

Uso del ultrasonido y su influencia en las propiedades del huevo entero líquido

The effect of the use of the ultrasound on the properties of the whole liquid egg

Hernández González S*, Gélvez Ordoñez V.M**

Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa Ingeniería de Alimentos, Universidad de Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga, Pamplona, Norte de Santander, Colombia

Recibido 28 de Marzo 2011; aceptado 30 de Mayo de 2011

RESUMEN

Se estudió en el huevo entero líquido el efecto del tratamiento con Ultrasonido (US) a 37 KHz con una potencia de 80W a 20 y 45°C durante 5 y 5+5min con un período de descanso de 5 min en mitad del tiempo de exposición, sobre pH, propiedades funcionales (capacidad espumante, emulsificante y gelificación) y la propiedades reológicas de color y textura. Los efectos se evaluaron en huevo comercial fresco de 1 a 3 días de postura almacenados a temperatura ambiente ($16 \pm 2^\circ\text{C}$). Los datos obtenidos se analizaron mediante el análisis de varianza, (ANOVA) un factor, aplicando la prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS), para observar diferencias significativa ($p \leq 0,05$) entre las medias de las muestras tratadas y sin tratar. Los resultados obtenidos, evidenció efectos significativos en las propiedades estudiadas de acuerdo con la temperatura y tiempo de tratamiento ; generando cambios en las propiedades funcionales estudiadas; y mejorando en la capacidad de espumado, emulsionado, gelificación, la textura instrumental, e incrementando dureza 1 y 2, cohesividad, elasticidad, gomosidad, masticabilidad, adhesividad, firmeza, y mejorando, además, el color y la apariencia del gel amarillo brillante, liso, homogéneo y más elástico que se recupera rápidamente a 50% de compresión. Estos efectos positivos harían del US y CM una excelente alterna-

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia. E-mail: vmgelvez@unipamplona.edu.co

tiva para el mejoramiento y desarrollo de la industria alimenticia, y específicamente de productos que requieran el mejoramiento de estas propiedades.

Palabras clave: características fisicoquímicas, huevo, color, TPA y ultrasonido.

ABSTRACT

It was studied in the whole liquid egg the effect of the ultrasound treatment (US) at 37 KHz with a power of 80W at 20 and 45 °C for 5 min and 5 +5 with a rest period of 5 min in half of exposure time, about pH, functional properties (foaming capacity, emulsifying and gelling) and the rheological properties of color and texture. The effects were evaluated in fresh commercial eggs from 1 to 3 days, store at room temperature ($16 \pm 2^{\circ}\text{C}$). Obtained data were analyzed by analysis of variance (ANOVA), a factor, using the test of the least significant difference to observe significant differences ($p \leq 0.05$) between measurements of the treated and untreated samples. The obtained results showed significant effects on the studied properties according to temperature and treatment time, generating changes in the studied functional properties; improving the foaming capacity, emulsifying and gelling, the instrumental texture increased its hardness 1 and 2, cohesiveness, elasticity, gumminess, chewiness, stickiness, firmness, and furthermore improving the color and appearance of the bright yellow gel, smooth, homogeneous and more elastic that recovers more quickly at 50% compression. These positive effects of the US and the CM would make an excellent alternative for improving and developing of the food industry and specifically of products that require improving these properties.

Keywords: physicochemical characteristics, egg, color, TPA and ultrasound.

INTRODUCCIÓN

El huevo es uno de los alimentos de mayor consumo en el mundo por su calidad nutritiva, contenido proteínico, disponibilidad y bajo costo; además, es utilizado como ingrediente en la preparación de alimentos debido a sus propiedades funcionales: gelificación, formación de espuma, capacidad emulsificante, sabor y color (Yang y Baldwin, 1995; Mine, 1995; Kiosseoglou, 2003).

El huevo y los ovoproductos proveen una amplia variedad de nutrientes incluyendo proteínas (12,58%), minerales y vitaminas. Las proteínas se encuentran tanto en la clara como en la yema, las cuales tienen unas características bien diferenciadas, afectando sus propiedades funcionales tales como capacidad espumante, emulsificante y gelificación (Li-Chan *et al.*, 1995). Se ha encontrado que los componentes de la proteína de huevo, que tienen marcadas diferencias en las propiedades de espumado (Nakamura, 1964); en cuando a las propiedades emulsificantes se le atribuyen a la presencia de fosfolípidos y lipoproteínas de baja densidad presentes en la yema. El pH en el huevo fresco oscila entre 6.0 y 7.5; el cual varía en función de las condiciones de almacenamiento (Li-CHAN, *et al.*, 1995).

La producción mundial de huevo para el 2010 se estimó en 6.991.597 ton. En Colombia ésta viene mostrando un incremento vertiginoso la desde el año 2004, pasando de 7.490 millones de unidades con 335.000 ton a 10.662,11 millones de unidades con 584.967 ton, en el 2011, lo cual representa un crecimiento del 74,61%; igualmente el consumo *per cápita* muestra un aumento del 46,25% entre 2000 a 2011, pasando de 160 unid/año a 234.

