

# CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UNA ESPUMA A BASE DE CLARA DE HUEVO, AZÚCAR Y PULPA DE TAMARINDO

## RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF A FOAM BASED ON EGG WHITE, SUGAR AND TAMARIND PULP

Diego Tirado<sup>1</sup>, Diofanor Acevedo<sup>2</sup>, Ramiro Torres<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero de Alimentos, c. MSc. Ingeniería. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería. Campus de Piedra de Bolívar, Cartagena-Bolívar, Colombia, e-mail: dtiradoa@unicartagena.edu.co; <sup>2</sup>Ingeniero de Alimentos, PhD. Ingeniería de Alimentos. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación NUSCA. Avenida El Consulado, calle 30 No. 48-152, Cartagena, Bolívar-Colombia, e-mail: diofanor3000@gmail.com; <sup>3</sup>Ingeniero Químico, MSc. Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería de Alimentos, carrera 6 No 76-103 km. 3, vía Cereté, Córdoba-Colombia, e-mail: rtorres@correo.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 465-473, Julio-Diciembre, 2015

### RESUMEN

El conocimiento de las propiedades viscoelásticas, además de ser importante para el control de calidad, también es muy útil en el diseño y en la predicción de la estabilidad de muestras almacenadas. En el presente trabajo, se caracterizó, reológicamente, una espuma elaborada a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo, teniendo en cuenta la influencia de la relación de azúcar y clara de huevo. Se determinaron los módulos de almacenamiento y de pérdida, viscosidad compleja y valores de tangente del ángulo de desfase, a diferentes concentraciones de azúcar y clara de huevo en la espuma, ajustando los datos experimentales al modelo de Maxwell. Las mayores concentraciones de azúcar aumentaron el carácter viscoso de la espuma, presentando mayor módulo de pérdida. El modelo reológico de Maxwell, se ajustó adecuadamente a los datos experimentales de las propiedades reológicas de la espuma, donde se pudo evidenciar una incidencia significativa del azúcar y la clara de huevo, en el tiempo de relajación.

Palabras clave: Propiedades viscoelásticas, módulo elástico, viscosidad compleja, *Tamarindus indica* L.

### SUMMARY

Knowledge of the properties of viscoelastic, in addition to being important for quality control, is also very useful in the design and prediction of the stability of stored samples. In the present work rheologically it was characterized a foam made from egg white, sugar and tamarind pulp, considering the influence of the relationship of sugar and egg white. The

modules of storage and loss, complex viscosity and values of tangent of the phase angle at different concentrations of sugar and white egg in foam, were determined by fitting the experimental data to Maxwell's model. The highest concentrations of sugar increased the viscous nature of the foam, presenting greater loss module. Maxwell rheological model is properly adjusted to the experimental data of the rheological properties of foam, which was evident a significant incidence of sugar and egg white in the relaxation time

Key words: Viscoelastic properties, elastic modulus, complex viscosity, *Tamarindus indica* L.

### INTRODUCCIÓN

El tamarindo (*Tamarindus indica* L.) es originario del continente africano y fue introducido al americano, por los españoles. Perteneció a la familia de las leguminosas. El fruto es una vaina curvada, de 12 a 15cm de longitud, del cual, la pulpa constituye, de 30 a 55%; la cáscara y la fibra, de 11 a 30% y las semillas, de 33 a 44% (Acevedo *et al.* 2014a; Tirado *et al.* 2014). En la costa caribe colombiana, se conoce la "jalea de tamarindo", como un producto de consistencia cremosa, elaborado con pulpa de tamarindo, clara de huevo y azúcar, con concentración entre 60 y 70°Brix; sin embargo, técnicamente no cumple los requisitos de una jalea (Norma Técnica Colombiana 285), en cuanto a los requerimientos de pectina (ICONTEC, 2007; Fredes *et al.* 2009), a pesar que la pulpa de tamarindo la contiene (Muzaffar & Kumar, 2015).

La "jalea de tamarindo" es un producto que forma parte de los alimentos denominados espumas (Foegeding *et al.*

2006; Raikos *et al.* 2007; Davis & Foegeding, 2007; Plancken *et al.* 2007), las cuales, presentan una amplia diversidad de formas, de componentes y de consistencias, para ser más atractivos al consumidor (Licciardello *et al.* 2012). Según Abirached *et al.* (2010), las espumas son dispersiones de burbujas de aire en un medio líquido, que contiene un agente activo de superficie (agente espumante), que tiende a situarse en la superficie, protegiendo del colapso a las burbujas. Por su parte, Davis & Foegeding (2007), las define como un sistemas coloidales, en las que existen burbujas de aire dispersas en una fase continua líquida, también denominadas lamela (Plancken *et al.* 2007). La composición y las propiedades de la capa adsorbida determinan la estabilidad y las propiedades físicas, resultantes de la espuma (Maldonado-Valderrama *et al.* 2007).

