


Fig. 4: Efecto concentración de estabilizante sobre Estabilidad del Volumen de la Espuma (EVE) preparada con tres tipos de proteínas

Estas interacciones entre las proteínas de soya y la goma Xantana favorecen la estabilización y aumentan la expansión de la espuma (Anónimo, 1996), lo que se relaciona con el hecho de que la composición de proteínas en la interfase de las espumas, esta en relación con la presencia de goma Xantana, ya que ésta modifica la tendencia de agregación de los polipéptidos presentes y su adsorción en la interfase, resultando una acción sinérgica por aumento de la viscosidad interfacial, lo que depende de la proporción polisacárido – proteína (Carp et al., 1999).

La goma Xantana, en concentraciones de 0.01 – 0.1 % produce un ligero incremento en la tensión interfacial, sin embargo al encontrarse presente la proteína, la tensión interfacial se reduce y tiene un efecto que resulta superior al causado solo por la proteína. Este efecto sinérgico también se debe a un acomodamiento molecular diferente en la interfase, lo que podría ser el resultado de la adsorción de la goma sobre las proteínas de soya, formando una estructura combinada con una capa proteica primaria predominante en contacto con el aire, de acuerdo con esto, la tensión interfacial podría ser dominada por la capa primaria de proteína cubierta por una capa de polisacárido en un fuerte contacto electrostático que domina la reología interfacial permitiendo un mayor efecto en la estabilización del sistema que el dado solo por el aumento en la viscosidad de la fase continua debido a la presencia de goma (Carp et al., 2001).

Todas las espumas preparadas siguen el modelo reológico de la potencia debido a que la curva logarítmica del par de torsión (M) contra la velocidad rotacional (N) es una línea recta que parte del origen y presentan un coeficiente de correlación superior a 0.99 en todos los casos. Este comportamiento ha sido reportado en la evaluación de la viscosidad aparente de espumas por medio de viscosimetría de mezclado con impulsores tipo paleta, misma que puede ocasionar un cambio en las propiedades de la espuma por disminución del diámetro de la burbuja, empleando velocidades rotacionales de 400 a 1200 rpm (Djelveh et al., 1999). Estas velocidades son mayores que las usadas en este trabajo que no sobrepasa las 20 rpm por lo que se considera que los cambios en la espuma son menores.

Los valores de la viscosidad aparente (η) y del índice de flujo de las espumas recién preparadas en función de la concentración de estabilizante se presentan las Figuras 5 y 6, donde se observa que a mayor concentración de gomas se produce un aumento en la viscosidad aparente de la espuma, sin embargo su índice de comportamiento presenta escasa modificación a excepción de la mezcla de AH y Xantana donde se reduce ampliamente el índice de flujo con el aumento en la concentración de goma Xantana (Figura 6). Resulta interesante observar que si bien las espumas preparadas con APS presentan las mejores características de estabilidad del volumen y del líquido, no son las que presentan mayor consistencia de la espuma ya que las mezclas de CS producen valores de (η) viscosidad aparente mayores a los obtenidos con APS y AH (Figura 5).

