

# EFFECTO DEL ULTRASONIDO APLICADO AL SUERO DE LECHE PREVIO AL CALENTAMIENTO EN LA ELABORACIÓN DE REQUESÓN

Ivette Karina Ramírez Rivas y América Chávez-Martínez

## RESUMEN

Uno de los productos principales que se pueden obtener del suero lácteo es el requesón, sin embargo, el rendimiento es bajo. Estudios con ultrasonido aplicado a leche entera de vaca en la etapa de pasteurización han demostrado que aumenta el rendimiento en queso fresco. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ultrasonido de alta intensidad (42kHz, 14W), aplicado a suero de leche bo-

vina previo al calentamiento en la elaboración del requesón, sobre el rendimiento, humedad, cenizas, color y textura del mismo. Se evaluaron tres tratamientos a diferentes tiempos de sonicación: 20, 40 y 60min, el tratamiento control fue suero sin sonicar. El ultrasonido no mostró efecto en el rendimiento del requesón y los parámetros de humedad, cenizas, color y textura.

## Introducción

En México, la actividad pecuaria esta basada principalmente en la producción de bovinos productores de carne y leche. En el año 2015, México ocupó la novena posición en la producción mundial de leche. Durante el cuarto trimestre del 2015, la producción de leche de ganado bovino alcanzó poco más de 11,394×10<sup>9</sup> litros, un 2,4% más que en el mismo periodo del 2014, y de enero a noviembre del 2015 la industria quesera produjo 332,251×10<sup>3</sup>t de diversos quesos (SIAP-SAGARPA, 2015). Así mismo, se estima que se generan ~9 litros de suero por kg de queso elaborado (Hernández-Rojas y Vélez-Ruiz, 2014).

El suero de leche se define como un líquido color amarillo-verdoso que se obtiene de la leche después de la separación de la cuajada en la elaboración de queso (Alvarado-Carrasco y Guerra, 2010), contiene ~50% de los nutrientes de la leche (Cuellas y

Wagner, 2010), y presenta ~20% (p/p) del total de las proteínas de la leche (Qi y Onwulata, 2011). La composición nutricional del suero varía dependiendo de las características de la leche utilizada para la elaboración de queso y del tipo de queso fabricado; de esta manera, el suero de leche se puede clasificar como suero dulce o suero ácido; el primero se produce a partir de acción enzimática y contiene más lactosa, proteína y presenta un pH ≥6; el segundo, se obtiene por acción ácida, contiene mayor cantidad de grasa, fósforo y calcio, y presenta un pH ≥4,5 (Callejas *et al.*, 2012; Poveda, 2013).

El suero es una compleja mezcla de proteínas globulares comprendiendo β-lactoglobulina (β-LG; ~50% p/p), α-lactoalbúmina (α-LA; ~20% p/p), inmunoglobulinas (IgG; ~10% p/p) y seroalbúmina (BSA; ~6% p/p). Contiene también, en menores cantidades, otros componentes proteicos tales como lactoferrina, lactoperoxidasa, lisozima y

factores de crecimiento (Jovanović *et al.*, 2005; Qi y Onwulata, 2011).

En algunas queserías el suero lácteo se descarta de la manera más económica posible, vertiéndose al drenaje. Ello representa un problema ambiental debido a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 3,5kg y la demanda química de oxígeno (DQO) de 6,8kg por cada 100kg de suero, una fuerza contaminante equivalente a las aguas residuales producidas por 45 personas en un día (Jelen, 1979).

Uno de los productos que se pueden elaborar a partir de suero es el requesón, el cual se obtiene por precipitación de las proteínas séricas mediante la aplicación de calor en un medio acidificado con ácidos orgánicos. El rendimiento de requesón es de ~47g por litro de suero (Ruiz-Marroquín, 2006). Inda (2000) recomienda que para obtener el máximo rendimiento de este producto el pH del suero debe estar entre 6,3 y 6,6 previo al calentamiento

del mismo a ~90°C y acidificar el medio entre 4,95 y 5,35 después de alcanzarse esta temperatura.

En la actualidad existen nuevas tecnologías, tales como altas presiones, campos magnéticos, irradiación, destellos de luz blanca y ultrasonido, para procesar alimentos que logran mantener las características frescas y reducir la pérdida de los atributos de calidad, produciendo al mismo tiempo productos estables y seguros a bajo costo que estén disponibles al consumidor (Benedito *et al.*, 2002; Herrero y Romero, 2006; Feng *et al.*, 2011). Una de estas tecnologías emergentes es el ultrasonido, el cual se define como una forma de energía que viaja en ondas de sonido alrededor de 20000 vibraciones por segundo. Las ondas ultrasónicas se clasifican en dos tipos: alta frecuencia/baja intensidad (100kHz a 1MHz / <1W·cm<sup>-2</sup>) y baja frecuencia/alta intensidad (20-100 kHz / 10-1000W·cm<sup>-2</sup>). La primera no modifica el estado

## PALABRAS CLAVE / Lácteos / Rendimiento / Requesón / Suero / Ultrasonido /

Recibido: 03/11/2016. Modificado: 22/11/2017. Aceptado: 27/11/2017.

