



**EFFECTO DEL ULTRASONIDO DE POTENCIA ALTA EN EL PERFIL DE
TEXTURA Y LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN EL QUESO FRESCO DE
CABRA**

POR:

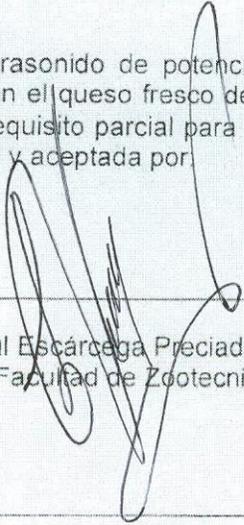
I. Z. S. P. JULIANA JUÁREZ MOYA

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias**

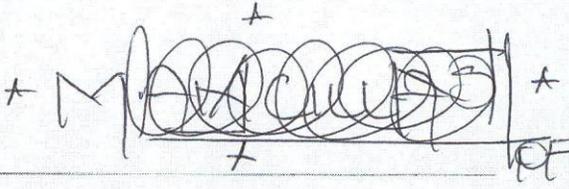
Área Mayor: Tecnología de Productos de Origen Animal

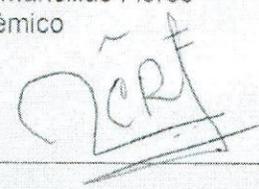
**Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Zootecnia y Ecología
Secretaría de Investigación y Posgrado**

Efecto del ultrasonido de potencia alta en el perfil de textura y la actividad antioxidante en el queso fresco de cabra. Tesis presentada por Juliana Juárez Moya como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, ha sido aprobada y aceptada por


M. A. Luis Raúl Escárcega Preciado
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología


M. C. Antonio Humberto Chávez Silva
Secretario de Investigación y Posgrado


D. Ph. Pablo Fidel Mancillas Flores
Coordinador Académico


Dr. José Carlos Rodríguez Figueroa
Presidente

DICIEMBRE 16 - 2015

Fecha

Comité:

Dr. José Carlos Rodríguez Figueroa
P h. D. América Chávez Martínez
D. Ph. Joel Domínguez Viveros
P h. D. Iván Adrián García Galicia

© Derechos Reservados

I.Z.S.P. Juliana Juárez Moya
Periférico Francisco R. Almada
Km. 1, Chihuahua, Chih., México
C.P. 31453

DICIEMBRE 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus bendiciones y la oportunidad de cursar la Maestría en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgó para la realización de mis estudios de Posgrado.

A los integrantes de mi comité de tesis, Ph. D América Chávez Martínez, Ph. D. Iván Adrián García Galicia, D. Ph. Joel Domínguez Viveros y al Dr. José Carlos Rodríguez Figueroa; Presidente de mi tesis por su apoyo y guía durante la Maestría.

A mis profesores por haber compartido sus conocimientos y experiencias, así como a todo el personal de la UACH.

A mis compañeros tanto de maestría, doctorado y licenciatura por brindarme su amistad, por compartir conmigo muchas gratas experiencias, así como su apoyo durante la ordeña, el procesamiento de muestras y trabajo experimental.

A mis amigos quienes me rodean y adoro desde años.

A mi familia por el cariño y apoyo recibido a lo largo de este proyecto, pieza fundamental de mi vida y motor de mis días.

DEDICATORIA

A Martha Moya y Germán Juárez, mis padres por su gran amor y apoyo incondicional en todo sentido.

A Lupita, mi tía adorada.

A Julián y Tan, mis hijos que son la razón de mi vida.

A la Facultad de Zootecnia y Ecología que a través de la Secretaria de Investigación y Posgrado me permitieron cursar la Maestría.

A los maestros y compañeros que de manera directa e indirecta contribuyeron en mi formación como Maestro en Ciencias con Área Mayor en Tecnología de Productos de Origen Animal.

A Luis Chacón, por su gran apoyo y cariño.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 14 de Octubre de 1973 en la Ciudad de México, Distrito Federal.

- | | |
|-----------|--|
| 1991-1993 | Estudios de Licenciatura en Médico Veterinario Zootecnista en la Universidad Autónoma de México (FESC-C). |
| 1994-1997 | Licenciatura en Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción en la Universidad Autónoma de Chihuahua |
| 2013-2015 | Estudiante graduado de Maestría en Ciencias de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua |

RESUMEN

EFFECTO DEL ULTRASONIDO DE POTENCIA ALTA EN EL PERFIL DE TEXTURA Y LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN EL QUESO FRESCO DE CABRA

POR:

I. Z. S. P. JULIANA JUÁREZ MOYA

Maestría en Ciencias en Producción Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Dr. José Carlos Rodríguez Figueroa

El ultrasonido (US) de potencia alta constituye una tecnología emergente ante los métodos convencionales empleados en el procesado de alimentos. El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el efecto del US de potencia alta sobre el perfil de textura (TPA) y la actividad antioxidante en el queso fresco elaborado con leche de cabra. Los tratamientos consistieron en: 1) Leche cruda, 2) Leche ultrasonicada por 30 min a 34-36 °C, 3) Leche ultrasonicada por 30 min a 63-65 °C y 4) Leche calentada por 30 min a 63-65 °C. Los quesos se almacenaron a 4 ± 1 °C. La actividad antioxidante fue evaluada el día cero, mientras que TPA se analizó los días 0, 3, 6, 10 y 14. Los resultados mostraron que la fracción < 3 kDa de los quesos elaborados con leche ultrasonicada a 32-34 °C (151.2 ± 20.1 µM) y 63-65 °C (171.2 ± 9.8 µM) presentaron significativamente menor ($P < 0.05$) actividad antioxidante que la fracción de los quesos elaborados

con leche cruda ($235.4 \pm 9.3 \mu\text{M}$). Por otro lado, los parámetros de TPA, tales como masticabilidad, elasticidad, fracturabilidad, dureza, adhesividad y cohesividad presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$). En conclusión, la aplicación del US de potencia alta podría disminuir la actividad antioxidante, así como modificar las propiedades del TPA del queso fresco elaborado con leche de cabra.