El país presenta un alto potencial para tecnificar el sector avícola y crear una infraestructura capaz de producir huevos y otros productos para auto-abastecimiento y exportación, favorecido por factores como: disponibilidad territorial, climática y oferta de mano de obra; ventajas que no han sido potenciadas como competitivas; tomando en cuenta las anteriores razones, se plantea la necesidad de buscar la aplicación de nuevas tecnologías tales como el uso del ultrasonido, en el manejo, industrialización y conservación de huevos y ovo productos.

El ultrasonido (US) llamado también sonicación o disrupción ultrasónica, es una tecnología no térmica, que puede definirse como la energía generada por segundo de ondas acústicas inaudibles superior a 20 KHz. o más vibraciones (Hoover, 2000). De acuerdo a los intervalos de frecuencia los sonidos utilizados en el ultrasonido se dividen básicamente en: baja intensidad (2 a 10 MHz) y alta intensidad (20 a 100 MHz) (Villamiel y Jong, 2000; Butz y Tauscher, 2002). El fenómeno de la cavitación y la propagación de las ondas acústicas constituyen los eventos responsables de la mayoría de los efectos acústicos que afectan las propiedades de los alimentos y el desarrollo y supervivencia de microorganismos (Leighton, 1998).

En general, la literatura reporta estudios sobre el uso de ésta técnica durante muchos años en la industria con varios propósitos, entre ellos: la emulsificación (Sajas *et al.*, 1978), determinación de textura, viscosidad, concentración de alimentos sólidos y líquidos, determinación de la composición de alimentos intactos (huevos, hortalizas, fru-

tas), carnes y leches (Floros y Liang, 1994); en la evaluación objetiva y no destructiva de las características internas de alimentos para determinar su calidad (Gunasekaran y Chiyung, 1994; en la evaluación del color ($L^* a^* b^*$) a través de imágenes capturadas por una cámara de ultrasonido (Vizhanyo y Felfoldi, 2000). En la industria alimentaria su uso aún está incipiente y requiere de más investigación para aclarar su efecto en las propiedades funcionales de los alimentos (Piyasena y Mohareb, 2003).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del ultrasonido 37 KHz con una potencia de 80W a 20 y 45°C durante 5 y 5+5min con un período de descanso de 5 min en mitad del tiempo de exposición, sobre pH, propiedades funcionales (capacidad espumante, emulsificante y gelificación) y la propiedades reológicas de color y textura en el huevo entero liquido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron huevos de gallina entre 2 y 4 días de postura adquiridos en el mercado local, fueron previamente higienizados en una solución al 70% de etanol, secados al ambiente, separados de la cáscara y mezclados manualmente en un *beaker* (500 ml) hasta obtener una mezcla homogénea evitando la formación de espuma, envasadas en fundas de celulosa de 50 ml de HEL cada una, las cuales se colocaron en bolsas plásticas previamente rotuladas selladas al vacío (90%) (Gélvez, 2005).

Tratamiento con ultrasonido (US)

Se empleó un equipo *Elmasonic E* (37 KHz con potencia 80W), como medio de transmisión se utilizó agua desionizada de alta pureza, los tratamientos se efectuaron a 20° y 45°C con una permanencia de tiempo de 5 y (5+5+5min); en éste último se aplicaron en dos períodos de tiempo de 5 min, dejando un intervalo de descanso de 5min en la mitad del proceso.

Efecto sobre las propiedades funcionales del HEL

Todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente (16 ± 2 °C), por triplicado con tres repeticiones cada una. Para la preparación de las muestras se siguió la metodología propuesta por Phillips *et al.* (1990) y Lee (2002), se tomaron 25 ml de HEL, se mezclaron durante 5 min, con una batidora de doble pala (modelo *Samurai multimix*, China), y con una velocidad máxima de 1700 rpm.

Formación y estabilidad de espuma

Se pesan 25 ml de la espuma formada después del batido (balanza digital, *Ohaus*). La eficiencia de formación de espuma se expresó como % de *overrun*.

$$\% \text{overrun} = \left[\frac{(w \text{ ml } 25 \text{ HEL}) - (w \text{ } 25 \text{ ml espuma})}{(w \text{ } 25 \text{ ml espuma})} \right] * 100$$

Para determinar la estabilidad de la espuma, se pesaron 25 ml de espuma en un

vaso de precipitado, los cuales fueron dejados en reposo 20 min a temperatura ambiente, y posteriormente se pesó el líquido drenado, el cual corresponde a la espuma que perdió su estabilidad durante ese tiempo de reposo. El porcentaje de estabilidad de la espuma se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ estabilidad} = \left[\frac{(\text{wespuma}) - (\text{wespumadrenada})}{(\text{wespuma}) * t} \right] * 100$$