En la espuma de tamarindo, la clara de huevo actúa como la fase continua líquida, que contiene el agente activo espumante (Abirached *et al.* 2010), que le otorga textura, volumen y esponjosidad (Fredes *et al.* 2009) y el azúcar aumenta los sólidos solubles, aportándole viscosidad y debido al aumento de la presión osmótica, actúa como conservante (Tirado *et al.* 2014); la concentración de estos componentes influyen, por tanto, en estas propiedades, en especial, las reológicas, importante para su procesamiento, empaquetado, almacenamiento y presentación.

Los ensayos reologicos dinámicos permiten determinar la proporción entre el componente elástico y viscoso de un alimento y cuantificar en qué medida se comporta como semi-sólido o como semilíquido, a través de funciones viscoelásticas, tales como el modulo complejo  $G^*$ , definido, según Gunasekaran & Ak, (2000), como:

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} \tag{1}$$

Donde,  $G'$  es el módulo de almacenamiento y relaciona los eventos moleculares de naturaleza elástica y  $G''$  es el módulo de pérdidas y representa los eventos moleculares de naturaleza viscoso (Gunasekaran & Ak, 2000; Acevedo *et al.* 2014b). Estos módulos, se determinan según las ecuaciones 2 y 3:

$$G' = \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0}\right) \cos\delta \tag{2}$$

$$G'' = \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0}\right) \sin\delta \tag{3}$$

Donde,  $\tau_0$  y  $\gamma_0$  son respectivamente las amplitudes de las ondas del esfuerzo y de la deformación y  $\delta$  es el ángulo de desfase; si el fluido es puramente elástico, se cumple que  $\delta = 0^\circ$ ,  $G^* = G'$  y  $G'' = 0$ ; en un fluido viscoso ideal  $\delta = 90^\circ$ ,  $G^* = G''$  y  $G' = 0$  (Chhabra & Richardson, 2008; Gunasekaran & Ak,

2000). Otras funciones viscoelásticas son el módulo de viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) y la tangente del desplazamiento de fase o del ángulo de fase, llamado  $\tan \delta$ , popularmente, usada para describir comportamiento viscoelástico (Narsimhan, 1994). Estas funciones viscoelásticas han sido usadas para caracterizar algunos tipos de alimentos, tales como mantequilla (Shukla & Rizvi, 1995), gel de arroz (Jena & Bhattacharya, 2003), gel de queso (Castillo *et al.* 2006), carnes de pescado (Campo & Tovar, 2008) y derivados de yema de huevos (Miranda *et al.* 2000).

El modelo usado para interpretar y correlacionar datos de la prueba dinámica de alimentos viscoelásticos es el de Maxwell, que se expresa en las ecuaciones 4 y 5 (Narsimhan, 1994; Garzón *et al.* 2009):

$$G'(\omega) = \sum_n \frac{G_i \lambda_i^2 \omega^2}{1 + \lambda_i^2 \omega^2} \tag{4}$$

$$G''(\omega) = \sum_n \frac{G_i \lambda_i \omega}{1 + \lambda_i^2 \omega^2} \tag{5}$$

Tal interpretación, en términos de mecanismos teóricos, proporciona las directrices necesarias para dar sentido a las observaciones, relacionar el comportamiento de la composición y estructura, predecir y modificar las propiedades, así como para comparar un método experimental con otro (Barbosa-Cánovas *et al.* 1996).

Por otro lado, el conocimiento de las propiedades viscoelásticas, además de ser importante para el control de calidad (Schramm, 2000), también es muy útil en el diseño y en la predicción de la estabilidad de muestras almacenadas (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2005). Basado en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar, reológicamente, la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo, teniendo en cuenta la influencia que tiene el contenido de azúcar y la clara de huevo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Formulación y elaboración de la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo. Se tomó como formulación base, la receta típica utilizada en el municipio de Montería (Palacios *et al.* 2012) y se estandarizaron las medidas artesanales a unidades del sistema internacional, obteniéndose la siguiente formulación: 58,14g, de clara de huevo; 500g, de pulpa de tamarindo; 2.000g, de azúcar; 2g, de bicarbonato y 75cm<sup>3</sup>, de agua tibia. A la formulación, se le varió el contenido de azúcar y clara de huevo, manteniendo la proporción de pulpa y de agua de la formulación base, tal como se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de azúcar y clara de huevo en muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Muestras	Pulpa tamarindo (%)	Azúcar (%)	Clara de Huevos (%)	Bicarbonato (%)	Agua (%)
1	24,81	70,26	1,14	0,08	3,71
4	23,87	70,26	2,21	0,08	3,58
7	22,88	70,26	3,35	0,08	3,43
2	19,9	75,9	1,14	0,08	2,98
5	18,97	75,9	2,21	0,08	2,84
8	17,98	75,9	3,35	0,08	2,69
3	16,55	79,75	1,14	0,08	2,48
6	15,62	79,75	2,21	0,08	2,34
9	14,63	79,75	3,35	0,08	2,19