ABSTRACT

POWER ULTRASOUND EFFECT ON ANTIOXIDANT ACTIVITY AND TEXTURE PROFILE PROPERTIES IN FRESCO-STYLE GOAT CHEESE

BY:

JULIANA JUAREZ MOYA

Power ultrasound is an emergent technology besides conventional methods of food processing. The objective of this study was to evaluate the effect of power ultrasound on the texture profile (TPA) properties and the antioxidant activity of Fresco-style cheese manufactured with goat milk. Treatments were: 1) Raw milk, 2) Milk ultrasonicated for 30 min at 34-36 °C, 3) Milk ultrasonicated for 30 min at 63-65 °C and 4) Milk heated for 30 min at 63-65 °C. Fresco-style cheeses were stored at 4 ± 1 °C. The antioxidant activity was evaluated at zero day, meanwhile TPA was analyzed at 0, 3, 6, 10 and 14 days. Results showed that < 3 kDa protein and or peptide fraction from cheeses manufactured with power ultrasound heated at 32-34 °C (151.2 ± 20.1 μ M) and 63-65 °C (171.2 ± 9.8 μ M) had significantly lower ($P < 0.05$) antioxidant activity comparing with cheese manufactured with raw milk (235.4 ± 9.3 μ M). On the other side, TPA parameters such as chewiness, elasticity, fracturability, hardness, adhesivity and cohesivity were significant different ($P < 0.05$). In conclusion, power ultrasound applied to goat's milk may reduce the antioxidant activity as well as modify TPA properties in fresco-style cheese.



CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE GRÁFICAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Ultrasonido.....	4
Fundamento del Ultrasonido.....	4
Efectos del US en la Composición Físicoquímica de los Alimentos.....	5
Clasificación y Aplicaciones del US.....	7
Aplicación del US de Intensidad Alta en Productos Lácteos....	8
Efectos de la Aplicación del US de Alta Intensidad en la Leche	9
Aplicación del US de Potencia Alta en la Elaboración de Quesos.....	11
El Queso Fresco.....	12
Producción y Consumo de Lácteos Elaborados con Leche de Cabra.....	13
Queso Fresco Elaborado con Leche de Cabra.....	15
Perfil de Textura en el Queso Fresco.....	15
Actividad Antioxidante.....	16
Rendimiento del Queso.....	21
Efecto del US en el Rendimiento Quesero.....	21
Proteólisis.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Localización.....	23
Naturaleza de la Población.....	23
Descripción del Diseño y los Tratamientos.....	23
Elaboración del Queso Fresco.....	25



Preparación de las Muestras.....	25
Obtención de los Extractos de las Fracciones Proteicas.....	26
Medición de la Actividad Antioxidante.....	26
Proteólisis.....	27
Análisis Fisicoquímico.....	28
Análisis del Perfil de Textura.....	28
Análisis Estadístico.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Composición Química de los Quesos Frescos.....	30
Rendimiento y Proteólisis.....	32
Actividad Antioxidante.....	34
Análisis del Perfil de Textura.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
LITERATURA CITADA.....	51



LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Comparación química de las leche de vaca y cabra.....	14
2	Definiciones físicas y sensoriales de los parámetros que integran el perfil de textura.....	17
3	Descripción de los tratamientos de ultrasonido de potencia alta a los que se sometió la leche de cabra.....	24
4	Medias (\pm E. E) de la composición fisicoquímica de los quesos de cabra asociada a los tratamientos.....	31
5	Grado de proteólisis y rendimiento del queso de cabra (\pm E. E.) asociado a los tratamientos.....	33
6	Efecto del tratamiento en el perfil de textura, día y la interacción tratamiento por día.....	40
7	Efecto del tratamiento en el perfil de textura y la interacción tratamiento por día.....	41



LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	^{ab} Medias (\pm error estándar) con diferente literal indican diferencia estadística ($P < 0.05$) en la actividad antioxidante de los extractos acuosos < 3 kDa de los quesos frescos elaborados con leche de cabra.....	35
2	^{ab} Medias (\pm error estándar) con diferente literal indican diferencia estadística ($P < 0.05$) en la actividad antioxidante de los extractos acuosos < 5 kDa de los quesos frescos elaborados con leche de cabra.....	36
3	Comportamiento de dureza en queso de leche de cabra a través del tiempo.....	42
4	Comportamiento de fracturabilidad y cohesividad en queso de leche de cabra a través del tiempo.	43



LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Gráfica general del perfil de textura.....	18



INTRODUCCIÓN

Según el SIAP-SAGARPA (2015a), la producción nacional de leche en el 2014 alcanzó los 11, 129, 921 miles de litros. En el Estado de Chihuahua se estima que la producción en el mismo periodo ascendió a los 1,007, 346 miles de litros. Asimismo, parte de la producción nacional de leche fue transformada en 340, 870 ton de queso con un valor en el mercado de 15, 397, 892 miles de pesos.

Actualmente la industria alimentaria ha desarrollado nuevos métodos de procesado como alternativas a las técnicas térmicas, buscando igualar la eficiencia y la calidad de los métodos tradicionales (O'Donnell *et al.*, 2010; Pingret *et al.*, 2013). El objetivo de dichos métodos consiste en evitar efectos indeseables en sabor, color, olor y pérdida de la forma de los alimentos (Soria y Villamiel, 2010). En la actualidad esta meta es posible alcanzarla mediante el uso de tecnologías emergentes, tales como altas presiones, campos eléctricos pulsados, campos magnéticos oscilantes y ultrasonido (US), entre otras (Butz y Tauscher, 2002). Dichas tecnologías comparten el principio de mejorar la calidad microbiológica, aumentar la vida útil del alimento y evitar riesgos potenciales que impacten en los productos finales (Pereira y Vicente, 2010).

La implementación de nuevas tecnologías de procesado en la industria alimenticia debe garantizar la rentabilidad, eficientizar el costo y mejorar o conservar las propiedades de los alimentos. Asimismo, estas prácticas buscan reducir el uso de combustibles, convirtiéndolas en partidarias con el medio ambiente (Ashokkumar *et al.*, 2008; Chemat *et al.*, 2011).