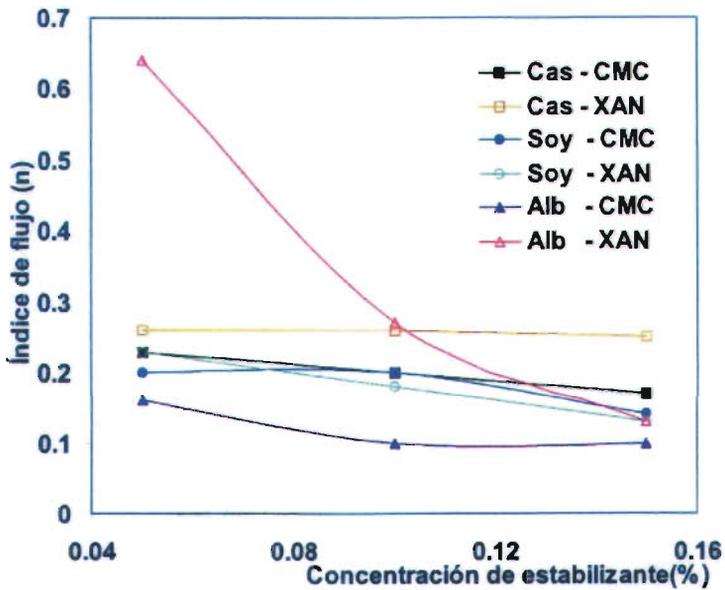


Fig. 5: Influencia de la concentración de estabilizante sobre la viscosidad aparente (η) de las espumas preparadas con distintas proteínas

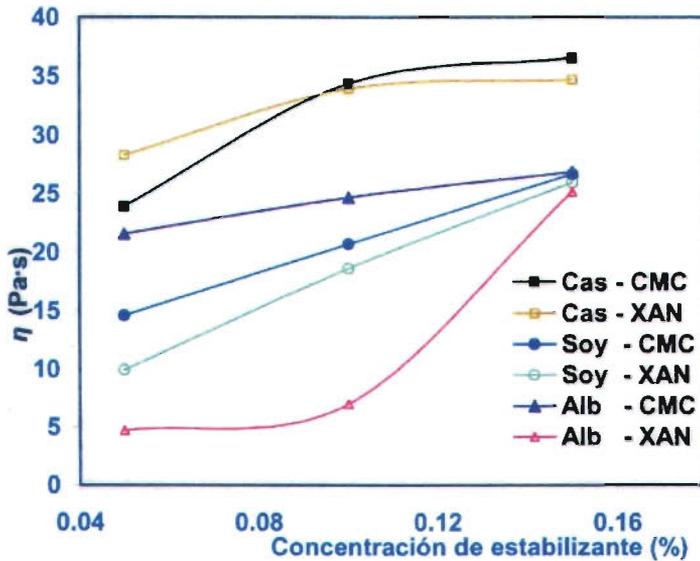


Fig. 6: Influencia de la concentración de estabilizante sobre el índice de Flujo (η) de las espumas preparada con distintas proteínas

Al analizar la relación entre la viscosidad aparente de las espumas recién preparadas con los valores de rendimiento en distintas concentraciones de goma (Figura 7), queda de manifiesto que existe disminución de la cantidad de aire incorporado al aumentar la viscosidad aparente en el sistema, sin embargo la magnitud del efecto individual de cada mezcla de proteína polisacárido es función de factores inherentes a la capacidad de la proteína para la formación de la espuma así como de las interacciones que se desarrollen entre la proteína y el polisacárido presentes (Dickinson y Euston, 1987; Dickinson et. al., 1996; Bos y Vliet, 2001; Carp et al., 2001; Pernell et al., 2002).

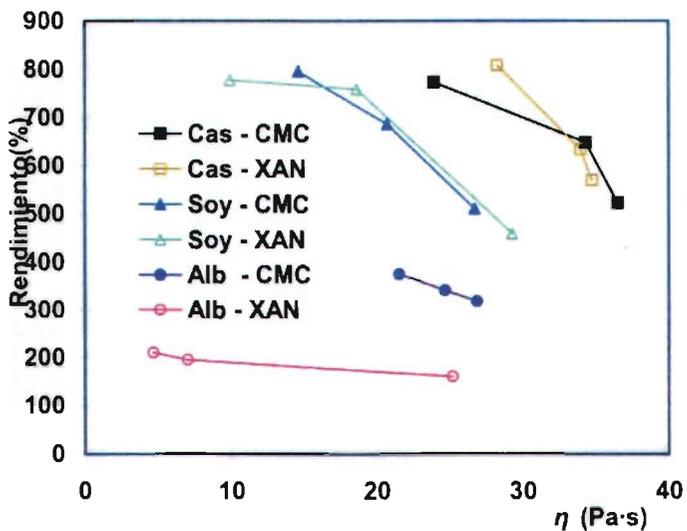


Fig. 7: Relación entre la viscosidad aparente (η) de la espuma recién preparada con el Rendimiento obtenido a diferentes concentraciones de goma