Capacidad emulsificante

A 20 ml de HEL, se le adicionó lentamente aceite de soya comercial, manteniendo una agitación constante de 8.000 rpm., hasta romper la emulsión formada; luego fue medida la cantidad de aceite consumido durante la prueba. Para el ensayo se usó un batidor manual (*Shimasu* HC-1000, China). La capacidad de emulsificación se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ emulsificación} = \left[\frac{\text{volumen (ml) aceite consumido}}{\text{volumen (ml) de muestra}} \right] * 100$$

Estabilidad del cremado

Se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Guilmineau y Kulozik (2006). El ensayo consistió en medir la estabilidad en el tiempo de la emulsión preparada (huevo y aceite); para ello se dejó en reposo dicha emulsión a temperatura ambiente durante 5 días. En un recipiente plástico se colocaron 10 ml de HEL y se adicionaron 10 ml de aceite comercial de soya, los cuales fueron mezclados con un batidor manual (*Shimasu* HC-1000, China) durante 1 min hasta formar una emulsión, transfiriendo 5 ml de ella a un tubo de ensayo que fue tapado y dejado en reposo a temperatura ambiente (16 ± 2 °C); las lecturas se realizaron durante las siguientes

intervalos de tiempo (8, 12, 24, 36, 48 horas) y al quinto día. La estabilidad de la capacidad de cremado se determinó aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cremado} = \left[\frac{\text{altura de la fase clara sedimentada}}{\text{altura de la emulsión}} \right] * 100$$

$$\% RCH = \left[\frac{\text{altura de la fase de crema}}{\text{altura total de la emulsión}} \right] * 100$$

Capacidad de gelificación

Se evaluó siguiendo el Método Coffmann y García (1977) modificado. Se colocaron 5 ml de la muestra en un tubo de ensayo al baño María a temperatura de 92 ± 2 °C (Baño termoestático E Q, Colombia) hasta su coagulación. Se registró la temperatura y el tiempo en que se alcanzó la gelificación total. Las lecturas fueron tomadas por triplicado para cada ensayo con tres repeticiones cada una. Para la interpretación de resultados, se reportó como positivo cuando se observó formación del gel y se consideró negativo cuando no se observó la formación del gel o éste fue débil y se evaluó visualmente la apariencia del mismo.

Efecto sobre las propiedades reológicas del HEL

Color

Se utilizó la metodología descrita por Lannas *et al.* (2006); empleando el modelo de color CIELAB (con apertura del diámetro 8 mm, plato blanco de referencia, iluminación estándar D65 (representa la luz del día) y un observador estándar de 10°), se colocó una muestra de HEL homogénea en una cápsula de cuarzo midiendo tres parámetros de color por reflectancia: *L* (claridad 0 a 100), *a** (componentes de rojo-verde, 60-60), *b** (com-

ponente amarillo-azul, 60-60). Las lecturas fueron realizadas en un espectrofotómetro de esfera serie sp60 X – Rite (*Grand Rapids, Michigan, U.S.A*) con el *software X-Rite Color® Máter espacio* previamente calibrado. Los análisis se realizaron por triplicado con tres repeticiones cada uno.

Perfil de textura (TPA)

La textura y la firmeza fue evaluada en el gel obtenido después de la cocción del HEL en una bolsa tubular plástica calibre 20mm a 90°C durante 45 min y enfriado a 4±2°C por 8 horas y cortado en rodajas de 20 mm de altura. Para los ensayos se empleó un texturómetro *Texture Analyser (TA-Plus, Lloyd Instruments)*, con el *software Nexigen, empleando un software Expert, versión 1.19 para Windows (Stable Micro Systems, Urrey, RU)*. Para la adecuación de la técnica para medir el TPA en las condiciones del laboratorio y establecer los parámetros de las condiciones de ensayo, se variaron los valores de los parámetros de operación: velocidad de desplazamiento del cabezal, fuerza trigger y porcentaje de compresión, y los parámetros se definieron estadísticamente mediante análisis de ANOVA a un factor y mediante la prueba de DMS. El análisis instrumental de textura (TPA) se determinó por compresión uniaxial del HEL gelificado; para la doble compresión se usó un plato de acero inoxidable de

diámetro de 10 cm.; las muestras se comprimieron un 50% con relación a la altura de la muestra, con una fuerza de contacto trigger 7,5 gf a una velocidad constante sobre la cubeta de 2,9 mm/s y un tiempo de 2s entre ciclos y a una distancia de auto calibración, evaluando los siguientes parámetros: dureza 1 y 2, cohesividad, elasticidad, gomosidad, masticabilidad y adhesividad.

Firmeza del gel

Se evaluó mediante la prueba mecánica de ruptura; para ello se realizó una compresión unidireccional usando un eje cilíndrico de acero inoxidable de terminación esférica de 8mm diámetro, para producir la ruptura del gel a una profundidad determinada. Los parámetros del ensayo fueron: Velocidad trigger 0,2Kgf velocidad de ensayo: 20 mm/s; depresión o distancia de penetración 6mm. La dureza se expresó como la fuerza (g) que necesitó para penetrar 6 mm del gel frío.