El US ha sido reportado como una tecnología segura, rentable y eficiente (Demidöven y Baysal, 2009). Desde hace un par de décadas los investigadores



la han utilizado para conocer la composición química de la leche, en la manufactura, la maduración así como también en la detección de grietas causadas por fermentaciones anormales en quesos (Benedito *et al.*, 2002). Sin embargo, hasta estos últimos años el US ha tenido un notable desarrollo funcional en el ramo alimenticio (McClements, 1995; Demirdöven y Baysal, 2009). El US ha sido utilizado para evaluar una extensa variedad de propiedades de los alimentos, tales como la concentración de sustratos como salmuera, azúcar, contenido de alcohol, contenido de diferentes soluciones acuosas, triglicéridos de los aceites, entre otros (McClements, 1995). A pesar de conocer estas ventajas del costo beneficio, aún falta justificar la aplicación del US en la industria de los alimentos con más investigación (Mason *et al.*, 1996; Ashokkumar *et al.*, 2008).

Además se ha reportado que el US mejora los procesos de elaboración de productos lácteos, por ejemplo, el tiempo del procesamiento del yogur se reduce hasta un 40 % el tiempo total (Mason, 2003). Por todo lo anterior, el desarrollo de la investigación con la aplicación del US en la industria de los lácteos crece cada día demostrando utilidad en diversos procesos y productos. El queso es considerado como un ingrediente en una amplia gama de platillos culinarios. Entre el 35-45 % del queso producido es consumido como parte de los ingredientes de algún platillo (Guinee, 2002). El queso es una excelente fuente nutrimental y constituye un alimento tradicional en la gastronomía de los mexicanos (Peláez-Puerto *et al.*, 2003). A la fecha, se conoce el efecto de la ultrasonicación de los quesos de vaca; sin embargo, no se cuenta con suficiente información acerca del efecto de la ultrasonicación en leche de cabra y de la



consecuente utilización en la elaboración de la leche transformada en queso fresco.

Con base en lo anterior, los objetivos fueron evaluar los posibles efectos del ultrasonido de alta potencia en las propiedades del perfil de textura y la actividad antioxidante del queso fresco elaborado con leche de cabra.



REVISIÓN DE LITERATURA

Ultrasonido

El US es el conjunto de ondas sonoras que son emitidas a una frecuencia superior a los 18 kHz (Kwiatkowska *et al.*, 2011). El oído humano no puede percibir este tipo de frecuencias, ya que al aumentarlas, el sonido se vuelve más agudo (Patist y Bates, 2008; O'Donnell *et al.*, 2010; Chandrapala *et al.*, 2012).

Fundamento del Ultrasonido

El ultrasonido se genera desde una onda sonora, la cual es una alteración de tipo mecánica que tiene la capacidad de inferir en los medios líquidos, sólidos o gaseosos (Mason *et al.*, 1996). Éste transforma la energía mecánica o eléctrica en sonido a través de un transductor (O'Donnell *et al.*, 2010), por lo tanto la naturaleza de esta onda es mecánica (Soria y Villamiel, 2010; Ashokkumar, 2010). Las ondas sonoras se propagan a través de los componentes químicos de los alimentos causando compresión y expansión alternadamente (Blitz, 1967). Las ondas que se forman durante la aplicación del US tienen características definidas de longitud de onda, velocidad, frecuencia, periodo y presión (McClements, 1995). La velocidad del sonido es producto de la frecuencia y la longitud de onda, por lo tanto, las ondas sonoras de alta frecuencia tienen longitudes de onda corta, mientras que las ondas de baja frecuencia presentan amplias longitudes de onda (Blitz, 1967). Estas ondas hacen que las partículas vibren a una frecuencia determinada medida en Hertz/ ciclos (Butz y Tauscher, 2002). La potencia expresada de los US transmitida a los alimentos es expresada en (W) y el tipo de intensidad en W/cm^2 (O'Donnell *et al.*, 2010).



La vibración genera cambios en la temperatura, por lo que se emplea el método calorimétrico para medir la intensidad ultrasónica, o la densidad de energía acústica. Basado en esto, la intensidad del US se ha determinado por la siguiente ecuación generada por O'Donnell *et al.* (2010).

$$P = m c_p (dT/dt)_{t=0}$$

donde:

m = masa

c_p = calor específico

dT / dt = velocidad de cambio de la temperatura durante la sonicación determinada por la curva pactada a el aumento de la temperatura en función de las condiciones adiabáticas.

Un principio básico en la aplicación del US en la industria de los alimentos es obtener efectos positivos en la transferencia de masa, el refuerzo de los tratamientos térmicos y el manejo de la textura (Knorr *et al.*, 2011). El US es un método de conservación no térmico, el cual ofrece ventajas como la conservación de los alimentos, la inactivación de microorganismos, sin modificar las propiedades causadas por métodos térmicos convencionales (Demidöven y Baysal, 2009; Juranga *et al.*, 2011). La inactivación microbiana se debe a la cavitación acústica (Gao *et al.*, 2014), ya que el US tiene el efecto de adelgazar la membrana celular, formar radicales libres, así como incrementar la temperatura (Butz y Tausher, 2002, Cameron *et al.*, 2009).

Efectos del US en la Composición Físicoquímica de los Alimentos

El efecto que el US tiene sobre un medio líquido está asociado con el fenómeno de la cavitación (Patist y Bates, 2008; Ashokkumar *et al.*, 2008; Robles-



Ozuna y Ochoa-Martinez, 2012); este fenómeno provoca la oscilación de las ondas sonoras, lo que disuelve los núcleos de los gases de oxígeno, hidrógeno y nitrógeno aumentando con ello la presión del campo acústico, lo que genera microburbujas (Ashokkumar *et al.*, 2008), estas burbujas crecen dentro del periodo de resonancia de manera cíclica e inmediata; implosionando violentamente (Ashokkumar *et al.*, 2008; O'Donnell *et al.*, 2010). Estos choques o colisiones liberan la energía acumulada causando un aumento en la temperatura de manera extrema, de 726.85 a 4726.85 °C a una presión de 50,000 kPa provocando turbulencia y microcorrientes (Ashokkumar *et al.*, 2010). La variación del tamaño de la burbuja que se genera durante la cavitación se determina por la frecuencia y la amplitud (Kentish y Feng, 2014). Como resultado del aumento de la temperatura dentro de la burbuja y de la fragmentación se presenta el desplazamiento de una onda acústica constante y se forman radicales libres. Cuando la aplicación del US se lleva a cabo en medio líquido constituido por agua, los radicales son denominados primarios si se crean a partir del vapor de agua (H_2O / H^* y OH^*) Por otro lado, la naturaleza del líquido también tiene importancia ya que se sabe que la presencia de solutos afecta la cavitación acústica (Ashokkumar *et al.*, 2011). Los radicales que se generan tras la aplicación del US en medio líquido son altamente reactivos con otras moléculas (Ashokkumar *et al.*, 2008; Feng *et al.*, 2011; Pingret *et al.*, 2013). Otra consecuencia que se genera al desarrollarse las fuerzas del fenómeno de la cavitación es el corte de los puentes disulfuro, lo que conlleva a la desnaturalización de las proteínas (Ashokkumar *et al.*, 2009). Este efecto es producido por el aumento de la temperatura y puede causar un cambio