Para la elaboración de la espuma, se pesaron los ingredientes obtenidos del comercio de la ciudad de Montería, en una balanza analítica OHAUS®, con exactitud  $\pm 0,001$ g y se procedió a mezclarlos de forma manual, empleando una varilla de vidrio como agitador, a un tiempo de mezclado de 5 minutos, por muestra. Las muestras, se empacaron en bolsas ziploc y se conservaron refrigeradas en nevera, a una temperatura de 4°C.

**Caracterización viscoelástica.** A las diferentes muestras de espuma, se les realizaron ensayos de barrido de deformación y se les determinó la deformación en el rango de viscoelasticidad lineal. Se efectuó el barrido de frecuencia, en un rango entre 0,1 a 100Hz. La temperatura de las muestras, se mantuvo a  $25 \pm 0,1$ °C. Los ensayos se ejecutaron en un reómetro TA AR 1500® TA Instruments Ltda., utilizando un plato de 40mm, controlado por el programa TA Universal Analysis Versión 5.2®, instalado en un ordenador PC, conectado al reómetro. El análisis de datos reológicos, se realizó aplicando el software Rheology Advantage Data Analysis Versión 5.7®. Con los ensayos oscilatorios, se determinaron los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdidas ( $G''$ ), las viscosidades complejas ( $\eta^*$ ) y los valores del factor de pérdida ( $\tan \delta$ ), en función de frecuencia de la deformación. Todas las muestras se dejaron reposar durante 15 minutos, para permitir la relajación de las mismas, antes de practicar el ensayo.

**Diseño experimental y análisis estadístico.** Se utilizó un diseño completamente al azar y un arreglo factorial  $3^2$ . Se controlaron los factores proporción de azúcar y de clara de huevo, con tres niveles para el primero: 70,3, 75,90 y 79,7% y tres para el segundo: 1,1, 2,3 y 3,4%. Se hicieron

tres repeticiones por muestra, para un total de 27 unidades experimentales, teniendo como variables de respuesta los módulos de almacenamiento, el módulo de pérdidas y la viscosidad compleja. Se ajustaron los datos experimentales a los modelos de Maxwell de cuatro elementos, utilizando, como criterios estadísticos, el coeficiente de determinación  $R^2$ , el error estándar y el análisis de los residuales. A los diferentes parámetros del modelo de Maxwell, se les realizó un análisis de varianza y un test de Tukey, con un nivel de significancia del 5%, para determinar la influencia de la proporción de azúcar y de clara de huevo, en el comportamiento viscoelástico de la espuma. El procesamiento de los datos, se realizó en el software STATISTICA® versión de prueba 8.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rango lineal de las muestras estuvo entre 1 y 4% de deformación; para realizar los ensayos de barrido de frecuencia a las diferentes muestras, se tomó una deformación relativa de 2,5%.

Tal como se evidencia en la figura 1a, en la muestra con concentración en peso de 70,26%, de azúcar y clara de huevo, 1,14; 2,21 y 3,35%, que corresponde a las muestras 1, 4 y 7, respectivamente, a bajas frecuencias, predomina el carácter elástico sobre el viscoso, es decir, que  $G' > G''$ , por lo cual, se puede afirmar que la espuma se comporta como un semi-sólido. A medida que aumenta la frecuencia, se presenta un punto de transición entre los módulos que marca el comienzo del comportamiento viscoso, a partir, del cual, la espuma se comporta como un semilíquido.