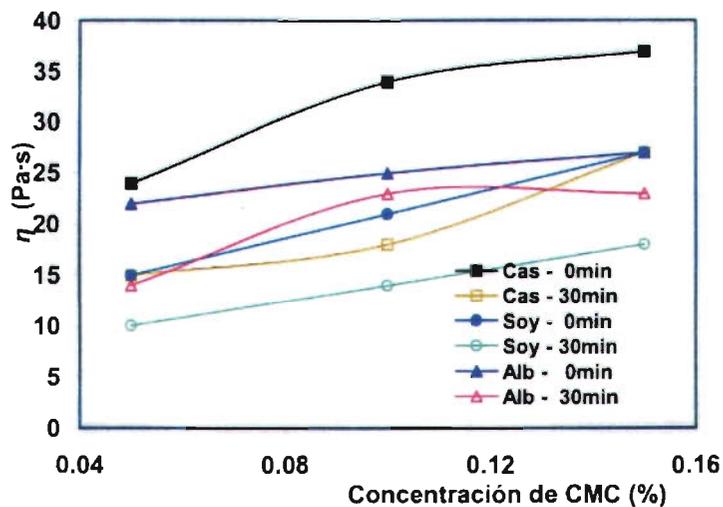


Fig. 8 Viscosidad aparente (η) de espumas de diferentes proteínas a 0 y 30min de su preparación, estabilizadas con CMC

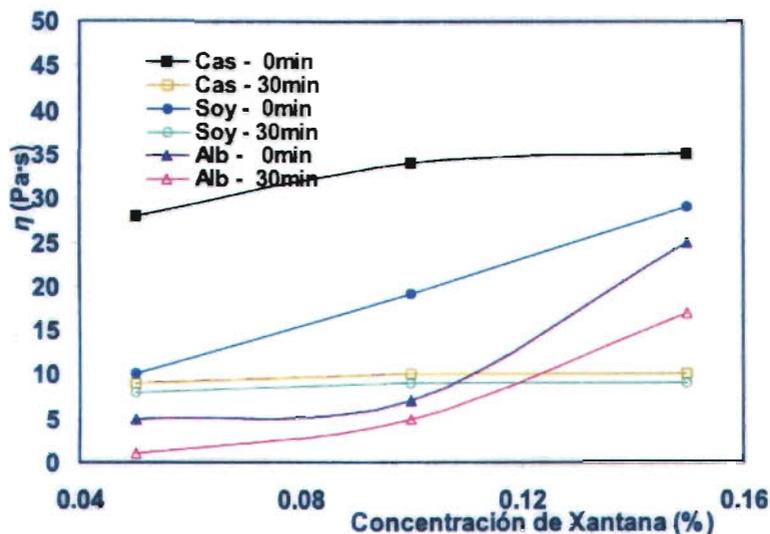


Fig. 9: Viscosidad aparente (η) de espumas de diferentes proteínas a 0 y 30min de su preparación, estabilizadas con goma Xantana