**Ivette Karina Ramírez Rivas.** Ingeniera Química, Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), México. Estudiante de Doctorado en Producción Animal, UACH, México.

**América Chávez-Martínez.** Ingeniera Química y Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UACH, México. Ph.D. en Tecnología de los Alimentos, Cremson Univer-

sity, EEUU. Profesora-Investigadora, UACH, México. Dirección: Departamento de Tecnología de Productos de Origen Animal, Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH.

Periférico Francisco R. Almadá km 1 Chihuahua, Chih., México. e-mil: amchavez@uach.mx

## EFFECT OF ULTRASOUND APPLIED TO DAIRY WHEY PRIOR TO WARMING IN THE DEVELOPMENT OF CURD CHEESE

Ivette Karina Ramírez Rivas and América Chávez-Martínez

### SUMMARY

*One of the main products that can be obtained from whey is curd cheese. Ultrasound studies applied to whole cow's milk in the pasteurization stage have shown that increases performance in fresh cheese. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of high intensity ultrasound (42kHz, 14W), applied to bovine whey prior to warming in the develop-*

*ment of cottage cheese of yield, moisture, ash, color and texture of the same. Three treatments at different times of sonication were evaluated: 20, 40 and 60min, treatment control was serum without sonication. Ultrasound showed no effect on yield of cottage cheese and parameters of moisture, ash, color and texture.*

## EFEITO DE ULTRA-SOM APLICADO AO SORO DO LEITE ANTES DE AQUECIMENTO NO DESENVOLVIMENTO DE QUEIJO COTTAGE

Ivette Karina Ramírez Rivas e América Chávez-Martínez

### RESUMO

*Um dos principais produtos que podem ser obtidos de soro de leite quark é, no entanto, o rendimento é baixo. Estudos de ultra-som aplicadas ao leite de vaca integral na etapa de pasteurização mostraram que aumenta o desempenho no queijo fresco. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do ultra-som de alta intensidade (42kHz, 14W), aplicado ao soro de leite bovino*

*antes do aquecimento no desenvolvimento de queijo cottage sobre o rendimento, umidade, cinzas, cor e textura do mesmo. Foram avaliados três tratamentos em diferentes momentos do sonicação: 20, 40 e 60min, controle de tratamento foi de soro sem sonicação. O ultra-som mostrou nenhum aumento no rendimento de queijo cottage e os parâmetros de umidade, cinzas, cor e textura.*

del medio que se va a tratar; sin embargo, las aplicaciones de alta intensidad sí causan cambios permanentes en el medio tratado (Jambrak *et al.*, 2008; Robles-Ozuna y Ochoa-Martínez, 2012; O'Sullivan *et al.*, 2016). El uso de ultrasonido en la industria de alimentos se considera un tipo de energía de acción 'limpia' ya que implica mecanismos de acción no ionizantes y no contaminantes (Gallego-Juarez, 2010). Dentro del amplio rango de usos potenciales del ultrasonido en el procesamiento de alimentos se encuentran: inactivación de enzimas y microorganismos (Vercet *et al.*, 2002), cristalización, filtración, esterilización, emulsificación, homogenización, desgasificación, concentración por congelación, descongelación, secado y extracción (Gallego-Juarez, 2010; Awad *et al.*, 2012; Jambrak *et al.*, 2014). Específicamente en productos lácteos, el ultrasonido, se ha utilizado para: disminuir el tamaño de los glóbulos de grasa en la leche (homogenización), emulsificar, evitar la cristalización de la lactosa, controlar la cristali-

zación de la grasa, inactivar microorganismos y como un paso previo a la ultrafiltración de suero lácteo, entre otros (Ashokkumar *et al.*, 2010; Chandrapala y Leong, 2015).

Dentro de las aplicaciones del ultrasonido relacionado con el queso, Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas (2010) encontraron una reducción considerable en el tiempo de cuajado de la leche al elaborar queso fresco con leche ultrasonificada, observándose así mismo un aumento en la luminosidad ( $L^*$ ) y rendimiento del queso de casi el doble (20,6%). Feng *et al.* (2011) mencionan que el ultrasonido modifica el color de la leche, debido a que las ondas ultrasónicas rompen los glóbulos de grasa haciéndolos más pequeños y, por lo tanto, los aglomerados de estos glóbulos son más homogéneos, lo que de esta manera cambia la refracción de la luz y la tonalidad de la leche se vuelve un poco más blanca y por ende la luminosidad es mayor. Por otro lado, se ha encontrado que al aplicar ultrasonido en soluciones de WPC (concentrado de proteína de suero) y WPI

(aislado de proteína de suero) se reduce la sinéresis en los geles formados a partir de estas soluciones y aumenta la capacidad de retención de agua (Zisu *et al.*, 2011).