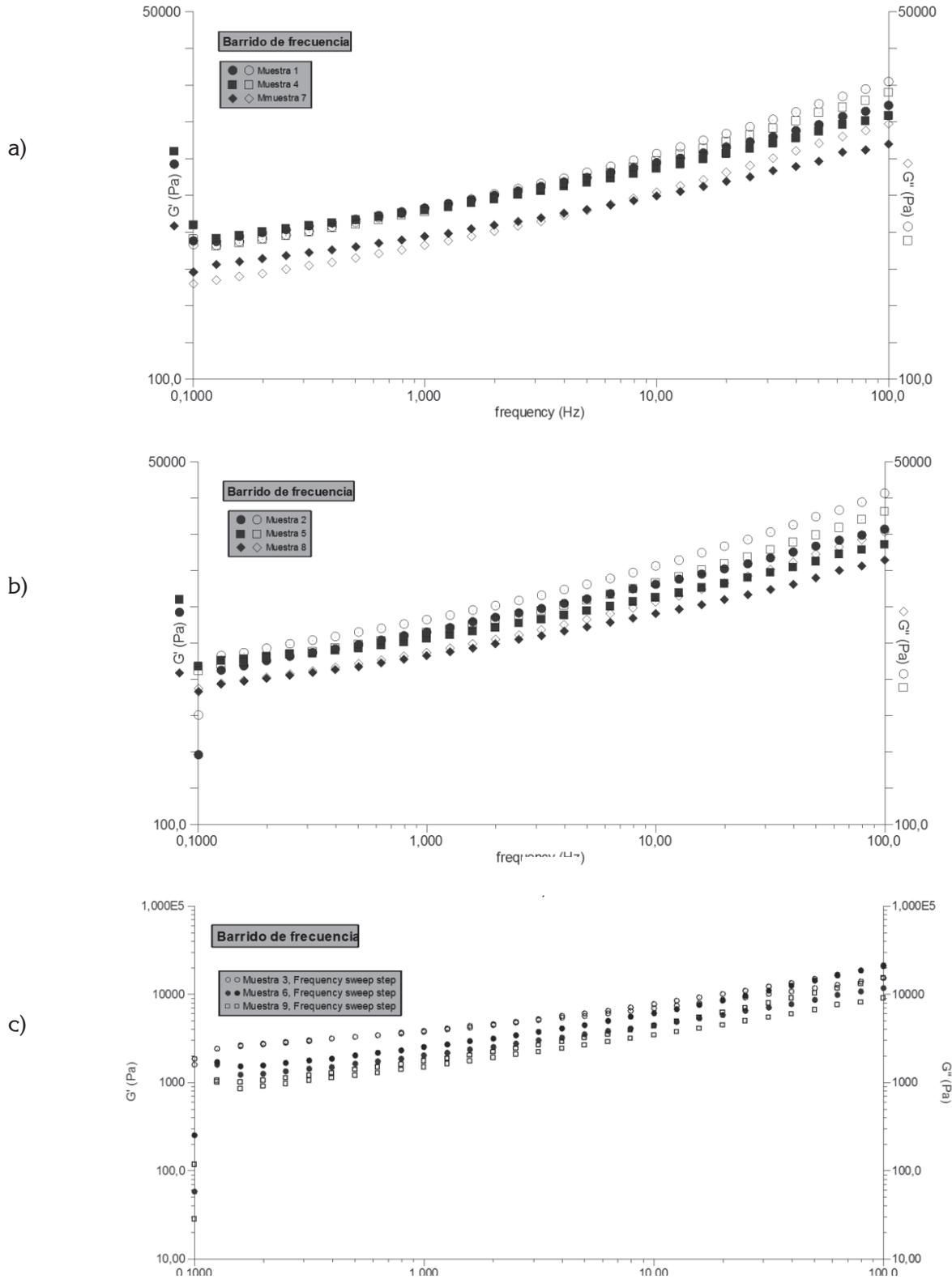


Figura 1. Comportamiento del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y del módulo de pérdida ( $G''$ ), en función de la frecuencia de las muestras a) 1, 4 y 7; b) 2, 5 y 8 y c) 3, 6 y 9.

Para la muestra con una 3,35% de clara de huevo, el punto de transición de los módulos elásticos y viscosos, se presenta a más altas frecuencias que en las muestras con 1,14 y 2,21%, que indica que la concentración de 3,35% de clara de huevo presenta mayor grado de estructuración, de estabilidad y de mayor resistencia a una deformación. Lo anterior, también se puede explicar, debido a que, según la formulación, a mayores concentraciones de clara de huevo hay menor proporción de pulpa.

Se observa en la figura 1b, que en la muestra con concentraciones de 75,9%, de azúcar y 1,14; 2,21 y 3,35%, de clara de huevo, muestras 2, 5, 8, respectivamente, la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo, se comporta como un semilíquido en todo el rango de frecuencia estudiada, donde predomina el carácter viscoso sobre el elástico, es decir, que  $G'' > G'$ . Este comportamiento es diferente al reportado por Tirado *et al.* (2014), quienes en su estudio de propiedades reológicas de la pulpa edulcorada de tamarindo, a diferentes concentraciones de pulpa y de azúcar, encontraron que el módulo elástico fue mayor que el viscoso, demostrando un carácter sólido para la pulpa, con mayor contenido de azúcar; sin embargo, en este estudio, el uso de clara de huevo otorga propiedades diferentes a la matriz, confiriendo propiedades viscosas a la mezcla estudiada y dándole más fluidez.

En la figura 1c, se observa que igual comportamiento presentaron las espumas con 79,75%, de azúcar y composición de clara de huevo 1,14; 2,21 y 3,35%, muestras 3, 6, 9, respectivamente, lo que indica que las mayores concentraciones de azúcar y disminución de los contenidos en pulpa reducen el comportamiento elástico; por otro lado, a altas concentraciones de azúcar, los módulos elásticos y viscosos son mayores. Las mezclas con mayores contenidos de azúcar y menor en clara de huevo fueron más viscosas, lo que se explica, debido a la mayor cantidad de sólidos presente, que hace que su viscosidad aumente.