Los datos obtenidos se analizaron mediante el paquete estadístico SPSS (v. 13 bajo Windows) utilizando análisis de varianza, (ANOVA) un factor, aplicando la prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS), para observar diferencias significativa ($p \leq 0,05$) entre las medias de las muestras tratadas y sin tratar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad espumante y estabilidad de la espuma

Todas Las muestras tratadas presentaron un incremento significativo respecto del testigo (figura 2); no se detectaron diferencias

significativas entre tratamientos, excepto con la muestra tratada a 45°C/5+5+5 min (T4), la cual, además, mostró el mayor incremento en el *overrun* y estabilidad en la espuma de 23% y 31% respectivamente. Entre tratamientos, la variación registrada en T2 y T4, dejó ver

que cuando a 45°C se duplica y el tiempo de tratamiento en dos secciones de 5 min con un descanso de tiempo igual, estas propiedades se incrementan 13%, mientras que en T1 y T2, a pesar de incrementar la temperatura en 25°C con el tiempo de tratamiento igual (5min), el incremento reportado es menor 6,7% en la muestra tratada a más baja temperatura, sin que se presenten diferencias significativas entre sus medias.

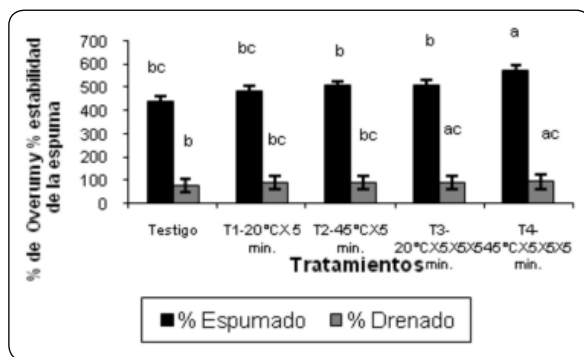


Figura 1. Efecto del ultrasonido en el huevo entero líquido sobre la capacidad de espumado y estabilidad de la espuma durante un reposo de 20 min.

$p \leq 0,05$ diferencias significativas. Letras iguales no existen diferencias significativas entre columnas

Si bien los eventos que ocurren en el HEL al combinar US y el tratamiento térmico (termosonicación) aún no están todavía bien conocidos, estarían acorde con lo reportado por Zhu y Damodaran (1994) y Nakamura y Doi (2000), quienes demostraron que el desdoblamiento parcial de las proteínas del suero por calor-inducido, aumenta la capacidad de formación de espuma y su estabilidad debido al aumento de hidrofobosidad en la superficie de la proteína, principalmente de la ovoalbúmina. Efectos similares a éstos fueron reportados por Lee (2002) y Güzey (2002), quienes observaron que dicha mejora podría atribuirse al efecto del fenómeno de la cavitación provocado por la onda ultrasónica, la cual ocasiona cambios en las estructuras de las proteínas ocasionando un ligero aumento

en la flexibilidad de sus moléculas reforzando la formación de una estructura intermedia de éstas, haciéndolas más estables, disminuye además el tamaño de las burbujas, mejorando así su dispersión en la fase líquida del huevo (clara), reduciendo rápidamente la tensión superficial facilitando la formación de la interfase aire-líquido, y ocasionando mejora en la formación de espuma; mientras que Sin Lim y Barigou (2005) lo atribuyen a dos efectos de la cavitación, reducción del tamaño y distribución de las burbujas de aire en el HEL, efecto que se pudo apreciar en este estudio donde la espuma obtenida después del tratamiento presentó un mejor aspecto, más homogéneo al reducir el número de las cavidades grandes, reduciendo el aspecto granuloso de la espuma con el paso del tiempo a causa de la difusión de gas, que finalmente generan su colapso; hallazgos similares en el tamaño, distribución más homogénea y estable de las burbujas y por ende menor proporción del colapso de la espuma fueron observados en este trabajo, los cuales ya habían sido comunicados por Lee (2002), cuando trató el HEL con método combinado US y alta presión.

Capacidad emulsificante y estabilidad de la crema

Con el índice de altura de la capa de crema (RCH), se evaluó la capacidad emulsificante y la estabilidad del cremado como % de cremado. Todas las muestras del HEL tratado mostraron incremento significativo ($p \leq 0,05$) con respecto al testigo en la capacidad emulsificante; siendo mayor en 173,6% cuando la muestra fue tratada a 20°C/5+5+5min, presentando diferencias significativas entre sí, donde a 20°C cuando se elevó el tiempo de exposición en 5 minutos, se incrementó 32%; mientras que con 45°C disminuyó 35,8%, es decir la capacidad de emulsificante a 20 °C

es directamente proporcional al tiempo de tratamiento, mientras que a 45°C el comportamiento es inverso.