Sin embargo, a pesar de los estudios que hay sobre la aplicación del ultrasonido en tecnología de lácteos, no se han encontrado estudios sobre el efecto del ultrasonido en suero de leche para elaborar requesón. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el efecto del ultrasonido de alta intensidad aplicado al suero de leche previo al calentamiento en la elaboración de requesón sobre el rendimiento, color y textura de este producto lácteo, esperando observar un incremento en el rendimiento por el efecto que provoca el ultrasonido sobre la capacidad de retención de agua en geles formados por proteínas séricas.

### Materiales y Métodos

#### *Suero de leche de vaca*

El suero de leche se obtuvo de la quesería 'Los Piñones' ubicada en la ciudad de Chi-

huahua, México. Se utilizaron 7,2 litros de suero de leche dulce proveniente de la elaboración de queso 'Chihuahua'. La muestra de suero se tomó inmediatamente después de la elaboración del queso y el transporte del suero a la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad de Chihuahua se realizó en un recipiente de polietileno con capacidad de 20 litros. El traslado duró ~10 min. La temperatura del suero fue de 26,7°C, la acidez inicial de 0,12% de ácido láctico y el pH de 6,389. Estos parámetros fueron medidos inmediatamente después del ingreso del suero al laboratorio de Biotecnología de Alimentos de Origen Animal de la mencionada facultad. Posteriormente se tomaron alícuotas de 600ml de suero para la aplicación del ultrasonido de alta potencia en los tratamientos donde ello fue necesario. Así mismo, se tomó una muestra de suero para analizar el contenido de humedad por el método 926.08, cenizas por el método 935.42, grasa por el método 989.05 y proteína por el método 991.20 (AOAC, 1998). La

muestra se mantuvo en congelación a -20°C hasta su análisis y las pruebas se realizaron por triplicado.

#### Aplicación de ultrasonido al suero

Previo a la elaboración del requesón, para cada tratamiento se sonificaron 600ml de suero en un vaso de precipitado utilizando un equipo de ultrasonido (Branson®, modelo 1510R-MTH) a una frecuencia de 42KHz y una intensidad de 14W por 20min (tratamiento 2), 40min (tratamiento 3) o 60min (tratamiento 4). Como control se usó suero sin sonificar (tratamiento 1). En la chaqueta del equipo de ultrasonido se empleó agua destilada y hielo para controlar la temperatura durante la sonicación, para asegurarse que la temperatura del suero no fuera superior a 25°C. Los tratamientos y el control se realizaron por triplicado.

#### Elaboración de requesón

Una vez aplicado el ultrasonido al suero (a excepción del tratamiento control), se elaboró el requesón de acuerdo a la metodología descrita por Inda (2000) con ligeras modificaciones. Se elevó la temperatura del suero hasta 96°C a una velocidad de ~1°C/min, se agregó 0,1% de ácido cítrico y 1% de cloruro de sodio, se mantuvo a 96°C por 10min y se dejó reposar sin ningún tipo de agitación por 30min. A continuación, el requesón fue recuperado con la ayuda de una manta y se dejó colgando por 2h a temperatura ambiente para su desuerado. Finalmente se guardó en bolsas de plástico (polietileno lineal de baja densidad) con cierre y se conservó a 4°C hasta su análisis.

#### Rendimiento

Al finalizar la etapa de escurrido, se obtuvo el peso del requesón y con la Ec. 1 se obtuvo el rendimiento para cada uno de los tratamientos:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso de requesón (g)}}{\text{peso de suero (g)}} * 100 \quad (1)$$

#### Color

El color del requesón se midió con un equipo Chroma meter (Konica Minolta®, Mod. CR-410, Japón) evaluándose los parámetros L\*, a\* y b\*. El valor L\* es un indicador de luminosidad (de negro a blanco), el valor a\* es un indicador que va desde el color verde (valores negativos) hasta el rojo (valores positivos) y el valor b\* indica tonalidades desde el color azul (valores negativos) hasta el amarillo (valores positivos). La muestra se colocó sobre una superficie circular blanca cubriéndola completamente con el requesón, al momento de realizar la prueba se cuidó que la iluminación de la habitación fuera lo más baja posible para que la luz no interfiriera con las lecturas. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada uno de los tratamientos (Ruiz-Marroquín, 2006; Wadhvani y McMahon, 2012). Además, se calculó la diferencia de color (simbolizada como  $\Delta E^*$ ) del requesón para cada uno de los tratamientos, usando el promedio de las lecturas de los parámetros L\*, a\* y b\* por medio de la Ec. 2, tomando como referencia el tratamiento control (Ramírez-Navas y de Stouvenel, 2012).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad (2)$$