Similares comportamientos, como los encontrados en el presente estudio, han sido reportados por Ramos & Ibarz (2006), en pulpa de membrillo; Lopes da Silva (1993), con dispersiones de pectinas y Ma & Barbosa-Cánovas (1995), con mayonesa.

Según la figura 2, la viscosidad compleja de las diferentes muestras disminuye al aumentar la frecuencia en un perfil típicamente pseudoplástico, propio de las emulsiones o suspensiones pseudoplásticas. Tal comportamiento, se caracteriza por una disminución de la viscosidad a medida que el cizallamiento aumenta. Desde el punto de vista físico, significa que la resistencia a fluir disminuye cuando la velocidad de deformación aumenta.

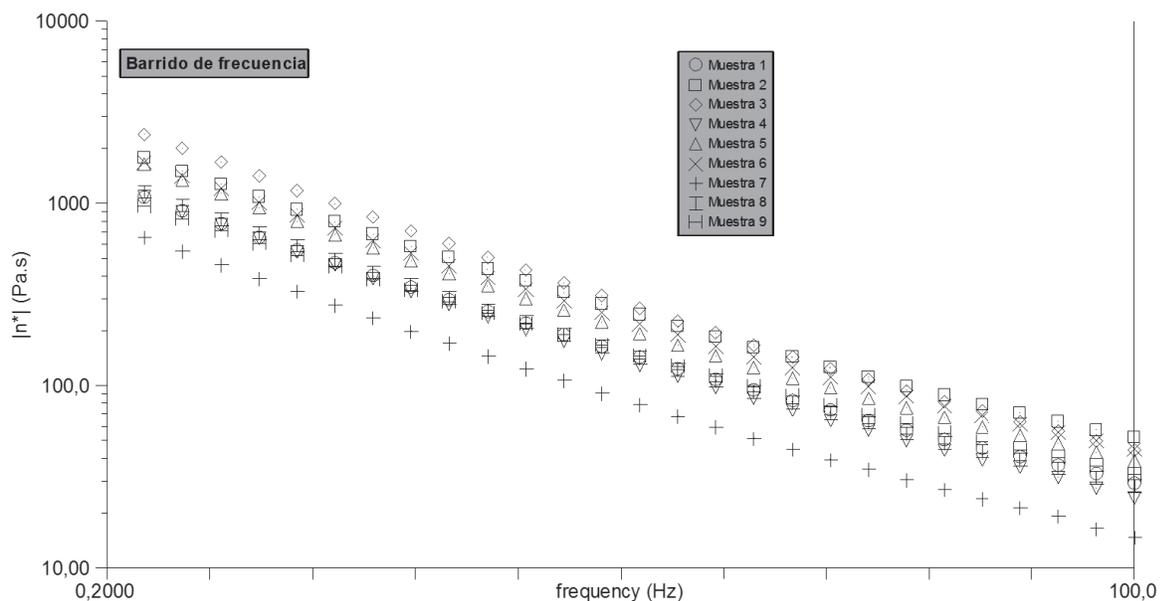


Figura 2. Viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) vs frecuencia de las muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Se puede observar en la figura 2, que la viscosidad compleja aumenta con la concentración en sólidos, para todo el rango de frecuencias estudiadas. Esto demuestra, que una concentración más alta implica una mayor cantidad de sólidos y no necesariamente estructuras más complejas, ya que el comportamiento a mayor concentración de azúcar es la de un semilíquido, por lo tanto, el azúcar le da mayor viscosidad a la espuma y no elasticidad (Ramos & Ibarz, 2006; Tirado *et al.* 2014).

Los valores de la tangente del ángulo de fase, ángulo  $\delta$ , denominado función de pérdidas, para las espumas estudiadas están representados en la figura 3. La función de pérdidas es una medida adimensional, que compara la cantidad de energía perdida durante un ensayo oscilatorio, con la cantidad de energía almacenada durante este periodo e, indica, si predomina la propiedad elástica o viscosa.