Los resultados de la determinación de la viscosidad aparente (η) de las espumas después de 30min de su preparación para las tres proteínas empleadas en la experimentación y estabilizadas con Xantana y CMC, se presentan en las Figuras 8 y 9 donde se pueden comparar con los valores de viscosidad aparente de las espumas recién preparadas. En todos los casos existe una disminución de la viscosidad aparente (η) en la espuma después de 30 minutos de su preparación, lo cual está relacionado a los cambios estructurales que ocurren con el tiempo en las espumas, siendo estos cambios menores al usar CMC como estabilizante. Al emplear APS y CS se obtienen espumas con mayor viscosidad aparente y con mayor EVE y ELE en comparación con la AH, sin embargo la pérdida de viscosidad aparente con el tiempo es mayor para estas proteínas sobre todo al emplear Xantana como estabilizante. Se considera que esto puede ser el resultado de otro fenómeno de

desestabilización común en espumas, que es la desproporción (aumento en el tamaño de las burbujas de mayor diámetro a expensas de las de menor tamaño), cuya evaluación resulta de mayor complicación debido al rápido cambio en la población de burbujas y la distribución de formas de esférica a poliédrica (Walstra, 2000, Pernell et al., 2002). La desproporción es un fenómeno que conduce a la disminución de la relación superficie / volumen con lo cual se afectan los parámetros reológicos, como se ha encontrado recientemente en la medición del esfuerzo inicial (Pernell et al., 2002), el cual disminuye cuando se tiene desestabilización de la espuma por desproporción.

Algunas proteínas forman capas muy tenaces en la interfase aire-agua, debido a las interacciones que se presentan entre las moléculas adsorbidas. La clara de huevo es muy eficaz en este sentido y proporciona espumas con una mayor estabilidad frente a la desproporción, debido a que en su formación se producen una gran desnaturalización superficial, que conduce a agregados proteicos grandes. Estos agregados proteicos permanecen irreversiblemente adsorbidos produciendo una gran resistencia frente a la desproporción. Este fenómeno se conoce como maduración de Ostwald (Walstra, 2000; Pernell et al., 2002) y podría estar relacionado con la menor pérdida de viscosidad aparente de las espumas preparadas con AH aunque son menos estables al cambio de volumen y drenado de líquido.

En este mismo sentido Pernell et al., (2002), al estudiar espumas preparadas con albumina de huevo, sugieren que el desarrollo de la viscosidad y elasticidad de la película interfacial esta también en función de las posibles interacciones entre las proteínas de la lámela de las burbujas y las de la interfase, lo que podría explicar los menores cambios en la viscosidad aparente de las espumas preparadas con AH.

CONCLUSIONES

La estabilidad de las espumas preparadas con AH medidas en base a los cambios de volumen y la cuantificación de líquido drenado de la espuma resultó superada por CS y APS, además las espumas recién preparadas tienen una viscosidad aparente que en general es mayor tanto al usar CMC como con Xantana, sin embargo esta viscosidad aparente disminuye con el tiempo, sobre todo al emplear Xantana.

Se recomienda que en la evaluación de las propiedades funcionales de las proteínas se incluya la determinación de parámetros reológicos, para tener una mejor visión sobre su funcionalidad en una aplicación determinada, para lo cual es posible el empleo de geometrías helicoidales.

REFERENCIAS

Ait-Kadi, A., Marchal, P., Chrissemant, A. S., Bousmina, M. y Choplin, L. Quantitative analysis of mixer-type rheometers. En Abstract 3rd Pacific Rim Conference on Rheology, Vancouver BC, Canada, 8-12 July (2001).

Anónimo. Xanthan Gum. Natural Biogum for Scientific water control. Technical bulletin. The NutraSweet Kelco, Monsanto company, USA. (1996).

Arriaga-Orihuela, R.M., Ramirez-Ortiz, M. E., Montiel N, A., Beristain, F. Cálculo de curvas de flujo en mezcladores que emplean impulsores helicoidales. Inf. Tecnológica 8(6) 119-131, (1997a).

Arriaga-Orihuela, R.M., Montiel N, A., Beristain, F. Caracterización reológica de suspensiones de baja consistencia. Inf. Tecnológica 8(6) 133-142, (1997b).

Arriaga-Orihuela, Ramírez-Ortiz, M.E. y F. Beristain. Efecto del tipo y concentración de partículas en la reología de suspensiones con fase continua newtoniana y pseudoplástica. *Inf. Tecnológica* 13(4) 37-44, (2002).