#### Textura

La dureza y adhesividad del requesón fueron determinadas con un texturómetro TA.XT-Plus (Stable Microsystems®, RU). El requesón se depositó en un recipiente de vidrio de 10cm de profundidad hasta llenarlo completamente y se comprimió utilizando el aditamento cónico TA-15A (cono de acrílico de 45°). Las condiciones empleadas fueron: velocidad de la prueba de 1mm·s<sup>-1</sup> y distancia de desplazamiento de 10mm. Los datos que se obtu-

vieron de dureza y adhesividad de la muestra se expresaron en Newtons.

#### Humedad y cenizas

Ambas pruebas se realizaron por gravimetría. La humedad del requesón se realizó de acuerdo al método 926.08 y el porcentaje de cenizas se obtuvo de acuerdo al método 935.42 (AOAC, 1998).

#### Análisis estadístico

Se siguió un diseño completamente al azar con un factor y las variables de respuesta fueron rendimiento, humedad, cenizas, color, dureza y adhesividad. Los datos fueron analizados a través del procedimiento ANOVA. Posteriormente, se realizó la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey, en donde las diferencias estadísticamente significativas fueron establecidas mediante un valor de  $\alpha=0,05$ . El paquete estadístico que se utilizó fue el programa SAS versión 9.1.3 (SAS Institute Inc., EEUU, 2006).

#### Resultados y Discusión

El suero que se utilizó en este estudio contaba con un valor de acidez de 0,12% expresado como ácido láctico, el cual es el recomendado para elaborar requesón según Inda (2000), por lo que no fue necesario añadirle ningún tipo de neutralizante. La composición y pH del suero se muestran en la Tabla I, donde los valores representan el promedio y la desviación estándar de tres lecturas para cada uno de los parámetros.

Estos valores fueron similares a lo mencionado por otros

autores; por ejemplo, Inda (2000) reportó que la composición de un lactosuero típico proveniente de leche entera de vaca con 3,3% de grasa contiene aproximadamente 0,9% de proteína, 0,3% de grasa, 5,1% de lactosa y 0,5% de sales y minerales. Así mismo, Monsalve y González (2005) determinaron la composición físico-química del suero lácteo obtenido de la elaboración de queso Gouda (del cual también se obtiene suero dulce) y reportaron humedad de 93,56%, acidez titulable 0,12%, proteína 0,83%, grasa 0,34%, cenizas 0,62% y pH de 6,03.

Para la elaboración del requesón, el suero se calentó hasta alcanzar una temperatura poco mayor a 90°C y se añadió 0,1% de ácido cítrico con la finalidad de precipitar las proteínas; el pH bajó a 4,5 que es el punto cercano al punto isoeléctrico de las proteínas séricas (Walstra *et al.*, 2006). Se continuó la metodología descrita hasta obtener el requesón y el rendimiento se expresó como la cantidad de requesón producido dada cierta cantidad de suero (kg/100kg) con contenido definido de grasa y proteína. Esta expresión se tomó de manera análoga al rendimiento en queso descrito por Awad *et al.* (2015).

En la Tabla II se observan los valores de rendimiento obtenido de los tratamientos con ultrasonido previo a la elaboración de requesón. El control presentó el mayor rendimiento (6,46%), con diferencia significativa ( $P<0,05$ ) en comparación con el resto de los tratamientos en los que se utilizó suero sonificado. A la fecha no se han encontrado estudios similares en donde se emplee ultrasonido para elaborar requesón, solo

TABLA I  
COMPOSICIÓN Y pH DEL SUERO DE LECHE DULCE

Característica	Media $\pm$ desv. estándar
Humedad (%)	93,95 $\pm$ 0,02
Cenizas (%)	0,57 $\pm$ 0,00
Proteína (%)	0,94 $\pm$ 0,02
Grasa (%)	0,48 $\pm$ 0,01
Acidez titulable (% ácido láctico)	0,12 $\pm$ 0,00
pH	6,43 $\pm$ 0,00

TABLA II  
RENDIMIENTO, HUMEDAD Y CENIZAS DEL REQUESÓN

Tratamiento	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)
1	6,46 ±0,02a	74,79 ±0,18a	2,58 ±0,06a
2	5,80 ±0,09b	75,17 ±1,99a	1,88 ±0,36a
3	5,54 ±0,31b	79,82 ±0,15a	1,70 ±0,24a
4	5,90 ±0,14b	79,77 ±0,22a	1,62 ±0,06a