irreversible en la estructura secundaria, terciaria y cuaternaria de las proteínas (Fox y McSweeney, 1998). Por lo tanto la producción de radicales (OH^*) disminuye la facultad antioxidante de un alimento (Ashokkumar *et al.*, 2008); siendo así como se compromete la calidad de los alimentos (Ashokkumar *et al.*, 2009).

Clasificación y Aplicaciones del US

La clasificación del US se basa en la cantidad de energía generada en el campo de sonido del transductor (Knorr *et al.*, 2004), y se caracteriza de acuerdo a los diferentes rangos de frecuencia (Soria y Villamiel, 2010). En función de lo anterior, el US se clasifica en frecuencia alta - intensidad baja- potencia baja 100 kHz-1 MHz $<1 \text{ W/cm}^2$ y en frecuencia baja - intensidad alta – potencia alta 16-100 kHz 10-1000 W/cm^2 (Mason *et al.*, 1996; Knorr *et al.*, 2004; Awad *et al.*, 2012).

El US de potencia baja es útil para la estimulación de la actividad de células vivas que se encuentran en la superficie de los alimentos, la inactivación o inhibición de enzimas, la mejora de los métodos de extracción, y métodos de procesamiento como la cristalización, emulsificación, filtración, secado, deshidratación y congelación (Robles-Ozuna y Ochoa-Martínez, 2012). Así mismo el US de intensidad baja es aplicado para medir las propiedades de los alimentos como madurez, acidez, nivel de azúcar, etc., sin causar modificaciones estructurales. Este tipo de US también es empleado en el control de calidad de frutas y verduras (Knorr *et al.*, 2004; Demirdöven y Baysal, 2009).

Por otro lado el US de intensidad alta provoca cambios físicos, mecánicos y químicos en los alimentos o medios en los que se aplica (Demirdöven y Baysal,



2009), este puede mejorar: la desgasificación de los alimentos líquidos, la inducción de las reacciones de óxido reducción, la extracción de proteínas y la inactivación de enzimas y de microorganismos con la finalidad de mejorar la vida útil de los productos alimenticios (Knorr *et al.*, 2004).

Aplicación del US de Intensidad Alta en Productos Lácteos

La aplicación del US en los alimentos de origen lácteo es relativamente reciente. Ashokkumar *et al.* (2010) encontraron que el US tiene aplicaciones tales como el mejoramiento de la ultrafiltración del suero, extracción de compuestos funcionales, homogenización de los glóbulos de grasa, reducción de la viscosidad, evita la cristalización de la lactosa y el corte de queso en bloques, ahorrando grandes desperdicios. En el desarrollo de los productos lácteos se ha empleado el US de frecuencias bajas y períodos cortos de tiempo variando de segundos a pocos minutos de exposición (Ashokkumar *et al.*, 2009), aunque se ha demostrado que tiempos mayores de aplicación son más eficientes en la eliminación de microorganismos (Juraga *et al.*, 2011).

Uno de los efectos fisicoquímicos de la cavitación acústica en el suero de la leche es la viscosidad. Este fenómeno no está entendido completamente, pero se cree que la modificación de la viscosidad es causada por las fuerzas de turbulencia durante la cavitación. En un estudio se demostró que sometiendo soluciones de concentrados de proteína del suero (WPC) a US de 20 kHz, la viscosidad se reduce. El aumento de la viscosidad se inició como consecuencia del efecto del calor en el tratamiento de la ultrasonificación de las proteínas del suero, las cuales tendieron a agruparse (Ashokkumar *et al.*, 2008).



Por otra parte, el US de intensidad alta también se ha aplicado en la elaboración de yogur, mejorando la capacidad de retención de agua y la viscosidad, así como reduciendo la sinéresis (Wu *et al.*, 2001). Por otro lado, esta tecnología emergente ha sido aplicada en el suero de leche con la finalidad de evaluar el efecto del US en el grado de hidrólisis de la lactosa, encontrándose que por efecto del US mejora. De acuerdo con Demirhan y Ösbek (2009) el uso del US aumenta la estabilidad de la enzima lactasa, así como la actividad de ésta.

Las propiedades funcionales de las proteínas séricas de la leche pueden ser modificadas tras la aplicación del US de intensidad alta. Por ejemplo, el tratamiento de US (20 kHz) ha generado decremento en la consistencia, mayor elasticidad, reducción en el tamaño de los agregados e incremento de la hidrofobicidad de estas proteínas (Arzeni *et al.*, 2012). Chandrapala *et al.* (2011) reportaron que la entalpía de desnaturalización de las proteínas séricas aumenta tras la aplicación del US por tiempos prolongados debido a la agregación de las proteínas.

Efectos de la Aplicación del US de Alta Intensidad en Leche

Diversos estudios han demostrado que esta tecnología emergente es capaz de eliminar gases, optimizar la pasteurización, disminuir la carga microbiana, coagular las proteínas y homogenizar las grasas (Ay y Gunasekaran, 2003; Cameron *et al.*, 2009; Chandrapala *et al.*, 2011). De hecho, la industria procesadora de la leche ha utilizado el US como una tecnología clave para homogenizar la leche, con la que se elaboran el yogur y el queso, ya que incrementa la estabilidad de la grasa durante la vida en el anaquel (Chandrapala *et al.*, 2012). Otro de los beneficios de la aplicación del US de intensidad alta en



la leche homogenizada desgrasada es que solamente se reduce la turbidez, pero no la viscosidad, provocando una disminución del tamaño de las grasas y las micelas de caseína y las partículas solubles (Shanmugam *et al.*, 2012).