Al evaluar la estabilidad del cremado (figura 3), se tiene que, todas las muestras después de 6 horas de tratamiento frente al testigo presentaron un ligero incremento siendo significativamente mayor en 6,6% en T1, T3 y T4, Excepto T2 que fue significativamente menor 2%. Al 5 día de reposo, no se evidenciaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con el testigo, aunque la mayor estabilidad se observó en T3; 4,5% por encima de éste. Se apreciaron diferencias significativas entre tratamientos, notando que a 20°C/5min se incrementa respecto de las demás, pero decrece al aumentar el tiempo de tratamiento a 5+5+5 min, indicando que la estabilidad de la crema depende inversamente al tiempo de tratamiento; mientras que a 45°C no se percibe diferencia significativa alguna. El mejoramiento en la capacidad de cremado puede presentarse por el efecto del US. Tornberg (1980) y Krause y Bucheim (1994) observaron que en emulsiones estabilizadas con proteínas aisladas y obtenidas con un aparato ultrasónico se podían neutralizar las tendencias de agregación, debido a la reducción del tamaño de gota y al espectro más ancho en el tamaño del glóbulo formado respecto al generado por emulsiones homogeneizadas tradicionalmente.

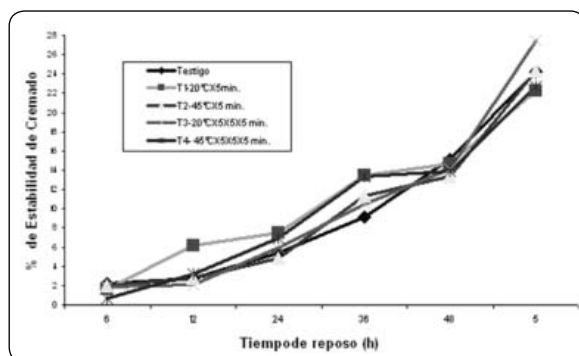


Figura 3. Cinética de la estabilidad del cremado en el tiempo de almacenamiento de la emulsión de huevo entero liquido-aceite de soya.

Sin Lim y Barigou (2005), identificaron como responsable de este mejoramiento al fenómeno de cavitación generado por la sonicación, que hace que las burbujas pequeñas formadas colapsen cerca de la interface entre los dos líquidos inmiscibles, incrementando la intensidad y la velocidad de las ondas de choque, siendo éstas las responsables de la mezcla entre las dos fases. Sin embargo, el mecanismo exacto de la formación y el rompimiento de las gotas y el papel de los diferentes parámetros del proceso aún no están bien comprendidos, aunque Li y Fogler (1978) notaron que en el proceso de emulsión acústica se observaban dos fases; en la primera, se formaban gotas de aceite de 70 μm por la inestabilidad de las ondas interfaciales como consecuencia de la cavitación; y en la segunda fase las gotas grandes eran sucesivamente rotas a un tamaño más pequeño cuando cae la cavitación bioacústica, hasta alcanzar un tamaño más pequeño, haciéndola más estable.

La disminución de la estabilidad de cremado observada al aumentar la temperatura independiente del tiempo de tratamiento ya habían sido reportados por Guilmineau y Kulozik (2006) durante el estudio del efecto del tratamiento térmico en las propiedades emulsificantes de la yema de huevo, y quienes demostraron que la desnaturalización térmica de la proteína puede afectar su funcionalidad como emulsificante, debido a que la degradación térmica de las mismas aumenta la repulsión de fuerzas intra e intermoleculares entre las gotas, lo que ocasiona su colapso; porque cuando el tamaño de la gota crece, decrece la viscosidad de la fase continua y ésta podría aumentar la proporción de recoalescencia.

Capacidad de Gelificación

Todos los tratamientos aplicados presentaron un aumento significativo ($p \leq 0,05$) en la temperatura de gelificación respecto del testigo, siendo la mayor en T2 (14%), sin que se hayan evidenciado diferencias significativas entre ellos (Ver figura 4). Respecto del tiempo de gelificación, frente al testigo el aumento en el tiempo de exposición genera un incremento significativo del 33% en T2 y T4. Todas las muestras presentaron diferencias significativas entre sí, dependiendo de manera directa del tiempo y temperatura de tratamiento, exhibiendo el mayor incremento (47%) en T4.

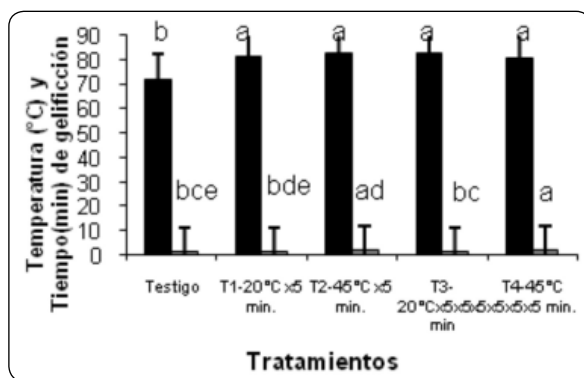


Figura 4. Temperatura y tiempo de gelificación del huevo entero líquido tratado con ultrasonido.

$p \leq 0,05$ diferencias significativas. Letras iguales no existen diferencias significativas entre columnas.