Como se puede apreciar en la figura 3, la espuma con 70,26% de azúcar y 3,35% de clara de huevo, tiene menor función de pérdidas en todo el rango de frecuencia, lo que indica que, en este último, predominan las propiedades elásticas sobre las demás formulaciones; lo anterior, probablemente, a que la albumina forma con la pectina –presente en la pulpa- estructuras más complejas, que acentúa el carácter viscoelástico. Por lo anterior, podemos decir que, según este estudio, las muestras más viscosas no son necesariamente las más elásticas; solo las espumas con 70,26% de azúcar, en las diferentes composiciones de clara de huevo, presentaron características de semisólido, por debajo de la frecuen-

cia de 6,31Hz; para espumas con 3,35% de clara de huevo, correspondiente a la muestra 7 y 1,995Hz; para espumas con 2,21, correspondiente a la muestra 4 y 1,14% de clara de huevo, correspondiente a la muestra 1, por lo que la clara de huevo solo influye en espumas con composiciones bajas de azúcar. Las espumas con mayor concentración de azúcar presentan función de pérdidas por encima de la unidad en todo el rango de frecuencia estudiado, predominando las propiedades viscosas, indicando que el azúcar rompe las estructuras complejas de la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo.

Un modelo de Maxwell de cuatro elementos o distribuciones de relajación fueron suficientes para describir, con precisión, el comportamiento de las espuma a diferentes concentraciones de azúcar y clara de huevo. Los coeficientes de determinación estuvieron entre 0,9973 y 0,9986, para  $G'$  y 0,9979 y 0,9994, para  $G''$ . Los valores de los 4 elementos de Maxwell para los módulos elásticos y viscosos, se presentan en la tabla 2.

Los resultados del análisis de varianza realizado a los módulos de elasticidad de las diferentes muestras de espuma reflejan una diferencia significativa, para un nivel de significancia del 5%, de los efectos principales: porcentaje de azúcar y porcentaje de clara de huevo, sobre el parámetro del modelo de Maxwell  $G_1$ , pero no de las interacciones; igual comportamiento tuvieron los parámetros  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$ . La prueba de rangos múltiples de Tukey confirmó que existen diferencias significativas, con un nivel de significancia del 5%, ente los

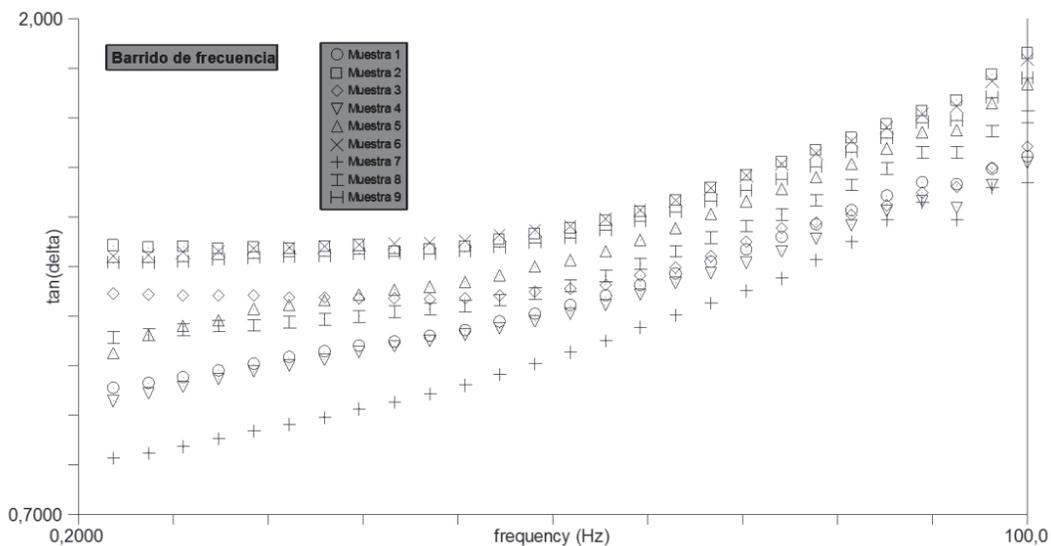


Figura 3. Tangente del desplazamiento de fase ( $\delta$ ) vs frecuencia para las muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Tabla 2. Parámetros del modelo de Maxwell generalizado para las diferentes muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Muestra	Parámetros para $G'$ (Pa)				Parámetros para $G''$ (Pa)				Tiempo de relajación s			
	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$
M1	16303	3547	1424	1409	32790	4787	2790	1752	0,0009	0,0094	0,0911	1,8864
M2	28421	6282	2428	2428	71011	9652	5442	2838	0,0007	0,0074	0,0673	0,8909
M3	23256	5107	2792	2792	51655	9951	6465	3500	0,0008	0,0086	0,0905	1,2341
M4	11217	3310	1316	1316	26574	4611	2801	2511	0,0009	0,0090	0,1005	3,4527
M5	21137	4373	1840	1840	48380	7148	4297	3192	0,0008	0,0093	0,1019	2,6416
M6	24641	5342	2169	2169	60473	8548	5061	2551	0,0007	0,0075	0,0700	0,9129
M7	6359	1844	801	801	15134	2509	1445	1445	0,0011	0,0108	0,1178	3,8150
M8	14498	3156	1386	1386	32614	4863	3015	2051	0,0009	0,0097	0,0996	2,0042
M9	16819	4059	1414	1414	40875	5276	2971	1456	0,0008	0,0081	0,0670	0,8458