<sup>ab</sup> Valores en la columna con superíndice diferente muestran diferencia significativa (P<0,05). 1: Control, suero sin sonificar, 2: suero ultrasonificado por 20min, 3: suero ultrasonificado por 40min, 4: suero ultrasonificado por 60min. Los valores son media ±desv. estándar (n= 3).

hay estudios de elaboración de requesón de manera tradicional y se reporta el rendimiento de este producto. En cuanto a rendimiento, los resultados difieren de lo reportado por Ruiz-Marroquín (2006), quien obtuvo un rendimiento de 4,7%, utilizando suero proveniente de queso crema con una acidez inicial de 0,15%, aunque las diferencias en el rendimiento del requesón pudieron deberse al tipo de suero empleado. Freitas-Souza *et al.* (2016) tuvieron un rendimiento de requesón de 5,39%; emplearon suero de la producción de queso mozzarella y para coagular las proteínas séricas añadieron ácido láctico. Por otra parte, Monsalve y Gonzalez (2005) reportaron un rendimiento en requesón de 6,83% pero añadieron 5% de leche fluida al suero, por lo que se obtiene un rendimiento más alto debido al aumento en los sólidos proteicos.

Probablemente las diferencias en rendimiento entre los tratamientos en el presente proyecto pudieron deberse a que el ultrasonido ocasionó una disminución en el tamaño de partícula en las proteínas de suero lácteo sonificado (Jambrak *et al.*, 2008, 2014; Burrington, 2012; Koh *et al.*, 2014) y a la disminución de tamaño de los agregados (Ashokkumar *et al.*, 2009; Zisu *et al.*, 2011). En un estudio realizado por Zisu *et al.* (2011) el tamaño de partícula para muestras de soluciones de WPC (whey protein concentrate) (15% w/w) que originalmente fue de 200nm, se redujo a un promedio de 125nm al aplicar ultrasonido (20kHz y 31W) por 60min. Por su parte, Arzeni *et al.* (2012) encuentran una reducción general en

el tamaño de los agregados en soluciones de WPC al 10% (w/w) al aplicar ultrasonido (20kHz y 4.27W). Por lo tanto, se considera que el rendimiento del tratamiento control fue superior al resto de los tratamientos debido a que el ultrasonido pudo haber disminuido el tamaño de los agregados de proteínas y por consiguiente se perdieron durante el drenado al obtener el requesón, contrario a lo que se esperaba, que era que permanecieran en la matriz de proteínas reteniendo mayor cantidad de agua y con esto aumentar el rendimiento.

También se ha reportado que el ultrasonido disminuye el peso molecular de las proteínas del suero al aplicar ultrasonido (40kHz y potencia de 1W·cm<sup>-2</sup>; Jambrak *et al.*, 2008; Jambrak *et al.*, 2014). Así mismo, se dice que el ultrasonido mejora la solubilidad de las proteínas séricas debido a que la proteína sufre un cambio en la conformación y estructura, en la que las partes internas hidrófilas de los aminoácidos quedan expuestas (Jambrak *et al.*, 2008), lo que pudiera ocasionar que las proteínas se unieran a la fase polar (agua) y se perdieran durante el desuerado del requesón, efecto que se observa en frecuencias de 20, 40 y 500kHz (Awad *et al.*, 2012). Sin embargo, algunos autores mencionan que el ultrasonido ocasiona que las partes internas hidrófilas de las proteínas son las que quedan expuestas al exterior y este hecho provoca que exista mayor unión de las moléculas de agua (Krešić *et al.*, 2008), lo que explicaría el hecho de que se haya observado mayor retención de humedad en el tratamiento con mayor tiempo de aplicación de

ultrasonido y por consiguiente menor dureza.

En cuanto a humedad, los valores se presentan en la Tabla II. Los tratamientos que mostraron mayor contenido de humedad fueron aquellos en los que se empleó suero sonificado por 40 y 60min. Sin embargo, no hubo diferencia significativa entre ellos ni con el resto de los tratamientos.

El tratamiento control mostró tener un contenido de cenizas más alto (2,58%) y el valor más bajo lo presentó el tratamiento en que el suero fue sonificado por 60min (1,62%), observándose una tendencia a disminuir el contenido de cenizas conforme aumentaba el tiempo de aplicación de ultrasonido; aun así, no se encontraron diferencias significativas entre estos valores (Tabla II).