Este incremento en tiempo y temperatura de gelificación se atribuye principalmente al fenómeno de cavitación provocado por la onda ultrasónica antes de iniciar la obtención del gel mediante tratamiento térmico, el cual genera cambios en la proteína nativa, mejorando la habilidad de la ovoalbúmina de crear una red tridimensional después de su desnaturalización y formar un gel; de igual manera éste se atribuye también a la formación de enlaces disulfuros, según lo había informado Saio *et al.* (1971) cuando divulgaron que éstos

se relacionan estrechamente con la formación del gel. De otra parte, Sánchez *et al.*, (2006) reportó que la manotermosonicación (MTS) de la ovoalbúmina mostró un modelo de gelificación similar a la ovoalbúmina tratada con calor y que las modificaciones introducidas por el ultrasonido en la ovoalbúmina son reversibles pero Onda, *et al.* (1997) informó que esta reversión no evita el uso de MTS del huevo líquido como agente gelificante.

El gel obtenido después de la cocción del HEL tratado independientemente del tiempo de tratamiento, mostró respecto del testigo una apariencia de un gel bien formado, homogéneo, liso, brillante y de textura firme en contraste con el testigo que mostró una apariencia poco uniforme con abundantes burbujas de gas, dando una apariencia esponjosa, opaca y seca. Dicha mejora en la apariencia del gel, está atribuida a varias causas, entre ellas, al efecto de cavitación favorece la homogenización de los componentes del HEL, reduciendo el tamaño y distribución de las burbujas de gas antes de la gelificación, evitando la formación de cavidades de aire en el interior del gel durante el calentamiento, reduciendo la textura esponjosa del gel, efecto que también fue observado por Lee (2002) cuando trató HEL combinando US con alta presión.

Efecto sobre el color

Todas las muestras tratadas presentaron incremento significativo ($p \leq 0,05$) en las variables de color (L^* , a^* y b^*) frente al testigo independientemente de la temperatura y tiempo de tratamiento. El valor L^* (Luminosidad) exhibió un color significativamente más claro que el testigo en todas las muestras tratadas, intensificándose significativamente cuando se incrementó la temperatura de 20°C

a 45°C a un mismo tiempo de exposición (5 min.), pasando de 4% a 7,4% (tabla 2) respectivamente; lo que significa que a mayor temperatura de tratamiento el color del huevo se vuelve más luminoso y claro. Resultados similares éstos fueron reportados por Lee (2002), cuando trató HEL con un tratamiento combinado de US y alta presión.

Tabla 2

Efecto en el HEL del Ultrasonido sobre los parámetros del color medidos en los valores de L*, a* y b*

| Tratamientos | L* | a* | b* |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Control | 50,324±0,58 ^c | 10,173±0,166 ^c | 29,26±0,95 ^a |
| US20°CX5min | 58,793±0,14 ^b | 12,342 ± 0,234 ^c | 33,610 ± 0,120 ^b |
| US45°CX5min | 61,162±0,28 ^a | 13,646 ± 0,279 ^b | 37,480 ± 0,321 ^{ca} |
| US20°CX5x5x5min | 57,573±0,48 ^b | 11,541 ± 0,494 ^c | 32,245 ± 0,257 ^b |
| US45°CX5x5x5min | 62,880±0,64 ^a | 14,001 ± 0,338 ^a | 35,967 ± 1,208 ^{cb} |
| <i>p</i> -valor | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

$p \leq 0,05$ diferencias significativas. Letras iguales no existen diferencias significativas entre columnas.

Con relación al color en a^* (rojo/verde) después del tratamiento, las muestras exhibieron valores positivos significativamente ($p \leq 0,05$) mayores respecto de la muestra sin tratar, indicando potencialización del color rojo, cuando se elevó el tiempo y la temperatura de tratamiento presentando el mayor incremento 37,6%. Igualmente, entre tratamientos el color mostró variaciones significativas cuando con 5 min de tratamiento se elevó la temperatura de 20 a 45°C., exhibiendo un aumento de la croma en 10,53%, y al duplicar el tiempo de exposición a la onda ultrasónica, se intensifica alcanzando 21,31%.

Efecto sobre el perfil de textura (TPA)

Las muestras tratadas revelan diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre el testigo y todos los tratamientos, revelando un incremento en los parámetros de dureza 1 y 2, cohesividad, masticabilidad, gomosidad, adhesividad, elasticidad y firmeza (datos no representados).

La dureza 1 y 2 muestra 43,39% y 52,30% respectivamente y disminuye directamente proporcional al tiempo cuando las muestras son tratadas a 20°C, mientras que 45°C su comportamiento es inverso; a pesar de verse incrementada, el gel se observó más elástico, y se recupera fácilmente después de una compresión del 50%. Dicho incremento es afectado por la variación en las condiciones de tratamiento.

El mayor incremento significativo de la cohesividad se exhibe a 45°C/5min, siendo del 26% respecto al testigo; mientras que la masticabilidad a la misma temperatura, cuando se duplica el tiempo, revela su mayor incremento (65%); en cambio, la adhesividad su incrementó significativamente, con dependencia de la temperatura y tiempo de tratamiento, siendo notorias a 20°C/5min y 45°C/5+5+5min, y alcanzando 66,6% y 150% respectivamente.