La grasa es uno de los componentes más importantes en la elaboración de productos lácteos. El tamaño del glóbulo de grasa puede variar debido a factores como la especie a la que pertenece la leche, la raza, etapa de lactancia así como la época del año. Cabe señalar que también se ha demostrado que el tratamiento de leche fresca de vaca con US disminuye el tamaño de los glóbulos de grasa (Early, 2000). El tamaño promedio de los glóbulos de grasa después de este tipo de tratamiento fue menor de 1 μ . La ultrasonificación unifica las partículas de grasa en comparación con los métodos tradicionales (Ashokkumar *et al.*, 2008).

Por otro lado, el US de potencia alta se ha utilizado como pre-tratamiento en leche de cabra con el objetivo de mejorar las propiedades de coagulación. De acuerdo con Zhao *et al.* (2014) la leche de cabra descremada pre-tratada con US (20 kHz y 800 W) presentó menor tamaño de partícula en un 9.57 % y mayor grado de desnaturalización de las proteínas séricas con un 16.9 %. Además, se reportó un incremento en la firmeza del gel, fuerza del coágulo y capacidad de retención de agua.

Asimismo, se ha estudiado la viabilidad de sustituir la pasteurización tradicional con el uso del US de intensidad alta. Cameron *et al.* (2009) aplicaron US (20 kHz y 750 W) a leche cruda en un rango de 2.5 a 10 min encontrando una disminución considerable en la cuenta viable de *E. coli*, *Pseudomonas fluorescens* y *Listeria monocytogenes*. Además, no hubo pérdida en ninguno de



los componentes de la leche. También se reportó que las enzimas fosfatasa alcalina y lactoperoxidasa no fueron desnaturalizadas, lo cual es útil ya que dichas enzimas sirven como indicadores.

Aplicación del US de Potencia Alta en la Elaboración de Quesos

La vida de anaquel del queso fresco elaborado con leche cruda es generalmente reducida a causa de la carga microbiana inicial (Torres-Llanez *et al.*, 2006). El queso fresco comercial debe ser consumido dentro de la primera y segunda semana de procesado para garantizar la calidad (Renye *et al.*, 2008). El uso del US de potencia alta en queso ha sido limitadamente explorado. Sánchez *et al.* (2001) evaluaron el efecto del US (30 kHz y 300 W) sobre el grado de proteólisis del queso Mahon sumergido en salmuera, los resultados mostraron que los quesos ultrasonicados presentaron mayores concentraciones de aminoácidos libres. Estos hallazgos mencionados anteriormente podrían favorecer la generación de compuestos que mejoran el sabor de los quesos.

Algunos estudios se fundamentaron en la aplicación de este tipo de US en la leche destinada a la elaboración de quesos (Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas, 2010; Almanza-Rubio *et al.*, 2016). Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas (2010) evaluaron el efecto de la aplicación de la termo-sonicación (24 kHz y 400 W) sobre la leche utilizada para elaborar queso fresco. Los resultados mostraron que la ultrasonificación a 63° C por 30 min aumentó el rendimiento del queso en un 20.6 %. Además, este tratamiento disminuyó el tiempo de cuajado, aumentó la luminosidad y las propiedades de textura del queso fueron afectadas. En este sentido reportaron que la leche ultrasonicada afecto disminuyendo la



dureza, masticabilidad y gomosidad, mientras que la elasticidad aumentó.

También se redujo el grado de sinéresis durante el almacenamiento.

Recientemente se evaluó el efecto del US de potencia alta en la leche destinada a la elaboración de queso crema. Los resultados mostraron un decremento del tamaño de los glóbulos de grasa de la leche y un incremento en el contenido de grasa y rendimiento del queso crema. Además, se reportó que las mejores propiedades de textura de dicho queso se presentaron cuando la leche fue tratada a 50 W por ≤ 30 min a temperaturas entre 35 y 50 °C (Almanza-Rubio *et al.*, 2016).

El Queso Fresco

De acuerdo con Walstra *et al.* (1999) el queso se define como un sistema complejo formado por caseinato-fosfato cálcico el cual por coagulación incluye glóbulos de grasa, agua, lactosa, albúminas, globulinas, minerales, vitaminas. Asimismo, el queso incluye otras sustancias menores de la leche que permanece adsorbidas en el sistema o se mantienen en la fase acuosa retenida.

El queso constituye un alimento completo y de agradable sabor que es muy popular en Latinoamérica. México cuenta con una amplia variedad de quesos, los cuales se diferencian de acuerdo a la región y tradiciones donde se producen, especie de donde proviene la leche y cultivos lácticos que se utilicen. El queso es el producto de la acción del cuajo o renina u otros coagulantes sobre las proteínas de la leche; representa una fuente proteica y de calcio que tienen la propiedad de ser digeribles (Teniza, 2008).

La Norma Oficial Mexicana-243-SSA1-2010 caracteriza a los quesos frescos por el alto contenido de humedad y corteza muy fina o no tenerla,



pudiendo incluir la adición de aditivos e ingredientes opcionales.

Producción y Consumo de Lácteos Elaborados con Leche de Cabra

Según el SIAP-SAGARPA (2015b) en México, en el 2014, se produjeron 155, 497 toneladas de leche de cabra. Esta producción fue generada a partir de un hato ganadero caprino de 8, 687,814 cabezas. Con base en lo anterior, México ocupa el segundo lugar en población de esta especie en América Latina y la décimo segunda en el mundo.

El ramo lácteo donde se establece la economía del país es casi exclusivo de la leche de vaca (Corrales-Ureña y Chacón-Villalobos, 2005). Sin embargo, la contribución de la leche de cabra a la economía y al bienestar nutricional de la humanidad es innegable (Ribeiro y Ribeiro, 2010). Existen factores socioculturales que determinan los hábitos de consumo de los productos elaborados con leche de cabra tales como el género, la raza, la edad, la religión, el nivel académico y socioeconómico (Vargas-Aguilar *et al.*, 2007). El escaso conocimiento de los productos lácteos de cabra que el consumidor posee, así como la escasa información y difusión sobre la calidad nutricional limitan la distribución y el consumo (Chacón-Villalobos, 2004).