La Tabla III muestra los valores de los parámetros de color L\*, a\* y b\* medidos para los diferentes tratamientos, así como la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) entre ellos, tomándose como referencia el tratamiento control. El valor promedio de luminosidad (L\*) fue 92,04 ±0,35; ligeramente más alto en comparación con lo reportado en otro estudio donde se midió color en requesón y se reportaron valores de L\* de alrededor de 89 (Ruiz-Marroquín 2006); sin embargo, entre los tratamientos evaluados en este estudio no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (P>0,05).

Para los valores de b\* (valores positivos indican tendencia al amarillo y valores negativos tendencia a las tonalidades azules) no se encontraron dife-

rencias significativas entre los tratamientos. Los valores en este proyecto se encontraron entre 10,72 y 12,49 siendo similares a los encontrados por Ruiz-Marroquín (2006), quien reportó valores alrededor de 12. Como los valores fueron positivos en ambos trabajos, la coloración del producto presentó mayor tendencia al amarillo.

Para el parámetro a\* (valores negativos indican color verde y positivos el color rojo) los tratamientos 2, 3 y 4, que fueron los tratamientos a los cuales se aplicó ultrasonido en el suero, no indicaron diferencias significativas entre ellos. Tampoco se observó diferencia significativa entre los tratamientos de suero con 20 y 60min respecto al tratamiento control; sin embargo, sí se observaron diferencias entre el tratamiento control y el tratamiento 3 (suero sonificado por 40min). Estos resultados difieren de lo reportado por Ruiz-Marroquín (2006), donde los valores de a\* para el requesón fueron positivos (tendencia al rojo), mientras que en este estudio los valores fueron negativos (tendencia hacia el verde). Las diferencias pudieron deberse al origen del suero, que en ese caso provenía de la elaboración de queso Chihuahua, que regularmente presenta un color verdoso.

Cabe señalar que no se han encontrado reportes acerca de cómo el ultrasonido afecta el color en el suero de leche. Solo se menciona que el ultrasonido disminuye la turbidez del suero por la disminución del tamaño de partícula (Zisu *et al.*, 2011; Martini y Walsh, 2012). Por otra parte, se encontraron datos

TABLA III  
PARÁMETROS DE COLOR L\*, A\*, B\* Y CAMBIO DE COLOR ( $\Delta E^*$ ) DEL REQUESÓN

Tratamiento	L*	a*	b*	$\Delta E^*$
1	92,29 ±0,06 a	-2,65 ±0,28 b	12,49 ±0,18a	-
2	93,07 ±0,50 a	-1,95 ±0,15 ab	11,81 ±0,19a	0,98 ±0,23 b
3	93,53 ±0,13 a	-1,87 ±0,17a	10,72 ±0,12a	2,62 ±0,18 a
4	92,83 ±0,58 a	-2,38 ±0,16ab	11,60 ±0,51a	1,08 ±0,04 b

<sup>ab</sup> Valores en la columna con superíndice diferente muestran diferencia significativa (P<0,05). 1: Control, suero sin sonificar, 2: suero ultrasonificado por 20min, 3: suero ultrasonificado por 40min, 4: suero ultrasonificado por 60min. L\*: luminosidad, a\*: verde (-) y rojo (+), b\*: azul (-) y amarillo (+).  $\Delta E^*$ : diferencia de color (valor calculado). Los valores son media ±desv. estándar (n= 3).

sobre el efecto de esta técnica aplicada en leche, donde se indica que la leche muestra un cambio significativo en luminosidad después del tratamiento con ultrasonido en comparación con la leche cruda y leche tratada térmicamente; el valor de  $a^*$  también tiene un cambio significativo en leche termosonicada, teniendo una importante contribución a la región azul, mientras que el valor  $b^*$  presenta un cambio significativo entre la leche cruda, la tratada térmicamente y la leche sonicada (Feng *et al.*, 2011).

El cambio de color ( $\Delta E^*$ ) es un parámetro calculado (Ec. 2) con los resultados de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . El tratamiento que mostró tener el valor más alto de  $\Delta E^*$  fue el tratamiento 3 (suero sonicado por 40min) que fue de 2,62 por lo que se puede deducir que con este tratamiento el requesón obtenido puede ser visiblemente diferente en comparación al tratamiento control. Valores por debajo de 2,7 no son perceptibles al ojo humano, según la escala siguiente: 0-0,7 nada; 0,7-2,5 ligeramente; 2,5-3,0 notable; 3,0-6,0 apreciable; 6,0-12,0 considerable (Ramírez-Navas y de Stouvenel, 2012).

La Tabla IV muestra los resultados de textura del requesón, donde el tratamiento con suero sonicado durante 20min presentó mayor dureza (0,2456N), por lo que se aplicó más fuerza al momento de comprimirlo. Por el contrario, el tratamiento con el valor más bajo de dureza fue del requesón elaborado con suero sonicado durante 60min (0,1843N). Aunque se observó una tendencia a disminuir la dureza conforme aumentaba el tiempo de sonicación, no se encontraron

diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $P > 0,05$ ).