Bals, A. y U. Kulozik. The influence of the pore size, the foaming temperature and the viscosity of the Properties foams produced by membrane foaming. *J. Membrane Science* 220, 5 - 11 (2003).

Bos, M. A. y T. v. Vliet Interfacial Rheological Properties of Adsorbed Protein Layers and Surfactants: A Review. *Advances in Colloid and Interface Science* 91, 437-471 (2001).

Briggs J. L., Steffe J. F. y Z. Ustunol. Vane Method to Evaluate the Yield Strees of Frozen Ice Cream. *J. Dairy Sci.* 79:527-531. (1996).

Brito de la Fuente, E. Leuliet, J.C., Choplin, L. y Tangui, P.A., Mixing and circulation times in rheologically complex fluids, *I. Chem. E. Symp. Ser.*, 121: 75 – 96 (1990).

Carp, D.J., Bartholomai, G.B. y A.M.R. Pilosof. Electrophoresis Studies for Determining Soy Proteins - Xanthan Gum Interactions in Foams. *Colloids and Surfaces B; Biointerfaces* 12, 309-316 (1999).

Carp, D.J., Bartholomai, G.B. Relkin, P y A.M.R. Pilosof. Effect of Desnaturation on Soy Protein-Xantan Interactions: Comparison of a Whipping-Rheological and Bubbling Method. *Colloids and Surfaces B; Biointerfaces* 21, 163-171 (2001).

Dickinson, E. y S. R. Euston. Stability of Food Emulsion Containing both Protein and Polysaccharide. En "Food Emulsions and Foams". Ed. E. Dickinson, Royal Society of Chemistry. London (1987).

Dickinson, E. Julian, D, y Mc C. Blackie. Protein– Polysaccharide Interactions. Capítulo 3 en “Advances in food colloids”. Academic and Professional Chapman. 81-101, (1996).

Djelveh, G., Cornet, J. F. y J. B. Gros, Combined Effects of Substrate and Process Parameters in Food Foaming Processes. Capítulo 8 en: Burbbles in Foods, American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA (1999).

Kinsella, J. E. Physicochemical and Functional Properties of Milk Proteins. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 21:197 (1984).

Merquiol, T. y Choplin, L., Mixing of viscoelastic fermentation broth with helical ribbon screw (HRS) impeller. En Abstract 6th European Conference on Mixing, Pavia Italy, 24 - 26 may. p 465-472 (1988).

Patel, P. D., Stripp, A. M., y Fry, J. C. Whipping Test for the Determination of Foaming Capacity of Protein: a collaborative study. Intern. J. Food Sci. and Technol. 23: 57-63(1988).

Pernell, C. W., Foegeding, E. A. y C. R. Daubert. Measurement of the Yield Stress of Protein Foams by Vane Rheometry. J. Food Sci. 65:110-114. (2000).

Pernell, C.W., Foegeding E.A. Properties of whey and egg white protein foams. Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 204, 9-21 (2002).

Princen, H. M. The Mechanical and Flow Properties of Foams and Highly Concentrate Emulsions. Food Colloids, Editado por: Bee RD, Richmond P. y Mingins J. Cambridge: Royal Society of Chemistry. p 14-24. (1989).

Prud'homme R.K. y S.A. Khan. Experimental Results on Foam Rheology. En: Foams. Editado Prud'homme RK y Khan SA. Marcell-Dekker Inc. NY p 217-241. (1996).

Walstra, P. Sistemas dispersos: Consideraciones básicas en Química de los Alimentos. Capítulo 3 en "Química de los Alimentos". Director Owen R. Fennema, Editorial Acribia. Zaragoza España (2000).

Weaire D. The Physical of Froths and Foams. Food Colloids, Editado por: Bee RD, Richmond P. y Mingins J. Cambridge: Royal Society of Chemistry. p25-38. (1989).