La leche de cabra juega un papel importante en la salud y nutrición humana. Se ha reportado que esta presenta beneficios terapéuticos en personas con alergia a la leche de vaca (Ribeiro y Ribeiro, 2010). Asimismo, la composición química de la grasa y proteína de este tipo de leche, tiene la capacidad de disminuir malestares gastrointestinales debido a la digestibilidad de sus componentes (Haenlein, 2004; Flores-Cordova *et al.*, 2009). En el Cuadro 1 se muestra la comparación de la composición química de las leches de vaca y cabra



Cuadro 1. Comparación química de la leche de vaca y cabra

Componente	Leche	
	Vaca	Cabra
Proteínas (g/lt)	30-39	30-52
Caseínas totales	24.6-28	23.3-46.3
- α_{s1}	8-10.7	0-13.0
- α_{s2}	2.8-3.4	2.3-11.6
- β	8.6-9.3	0-29.6
- κ	2.3-3.3	2.8-13.4
Séricas totales	5.5-7.0	3.7-7.0
β -Lactoglobulina	3.2-3.3	1.5-5.0
α -Lactoalbúmina	1.2-1.3	0.7-2.3
Seroalbúmina	0.3-0.4	
Peptonas	0.8-1.2	
Lactoferrina	0.02-0.5	0.02-0.2
Lisozima	(70-600)x10 ⁻⁶	250x10 ⁻⁶
IgG	0.15-0.8	0.1-0.4
IgA	0.05-0.14	0.03-0.08
IgM	0.04-0.1	0.01-0.04
Grasa (g/lt)	33-54	30-70
Ácidos grasos (%)		
Saturados	55.7-72.8	59.9-73.7
Monoinsaturados	22.7-30.3	21.8-35.9
Polisaturados	2.4-6.3	2.6-5.6
Linolénico conjugado	0.2-2.4	0.3-1.2
Colesterol (mg/100 ml/ leche)	13.1-31.4	10.7-18.1
Lactosa (g/lt)	44-56	32-50
Vitaminas Hidrosolubles (mg/100 ml)/leche		
Tiamina (B ₁)	28-90	40-68
Riboflavina (B ₂)	116-202	110-120
Niacina (B ₃)	50-120	187-370
Acido Pantoténico (B ₅)	260-490	310
Piridoxina (B ₆)	30-70	7 -48
Biotina (B ₇)	02- 4	1.5-3.9
Ácido Fólico (B ₉)	1-18	0.2-5.6
Cianocobalamina (B ₁₂)	0.27-0.7	0.06-0.07
Ácido Ascórbico (C)	300-2300	900-1500
Vitaminas Liposolubles (mg/100 ml) / leche		
Vitamina A	17-50	50-68
Vitamina E	20-184	
Vitamina K	1.1-3.2	
Minerales Cenizas (g/lt)	07- 08	07- 09
Ca	112-123	85-198
P	59-119	79-153
K	106-163	140-242
Mg	07-12	10 -36
Cl	100-119	0.05-0.1
Fe	0.03-0.1	0.04-0.6
Zn	0.3-0.55	0.15-0.73



(Claeys *et al.*, 2014). La composición química de la leche de cabra permite la elaboración de diversos productos lácteos tales como leche fluida en diversas presentaciones, leche condensada, yogurt, mantequilla, helado, dulces, caramelos y quesos (Ribeiro y Ribero, 2010).

Queso Fresco Elaborado con Leche de Cabra

En México la producción artesanal de queso fresco de cabra ha experimentado un crecimiento a partir de los años 70's (Galina *et al.*, 2007). Este crecimiento obedeció a las condiciones favorables del mercado relacionadas con la calidad de este tipo de queso, dado que es apreciado por los consumidores debido a las particulares características organolépticas que presenta (Salles *et al.*, 2002). Sin embargo, a pesar de que el consumo de este producto se ha incrementado, hasta el momento se desconocen los efectos que el US pudiera tener sobre dichas características.

Perfil de Textura en el Queso Fresco

De acuerdo con Szczesniak (2002) la definición aceptada de textura consiste en la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos detectadas a través de sentidos de la vista, oído, tacto y kinestesia. La deformación de los alimentos o reología está bajo la influencia de la textura percibida y sus características (Peleg, 1987). Por lo tanto, la textura es una característica que permite clasificar como deseable o indeseable a los alimentos (Fernández-Álvarez, 2013).

Este parámetro se utiliza como una medida para evaluar los estándares de control de calidad en los diversos procesos de elaboración de los alimentos



(Aguilera, 2000). De acuerdo con Lobato-Calleros *et al.* (2009) el parámetro de textura representa uno de los atributos más difíciles de duplicar, ya que depende de la estructura química que conforma a los alimentos.

El criterio de compra de queso por parte del consumidor está asociado con las características de textura, olor, color y sabor, términos en los cuales se expresa la calidad del mismo (Pinho *et al.*, 2004). Estos últimos están vinculados al uso de cultivos iniciadores, agentes y factores de maduración, entre otros (Walstra *et al.*, 1999; Ramírez-López y Vélez-Ruiz, 2012).

La textura se evalúa a través de diversos parámetros integrados en el perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés) cohesividad, adhesividad, dureza, elasticidad, fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad (Szczesniak, 2002). La definición sensorial que engloba cada uno de estos parámetros se muestra en el Cuadro 2 (Szczesniak, 2002).

La textura se expresa a través de atributos de tipo mecánico que se presentan al momento de someter un queso a una presión ejercida por un texturómetro, lo que asemeja la fuerza de la masticación (Pinho *et al.*, 2004). Por lo que es posible obtener las propiedades de textura mediante mediciones instrumentales, mostradas en el Cuadro 2 (Szczesniak *et al.*, 1963).

El texturómetro implanta la fuerza necesaria para generar una prueba de compresión en dos ciclos en función del tiempo para obtener el TPA compresión en dos ciclos en función del tiempo para obtener el TPA (Bourne, 2002). En la Figura 1 se muestra la curva del análisis del TPA que aplica para la determinación de textura en quesos (Hleap y Velasco, 2010).