La adhesividad se refiere a la operación de despegar el alimento de una superficie, simulando la un alimento en el paladar (Londoño, 2006). En este caso, los tratamientos en los que se sonicó el suero durante 40 y 60min, presentaron mayor porcentaje de humedad y los valores más bajos de adhesividad, resultados que concuerdan con lo reportado por Álvarez *et al.* (2007), quienes encontraron para queso de cabra una correlación negativa entre estos dos parámetros. Sin embargo, no se observó diferencia significativa entre los tratamientos para este atributo.

### Conclusiones

El ultrasonido de alta intensidad aplicado a suero para elaborar requesón no aumentó el rendimiento de este producto lácteo, al tiempo que no se modificaron la textura, color, humedad y cenizas. Sin embargo, se sugiere que se realicen estudios probando diferentes tiempos e intensidades de ultrasonido sobre el suero lácteo para ver si de esta forma se logra aumentar el tamaño de los conglomerados de proteínas y su capacidad de retención de agua.

### REFERENCIAS

Alvarado-Carrasco C, Guerra M (2010) Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos. *An. Venez. Nutr.* 23: 42-49.  
 Álvarez S, Rodríguez V, Ruiz ME, Fresno M (2007) Correlaciones de textura y color instrumental con la composición química de

quesos de cabra canarios. *Arch. Zootec.* 56: 663-666.

AOAC (1998) Official Methods 926.08 (moisture in cheese), 935.42 (ash of cheese), 989.05 (fat in milk), 991.20 (nitrogen-total-in milk). En *Official Methods of Analysis of*. 16<sup>a</sup> ed. Vol II. *Food Composition, Additives, Natural Contaminants*. AOAC International. Rockville, MD, EEUU

Arzeni C, Martínez K, Zema P, Arias A, Pérez OE, Pilosof AMR (2012) Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *J Food Eng.* 108: 463-472.

Ashokkumar M, Lee J, Zisu B, Bhaskaracharya R, Palmer M, Kentish S (2009) Hot topic: Sonication increases the heat stability of whey proteins. *J Dairy Sci.* 92: 5353-5356.

Ashokkumar M, Bhaskaracharya R, Kentish S, Lee J, Palmer M, Zisu B (2010) The ultrasonic processing of dairy products-An overview. *Dairy Sci. Technol.* 90: 147-168.

Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Youssef MM (2012) Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: a review. *Food Res. Int.* 48: 410-427.

Awad RA, Salama WM, Ragb WA (2015) Enhancing yield and acceptability of kareish cheese made of reformulated milk. *Ann. Agric. Sci.* 60: 87-93.

Benedito J, Carcel JA, Gonzalez R, Mulet A (2002) Application of low intensity ultrasonics to cheese manufacturing processes. *Ultrasonics* 40: 19-43.

Bermúdez-Aguirre D, Barbosa-Cánovas G (2010) Processing of soft hispanic cheese ("Queso Fresco") using thermo-sonicated milk: a study of physicochemical characteristics and storage life. *J Food Sci.* 75(9): 548-558.

Burrington KJ (2012) Technical Report: Whey protein heat stability. Emerging Technologies In Food Processing. *U. S. Dairy.* 8 pp.

Callejas J, Prieto F, Reyes V, Marmolejo Y, Méndez M (2012) Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Univ.* 22: 11-18.

Chandrapala J, Leong T (2015) Ultrasonic processing for dairy applications: recent advances. *Food Eng Rev.* 7: 143-158.

Cuellas A, Wagner J (2010) Elaboración de bebida energizante a partir de suero de quesería. *Rev. Lab. Tecnol. Urug.* 5: 54-57.

Feng H, Barbosa-Cánovas G, Weiss J (2011) *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. Springer. Nueva York, EEUU. 668 pp.

Freitas-Souza J, Pereira da Silva MA, Francisco da Silva RC, Moraes do Carmo R, Gomes de Souza R, Aparecida-Célia J, Borges de Oliveira K, Rocha-Plácido G, Evandro Lage M, Soares Nicolau E (2016) Effect of whey storage on physicochemical properties, microstructure and texture profile of ricotta cheese. *Afr. J. Biotechnol.* 15(47): 2649-2658.

Gallego-Juarez JA (2010) High-power ultrasonic processing: recent developments and prospective advances. *Phys. Procedia.* 3: 35-47.

Hernández-Rojas M, Vélez-Ruiz JF (2014) Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas Select. Ing. Alim.* 8(2): 13-22.