tratamientos que involucran los niveles 70,3%, de azúcar y 3,4%, de clara de huevo, para el parámetro  $G_1$ ; igual comportamiento tuvieron los parámetros  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$ . Esto indica que en las tres primeras fases de la curva de viscoelasticidad de las muestras de espuma se ve favorecido el carácter elástico, influenciado por los bajos niveles de azúcar y altos niveles de clara de huevo, con 70,3% y 3,4%, respectivamente, que actúa como aglutinante y, posiblemente, forman con la pectina de la pulpa de tamarindo, estructuras más complejas.

Los resultados del análisis de varianza realizado a los tiempos de relajación  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  y  $\lambda_4$  reflejan que no existe una significancia estadística de los factores porcentaje de azúcar y porcentaje de clara de huevo, sobre los tiempos de relajación rápida,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  y  $\lambda_3$ , mientras que para el tiempo de relajación lenta,  $\lambda_4$ , se presenta una diferencia significativa, influenciada solamente por el factor porcentaje de azúcar. La prueba de rangos múltiples de Tukey confirma que existen diferencias significativas, con un nivel de significancia del 5%, entre los tratamientos que involucran los niveles 70,3% y 79,7%, de azúcar. El mayor tiempo de relajación a menor concentración de azúcar y a concentración de clara de huevo mayor, indicando una mayor estructuración de esta espuma. Al parecer una mayor concentración de azúcar rompe las estructuras, presentándose mayor dilución de pectina y de albumina. Las espumas con mayores concentraciones de azúcar presentaron módulos de pérdidas mayores, confirmado su carácter de fluido viscoelástico. De acuerdo con los criterios señalados por Ferry (1980), ninguno de las espumas mostró el comportamiento reológico de un gel; comportamiento similares fueron reportados en zumos concentrados de tamarindo (Ahmed *et al.* 2007), de mayonesa (Laca *et al.* 2010) y de goma de la semilla de tamarindo (Khounvilay & Sittikijyothin, 2012).

Se puede concluir que la espuma a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo, formulada con menor cantidad de azúcar y una mayor cantidad de clara de huevo, presentó un mayor comportamiento viscoelástico. Las mayores concentraciones de azúcar aumentan el carácter viscoso de la espuma, reflejando mayor módulo de pérdida. El modelo reológico de Maxwell, se ajustó adecuadamente a los datos experimentales de las propiedades reológicas de las diferentes espumas, donde se pudo evidenciar una incidencia significativa del azúcar y la clara de huevo, en el tiempo de relajación.

**Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABIRACHED, C.; MEDRANO, C.A.; PANIZZOLO, L.A.; MOYNA, P.; AÑÓN, M.C. 2010. Estabilidad de espumas formuladas con proteínas de soja tratadas a pH ácido. *Rev. Lab. Tecnol.* (Uruguay). 5:58-62.
2. ACEVEDO, D.; GRANADOS, C.; TORRES, R. 2014b. Caracterización Reológica del Suero Costeño de Turbaco, Arjona, El Carmen de Bolívar y uno Comercial (Colombia). *Inf. Tecnol.* (Chile). 25(3):3-10.
3. ACEVEDO, D.; TIRADO, D.F.; GÚZMÁN, L.E. 2014a. Deshidratación osmótica de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.): influencia de la temperatura y la concentración. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* (Colombia). 17(1):123-130.