Actividad Antioxidante



Cuadro 2. Definiciones físicas y sensoriales de los parámetros que integran el perfil de textura

Parámetros	Físicos	Sensoriales
Cohesividad	Extensión a la que un material es sometido antes de ser roto.	Grado en el que un material es comprimido entre los dientes antes de fragmentarse.
Adhesividad	Trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales con los que el alimento se contacta.	Fuerza requerida para eliminar el material que se adhiere al paladar durante la masticación.
Dureza	Fuerza necesaria para dividir.	Fuerza requerida para comprimir una substancia entre los molares.
Elasticidad	Velocidad a la que un material es deformado y retorna a su condición inicial después de que la fuerza que causa esta deformación se retira.	Grado en que un producto vuelve a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes.
Fracturabilidad	Fuerza con la que un material fractura caracterizado por ser un producto con alta dureza y baja cohesividad.	Fuerza con la que una muestra se desmigaja, agrieta o despedaza.
Masticabilidad	Energía requerida para masticar un alimento sólido hasta el estado apropiado para ser deglutido.	Periodo de tiempo requerido para masticar la muestra a una velocidad constante de fuerza aplicada para reducir a una consistencia para deglutirlo.
Gomosidad	Energía requerida para desintegrar un semisólido a un estado adecuado para deglutir.	Espesura que persiste durante la masticación.

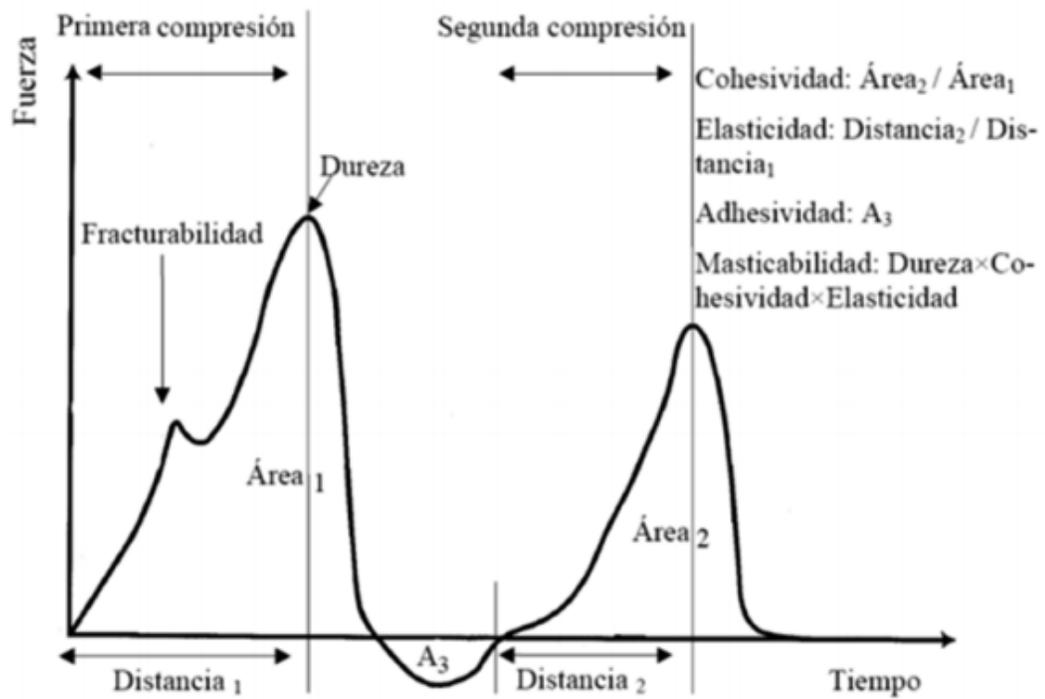


Figura 1. Gráfica general del perfil de textura.



El metabolismo aerobio del organismo está estrechamente asociado con el oxígeno para la sobrevivencia celular y durante este proceso se generan especies reactivas de oxígeno (ERO's; Pihlanto, 2006). Estas constituyen la fuerza principal para el mantenimiento del metabolismo y viabilidad celular, al mismo tiempo que involucra un peligro potencial debido a las características paramagnéticas de oxígeno, responsable de la formación de intermediarios parcialmente reducidos y dotados de una alta reactividad (Gil del Valle, 2011). Entre las ERO's se encuentran los radicales libres (RL), y moléculas derivadas del oxígeno que poseen alta capacidad reactiva (Li *et al.*, 2011). Los radicales libres son átomos o moléculas que tienen en su último orbital un electrón no apareado, es por esta razón que son altamente inestables y reactivos; los cuales alteran las proteínas, el ADN, así como diversas moléculas dando origen a enfermedades y trastornos cardiovasculares (Pihlanto, 2006; Alvarado y Guerra, 2010).

El equilibrio entre radicales libres y antioxidantes es importante para la correcta funcionalidad orgánica. Si este equilibrio se rompe se produce el estrés oxidativo y se alteran negativamente la estructura química de lípidos, proteínas y ADN, y por lo tanto se generan enfermedades (Pihlanto, 2006; Alvarado y Guerra, 2010).

Los antioxidantes pueden hacer frente a estos RL y aminorar el estrés oxidativo (Lobo *et al.*, 2010). Estos compuestos pueden impedir o retrasar la oxidación de otras moléculas inhibiendo las reacciones en cadena de los RL (Jiang *et al.*, 2014). Una de las principales funciones de los antioxidantes es prevenir o retrasar la oxidación de las grasas favoreciendo la conservación de



alimentos. Además, estos presentan aplicaciones terapéuticas para inhibir diversos tipos de enfermedades tales como cardiovasculares y degenerativas. Los antioxidante se encuentran en compuestos tales como fenoles, péptidos, fosfolípidos y polisacáridos (Shahidi y Zhong, 2010).

En la industria alimentaria el desarrollo de productos funcionales que contengan péptidos bioactivos es, en los últimos años, motivo de interés debido a los diversos beneficios que estos imparten a la salud de los consumidores, un ejemplo de estos son aquellos alimentos funcionales que poseen, propiedades antioxidantes. La hidrolisis enzimática de proteínas es un método de fraccionamiento común para obtener péptidos con actividad antioxidante (Cian *et al.*, 2011).

La actividad antioxidante se puede evaluar a partir de diferentes métodos. La metodología basada en el radical ABTS^{•+} es de los más implementados a causa de su estabilidad y solubilidad tanto en medios orgánicos como acuosos (Arnao, 2000). Por lo anterior, la generación del ABTS^{•+} constituye una de las técnicas básicas dentro de los métodos espectrofométricos que han sido aplicados para medir la actividad antioxidante total de soluciones o sustancias puras y mezclas acuosas.