En cuanto a la Gomosidad (N), respecto de la elasticidad (mm) en todos los tratamientos deja ver un incremento estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) respecto del testigo, sin que la media entre los tratamientos presente diferencia significativa alguna, ni se vea afectada por las condiciones de tratamiento respecto de temperatura y tiempo, aunque en las muestras tratadas a 45°C/5+5+5min, se aprecia el mayor valor (39%). Respecto de la firmeza, es afectada significativamente, siendo mayor cuando a 45°C se duplica el tiempo de tratamiento (11,7%), exhibiendo un gel más resistente a la rotura y deformación.

En general, los cambios registrados en las características texturales del gel obtenido por calentamiento a 90°C después de tratar el HEL con US, se le atribuyen al efecto de

la combinación del US y temperatura alta, la cual potencializa el efecto de la cavitación sobre la estructura de la proteína, provocando una desnaturalización parcial de la estructura secundaria y terciarias (Mine, 1995), y favoreciendo los mecanismos de gelificación de la ovoalbúmina, ya que ésta actúa sobre los

enlaces disulfuro (S-S), los cuales aumentan la habilidad de incrementar el número de moléculas involucradas en el agregados (Rumbo *et al.*, 1996), a la disminución en el total de grupos sulfhidrilos y las interacciones hidrófobas y electrostáticas que inician la red en la formación del gel (Hayakawa y Nakai, 1985)

CONCLUSIONES

El Ultrasonido a 37 KHz con una potencia de 80W a 20 y 45°C durante 5 y 5+5min, afecta significativamente las propiedades estudiadas al disminuir significativamente pH 3% e incrementar las capacidades funcionales y mejorar la textura instrumental y la ocular, obteniendo un gel respecto al testigo más homogéneo, liso, con escasas burbujas, las cuales, además, son de menor tamaño, con mayor firmeza pero más elasticidad y resistencia a la deformación y a la rotura, recuperándose fácilmente después de una compresión a 50%, y luciendo además un color más claro, luminoso, cuya croma predominante es el amarillo con tendencia a rojo. Dichos incrementos varían de acuerdo con la temperatura y tiempo de tratamiento; a 20°C /5min se incrementa la dureza 1 y 2 en 143% y 52% respectivamente; y cuando a esta temperatura se duplica el tiempo con un reposo intermedio de tiempo igual, se incrementa la