Herrero AM, Romero de Avila MD (2006) Innovaciones en el procesamiento de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Rev. Med. Univ. Navarra.* 50(4): 71-74

Inda CAE (2000) *Optimización de Rendimiento y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria de la Quesería*. OEA/GTZ. Saltillo, México. <http://prevencionseguridadysaludlaboral.blogspot.mx/2010/11/optimizacion-del-rendimiento-y.html> (Cons. 12/11/2015).

Jambrak AR, Mason TJ, Lelas V, Herczeg Z, Herczeg IL (2008) Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *J Food Eng.* 86: 281-287.

Jambrak AR, Mason TJ, Lelas V, Paniwnyk L, Herczeg Z (2014) Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins. *J Food Eng.* 121: 15-23.

Jelen P (1979) Industrial whey processing technology: an overview. *J. Agric. Food Chem.* 27: 658-661.

Jovanović S, Barać M, Macej O (2005) Whey proteins-properties and possibility of application. *Mljekarstvo* 55: 215-233.

Koh LLA, Chandrapala J, Zisu B, Martin GJO, Kentish SE, Ashokkumar M (2014) A comparison of the effectiveness of sonication, high shear mixing and homogenisation on improving the heat stability of whey protein solutions. *Food Bioproc. Technol.* 7: 556-566.

Krešić G, Lelas V, Jambrak AR, Herczeg Z, Brnčić SR (2008) Influence of novel food processing

TABLA IV  
TEXTURA DEL REQUESÓN

Tratamiento	Dureza (Newtons)	Adhesividad (Newtons)
1	0,2203 ±0,006 a	-0,1018 ±0,009 a
2	0,2456 ±0,011 a	-0,1128 ±0,001 a
3	0,1918 ±0,006 a	-0,0849 ±0,009 a
4	0,1843 ±0,007 a	-0,0955 ±0,004 a

<sup>ab</sup> Valores en la columna con superíndice diferente muestran diferencia significativa ( $P < 0,05$ ). 1: Control, suero sin sonificar, 2: suero ultrasonificado por 20min, 3: suero ultrasonificado por 40min, 4: suero ultrasonificado por 60min. Los valores son media  $\pm$  desv. estándar (n= 3).

- technologies on the rheological and thermophysical properties of whey proteins. *J. Food Eng.* 87: 64-73.
- Londoño M (2006) Aprovechamiento del suero ácido de queso doble crema para la elaboración de quesillo utilizando tres métodos de complementación de acidez con tres ácidos orgánicos. *Persp. Nutr. Hum.* 16: 11-20.
- Martini S, Walsh MK (2012) Sensory characteristics and functionality of sonicated whey. *Food Res. Int.* 49: 694-701.
- Monsalve J, González D (2005) Elaboración de un queso tipo ricota a partir de suero lácteo y leche fluida. *Rev. Cient. FCV-LUZ* 15: 543-550.
- O'Sullivan J, Murray B, Flynn C, Norton I (2016) The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. *Food Hydrocoll.* 53: 141-154.
- Poveda E (2013) Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Rev. Chil. Nutr.* 40: 397-403.
- Qi PX, Onwulata CI (2011) Physical properties, molecular structures, and protein quality of texturized whey protein isolate: effect of extrusion moisture content. *J. Dairy Sci.* 94: 2231-2244.
- Ramírez-Navas J, Rodríguez de Stouvenel A (2012) Characterization of colombian quesillo cheese by spectrophotometry. *VITAE* 19: 178-185.
- Robles-Ozuna LE, Ochoa-Martínez LA (2012) Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha* 13: 109-122.
- Ruiz-Marroquín JA (2006) *Efecto de la Acidez sobre las Características Sensoriales, Fisicoquímicas y Rendimiento del Requesón del Lactosuero de Queso Crema*. Tesis. Escuela de Agrícola Panamericana. Honduras.
- SIAP-SAGARPA (2015) *Panorama de la Lechería en México*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México [http://info-siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure\\_leche\\_DIC2015.pdf](http://info-siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure_leche_DIC2015.pdf) (Cons. 10/10/2016).
- Vercet A, Oria R, Marquina P, Crelier S, Lopez-Buesa P (2002) Rheological properties of yoghurt made with milk submitted to manothermosonication. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6165-6171.
- Wadhvani R, McMahon DJ (2012) Color of low-fat cheese influences flavor perception and consumer liking. *J. Dairy Sci.* 95: 2336-2346.
- Walstra P, Wouters JTM, Geurts TJ (2006) Milk components. En *Dairy Science and Technology*. 2ª ed. Taylor & Francis. Boca Ratón, FL, EEUU. pp. 17-108.
- Zisu B, Lee J, Chandrapala J, Bhaskaracharya R, Palmer M, Kentish S, Ashokkumar M (2011) Effect of ultrasound on the physical and functional properties of reconstituted whey protein powders. *J. Dairy Res.* 78: 226-232.