4. AHMED, J.; RAMASWAMY, H.S.; SASHIDHAR, K.C. 2007. Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. *LWT - Food Sci. Technol. (United States)*. 40(2):225-231.
5. BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; KOKINI, J.L.; MA, L.; IBARZ, A. 1996. The rheology of semiliquid foods. *Adv. Food Nutr. Res. (United States)*. 39:1-69.
6. CAMPO, L.; TOVAR, C. 2008. Influence of the starch content in the viscoelastic properties of surimi gels. *J. Food Eng. (United Kingdom)*. 84(1):140-147.
7. CASTILLO, M.; LUCEY, J.A.; WANG, T.; PAYNE, F.A. 2006. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics. Cottage cheese-type gels. *Int. Dairy J. (Netherlands)*. 16(2):153-163.
8. CHHABRA, R.P.; RICHARDSON, J.F. 2008. *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology. Engineering Applications*. 2nd Edition. Butterworth-Heinemann. United Kingdom. 536p.
9. DAVIS, J.P.; FOEGEDING, E.A. 2007. Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. (Netherlands)*. 54(2):200-210.
10. FERRY, J.D. 1980. *Viscoelastic properties of polymers*. 3rd Edition. Wiley, New York. United States. 672p.
11. FOEGEDING, A.E.; LUCK, P.J.; DAVIS, J.P. 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocoll. (Netherlands)*. 20(2-3):284-292.
12. FREDES, C.; LOYOLA, N.; MUÑOZ, J.C. 2009. Extracción de pectinas de *Vitis labrusca* cv. concord para producir jaleas. *Idesia. (Chile)*. 27(3):9-14.
13. GARZÓN, M.; TECANTE, A.; RAMÍREZ-GILLY, M.; PALACIOS, J. 2009. Comportamiento viscoelástico de disoluciones y tabletas hidratadas de hidroxipropilmetil celulosa, carboximetil celulosa sódica y sus mezclas. *Rev. Mex. Ing. Química. (México)*. 8(3):307-318.
14. GUNASEKARAN, S.; AK, M.M. 2000. Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. *Food Sci. Technol. (United States)*. 11:115-127.
15. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS – ICONTEC-. 2007. Frutas procesadas. Mermeladas y jaleas de frutas. 5ª Actualización. Bogotá. Colombia. NTC-285. 16p.
16. JENA, R.; BHATTACHARYA, S. 2003. Viscoelastic characterization of rice gel. *J. Texture Studies. (United Kingdom)*. 34(4):349-360.
17. KHOUNVILAY, K.; SITTIKIJYOTHIN, W. 2012. Rheological behaviour of tamarind seed gum in aqueous solutions. *Food Hydrocoll. 26(2):334-338*.
18. LACA, A.; SÁENZ, M.C.; PAREDES, B.; DÍAZ, M. 2010. Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *J. Food Eng.* 97(2):243-252.
19. LICCIARDELLO, F.; FRISULLO, P.; LAVERSE, J.; MURATORE, G.; DEL NOBILE, M.A. 2012. Effect of sugar, citric acid and egg white type on the microstructural and mechanical properties of meringues. *J. Food Eng.* 108(3):453-462.
20. LOPES DA SILVA, J.A. 1993. Viscoelastic behaviour of mixtures of locust bean gum and pectin dispersions. *J. Food Eng.* 18(3):211-228.
21. MA, L.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. 1995. Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *J. Food Eng.* 25(3):409-425.
22. MALDONADO-VALDERRAMA, J.; MARTÍN-MOLINA, A.; MARTÍN-RODRIGUEZ, A.; CABRERIZO-VÍLCHEZ, M.A.; GÁLVEZ-RUIZ, M.J.; LANGEVIN, D. 2007. Surface properties and foam stability of protein/surfactant mixtures: theory and experiment. *J. Phys. Chem. C. (United States)*. 111(6):2715-2723.
23. MIRANDA, J.; GUERRERO, A.F. PERTAL, P. 2000. Reología de derivados de la yema de huevo deshidratada. *Rev. Grasas Aceites. (España)*. 51(4):244-250.
24. MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. 2015. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technol. (Netherlands)*. 279:179-184.
25. NARSIMHAN, G. 1994. Rheological methods in food process engineering. *J. Food Eng.* 23(2):249-250.
26. PALACIOS, G.; ESQUINCA, V.; CABALLERO, A.; AYVAR, P.; GRAJALES, R.E.; LÓPEZ, E.J. 2012. Evaluación

- sensorial de tres gelatinas como limpiadores de paladar. LACANDONIA. (México). 6(2):115-119.
27. PLANCKEN, I.V.; VAN LOEY, A.; HENDRICKX, M.E. 2007. Foaming properties of egg white proteins affected by heat or high pressure treatment. *J. Food Eng.* 78(4):1410-1426.
28. RAIKOS, V.; CAMPBELL, L.; EUSTON, S.R. 2007. Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Res. Int.* 40(3):347-355.
29. RAMOS, A.M.; IBARZ, A. 2006. Comportamiento viscoelástico de pulpa de membrillo en función de la concentración de sólidos solubles. *Ciência E Tecnol. Alimentos.* (Brasil). 26(1):214-219.
30. SCHRAMM, G. 2000. A practical approach to rheology and rheometry. 2<sup>nd</sup> Ed. Gebrueder Haake. Germany. 290p.
31. SHUKLA, A.; RIZVI, S.S.H. 1995. Viscoelastic properties of butter. *J. Food Sci.* 60(5):902-905.
32. TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. 2005. Rheology for the food industry. *J. Food Eng.* 67(1-2):147-156.
33. TIRADO, D.F.; ACEVEDO, D.; MONTERO, P. 2014. Propiedades reológicas de la pulpa edulcorada de tamarindo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 17(2):495-501.

Recibido: Marzo 20 de 2015

Aceptado: Octubre 15 de 2015

#### Cómo citar:

Tirado, D.; Acevedo, D.; Torres, R. 2015. Caracterización reológica de una espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 465-473.