capacidad de emulcificación 173% sin que exista relación alguna entre el índice de RCH después del tratamiento con la estabilidad de la crema durante almacenamiento y la estabilidad del crema en 4,5%, aunque no fue significativa respecto al testigo y la cohesividad en 30,43%. A 45°C con 5 min se incrementa y el valor b^* 21% , la temperatura 14% y la elasticidad 39%. Cuando a esta temperatura de 45°C se aumenta el tiempo a 5+5+5min, se ven incrementados el valor L^* 23% y a^* 37,6%, el tiempo de gelificación 33%, la capacidad de espumado y estabilidad en 23% y 31% respectivamente, la adhesividad 150%, gomosidad 103%, firmeza en 11,7% y. Estos efectos positivos harían del US una excelente alternativa para el mejoramiento y desarrollo de la industria alimenticia en el sector de los ovoproductos, específicamente en aquellos productos que requieran el mejoramiento de estas propiedades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Butz, P; Tauscher, B. (2002). Emerging technologies: chemical aspects. *J. Food Research International*. (35). p. 279 – 284.
- Coffmann, C.N; García, V. (1977). Functional properties and amino acid content of a protein isolated from mung bean flour. *J. Food Techno.* (12). p. 473 -484.
- Ferreira, L.F.S; del Mastro, N.L. (1998). Rheological Changes in irradiated chicken eggs. *Radiat. Phys. Chem.* 52 (6). p. 59 -62.
- Floros, J.D; Liang, H. (1994). Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *J. Food Technology.* (48). p. 79 – 84.
- Gélvez, V. M. (2005). Elaboración de crema de huevo mediante alta presión e irradiación. Tesis doctoral Universidad Autónoma de Barcelona. p.59 – 67.
- Guilmineau, F.; Kulozik U. (2006). Impact of a thermal treatment on the emulsifying properties of egg yolk. Part 1: Effect of the heating time. *J. Food Hydrocolloids.* (20). p.1105–1113
- Gunasekaran, S; Chiyung, A. (1994). Evaluating milk coagulation with ultrasonics. *J. Food Technol.* 48. (12). p. 74 – 78.
- Güzey, D. (2002). Modification of Protein Structure and Functionality Using High-Intensity Ultrasound. A Thesis Presented for the Masters of Science Degree. The University of Tennessee, Knoxville. p. 91-92.
- Hayakawa, S; Nakai, S. (1985). Contribution of hydrophobicity and, net charge, and sulfhydryl groups to thermal properties of ovalbumin. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* (18). p. 290-295.
- Hoover, D.G. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: ultrasound. *Journal of Food Science.* p. 93 – 95 (Supl.).
- Kiosseoglou, V. (2003). Egg yolk protein gels and emulsions. *Opinion in Colloid and Interface Science* (8). p. 365 –370.
- Krause, J.P; Buchheim, W. (1994). Ultrastructure of o/w emulsions stabilized by faba bean protein isolates. *J. Nahrung* (38). p. 455-463.
- Lannas, S; DA Silva, C; Estellera, M.S; Orlandi de Lima, A.C. (2006). Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers *LWT* (39). p.184 – 187
- Lee, D.U. (2002). Application of combined non-thermal treatments for the processing of liquid whole egg. Tesis doctoral: Von der Fakultät III-Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin.
- Leighton, T. (1998). The principles of cavitation. In M.J.W. Povey, and T.J. Mason (Eds.). *Ultrasound in food processing.* p. 151 – 178.
- LI-Chan, E.G; Powrie, W.D; Nakai, S. (1995). The chemistry of cytochromes in whole egg and egg yolk powders and in liquid eggs and egg products. In: *Science* (67). p. 2952 - 2956.
- LI, M. K; Fogler. H. S. (1978). Acoustic emulsification. Part 1. The instability of the oil-water interface to form the initial droplets. *J. Fluids Mech.* (88).p. 499-511.
- Mine, Y. (1995). Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science and Technology.* (6). p. 225 - 232.
- Nakamura, R; DOI, E. (2000). Egg processing. In *Food Proteins. Processing Applications*; S. Nakai; H. W. Modler, Eds.; Wiley-VCH, New York. p. 171 -207.
- Onda, M; Tatsumi, E; Takahashi, N; Hirose, M. (1997). Refolding of urea-denatured ovalbumin that comprises non-native disulfide isomers. *J. Biochem.* (122). p. 83-89.
- Phillips, L.G; German, J.B; O’neill, T.E; Foegeding, E.A; Harwalkar, V. R; Kilara, A; *et al.* (1990). Standardized procedure for measuring foaming properties of three proteins, a collaborative study. *Journal of Food Science.* 55 (5). p. 1441 - 1444 - 1453.
- Piyasena, P; Mohareb, E.R.C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review *McKellar International Journal of Food Microbiology.* (87). p. 207– 216.
- Rhim, J.W; Jones, V.A; Swartzel, K.R. (1988). Initial whitening phenomenon of skim milk on heating. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 21 (6). p. 339-341.
- Rumbo, M; Chirido, F.G; Fossati, C.A; Anon, M.C. (1996). Analysis of Structural Properties and Immunochemical Reactivity of Heat-Treated Ovalbumin. *J. Agric. Food Chem.* (44). p. 3793 - 3798
- Saio, K; Kajikawa, M; Watanabe, T. (1971). Thermal Coagulation of Egg Albumin. *J. Agric. Biol. Chem.* (35).p. 890.
- Sajas, J.F; Zaandas, Y; Gorbатов, E.W.M; Gorbатов, V.M. (1978). Use of ultrasonics in meat technology, I and II. *Fleischwirtschaft*, 58 (6). p. 957 – 1009 - 12, 1015 - 21; 58 (7). p. 1143-6, 1149-52.
- Sánchez, E. (2006). Studies of ovalbumin gelation in the presence of carrageenans and after manothermosonication treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* (7). p. 270–274.
- Sin-Lim, K; Barigou, M. (2005) Ultrasound-assisted generation of foam *Ind. Eng. Chem. Res.* (44). p. 3312 – 3320.

-
- Tan, A.T; Woodworth, R.C. (1969). Ultraviolet difference spectral studies of conalbumin complexes with transition metal ions. *Biochemistry*, 8. (9). p. 3711-3716.
- Tornberg, E. (1980). Functional characteristics of protein stabilized emulsions: emulsifying behavior of proteins in a sonifier. *J. Food Sci.* (45).p. 1662-1668.
- Van-Vliet, T. (1995). Mechanical properties of concentrated food gels. In E. Dickinson (Ed). *Food macromolecules and colloides (special Pub, No (82), p. 447 – 455)*. Cambridge, UK, Royal Society of Chemistry.
- Villamiel, M; Jong, P. (2000). Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins and native enzymes of milk. *J. Agric. Food Chem.* (48). p. 472 – 478.
- Vizhanyo, T., Felföldi, J., 2000. Enhancing colour differences in images of diseased 460 mushrooms. *Comp Elec Agric* (26).p. 187–198.
- Yang, S.C; Baldwin, R.E. (1995). Functional properties of eggs in foods. In: Stadelman, W. J. and Cotterill, O. J. (Eds.), *Egg Science and Technology*. p. 405 – 463. Food Products Press, New York.
- Zhu, H; Damodaran, S. (1994). Heat-induced conformational changes in whey protein isolate and its relation to foaming properties. *J. Agric. Food Chem.* (42). p. 849 - 848.