La actividad antioxidante en quesos ha sido limitadamente estudiada. Sin embargo, se han reportado fracciones peptídicas derivadas de las caseínas y liberadas con enzimas digestivas con actividad antioxidante (Chen y Li, 2012). En este trabajo se encontró que esta actividad estaba asociada con el peso molecular de los péptidos, en donde las fracciones < 1 kDa ejercieron mayor actividad antioxidante que las 1-3 y > 3 kDa. Por otro lado, Abadía-García *et al.*



(2013) inocularon probióticos, además de los microorganismos presentes de manera natural, en el queso cottage para la liberación de péptidos con esta actividad. Los resultados sugieren que la capacidad antioxidante de los péptidos fue incrementándose a través del tiempo.

Rendimiento del Queso

La elaboración de queso constituye una secuencia de pasos donde se agrupan los componentes de la leche, especialmente las proteínas y grasas, los cuales son los detonantes del rendimiento quesero (Banks *et al.*, 1986). Es así, que el rendimiento se define como la cantidad de queso obtenida en kilogramos a partir de los litros de leche que se procesan. Este parámetro expresa la eficiencia económica de los procesos que implican el uso de la tecnología, como el US, la forma de elaboración y la materia prima empleada (Paolo *et al.*, 2008; Abd El-Gawad y Ahmed, 2011). Considerando lo anterior, la composición de la leche es el principal promotor del rendimiento quesero aunque existen varios factores ligados a este parámetro productivo, como. la variabilidad genética, el recuento de células somáticas, procesos térmicos como la pasteurización de la leche, el agente coagulante y la firmeza de la cuajada entre los más importantes (Fenelon y Guinee 1999; Lawrence 1993; Lucey y Kelly, 1994; Walsh *et al.* 1998).

Efecto del US en el Rendimiento Quesero

Se ha reportado que la aplicación del US de alta potencia tiende a modificar el rendimiento, ya que produce un diferencial significativo en la producción de queso debido a las reestructuras de las proteínas y grasas (Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas, 2009). La sonificación aumenta el contenido de humedad lo que sugiere una reorganización de las moléculas de las



proteínas dentro de los quesos durante la coagulación. Además posiblemente se sugiere por la asociación de las proteínas del suero con la superficie de las micelas de caseína que precipitan con calor (Hupperetz *et al.*, 2005).

Proteólisis

Los quesos que coagulan por acción de la renina maduran por diferentes períodos de tiempo pudiendo ser de días, o bien por el tipo de queso que se trate. Durante la maduración se llevan a cabo procesos bioquímicos muy importantes que tienen que ver con cambios fundamentales para el desarrollo del sabor, aroma y textura de un queso (McSweeney, 2004). Estos procesos bioquímicos son llevados a cabo por medio de reacciones primarias y secundarias en donde participan las enzimas exógenas ya sea por origen de bacterias ácido lácticas, renina o endógenas, las propias de la leche (McSweeney, 2004; Abd El-Gawad y Ahmed, 2011).



MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Este estudio fue realizado en el laboratorio de Biotecnología de Productos de Origen Animal en la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE) de la Universidad Autónoma de Chihuahua, ubicado en el Periférico Francisco R. Almada km. 1 Chihuahua, Chih, México. CP 33820.

Naturaleza de la Población

La leche utilizada en este experimento provino de 10 cabras de la raza Alpina estabuladas de la FZyE. Cuatro fueron de primero y el resto fueron de segundo y tercer parto. El sistema de producción era intensivo, donde la alimentación se basó en concentrado, avena y alfalfa.

Las cabras fueron ordeñadas de 1 de junio al 5 de noviembre de 2014. La ordeña se realizó alrededor de las 8 am todos los días y la leche fue procesada de manera inmediata.

Descripción del Diseño y los Tratamientos

El experimento consistió en cuatro tratamientos, con tres repeticiones y tres réplicas bajo un diseño completamente al azar. La descripción de los tratamientos estuvo basada en la aplicación del US de potencia alta sobre la leche cruda de cabra (Cuadro 3). La ultrasonificación de la leche cruda se realizó en un equipo Branson® modelo 1510R-MTH, cuyo transductor fue modificado. La frecuencia del equipo fue de 42 kHz y la potencia fue de 14 W. La potencia fue obtenida tras la aplicación del método calorimétrico reportado por Gao *et al.* (2014). El volumen total de leche ultrasonificada por tratamiento fue de 3.6 lt. La temperatura de la leche durante la aplicación del ultrasonido fue monitoreada



Cuadro 3. Descripción de los tratamientos de ultrasonido de potencia alta a los que se sometió la leche de cabra

Tratamientos	Tiempo de sonificación (min)	Temperatura de sonificación (°C)
1	0.0	0
2	30.0	34-36
3	30.0	63-65
4	0.0	63-65

1 = Leche (L) cruda, 2 = L. ultrasonificada, 3 = L. ultrasonificada y pasteurizada y 4 = L. pasteurizada.



cada dos min con un termómetro digital modelo THDP-450 (Update International, E.U.A.) y se controló utilizando hielo y agua caliente.

Elaboración del Queso Fresco

La elaboración de los quesos frescos se llevó a cabo empleando leche de cabra de las unidades de la FZyE. Posteriormente, la leche se llevó a 40 ± 1 °C, se adicionaron 0.15 g/lit de cloruro de calcio (Fermont, México) y a los 36 ± 1 °C 15 ml/100 lit de renina (Cuamix, Christian and Hansen, México). La leche se dejó reposar por 60 min aproximadamente hasta llevar a cabo la coagulación. La cuajada se cortó en cubos de 1.0 cm^3 y se agitó lentamente durante 5 min para promover el desuerado y favorecer la formación de granos de cuajada más pequeños y uniformes. El grano de cuajada se dejó reposar durante 15 min más para favorecer la separación del suero. Transcurrido este tiempo, se eliminó cerca del 85 % de suero y se adicionó sal (13 g/lit de leche) fina (La Fina, México), agitando moderadamente moliendo el grano y dejando reposar durante 10 min. Luego, la cuajada se colocó en moldes de plástico con una capacidad de 1/2 kg, aproximadamente, permaneciendo éstos a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) durante media hora; después, los quesos se voltearon y se volvieron a colocar en los moldes, dejándolos desuerar a temperatura ambiente por 2 h más. Los quesos se sacaron de los moldes y se mantuvieron a temperatura ambiente por 2 h, antes de ser colocados en bolsas de plástico, las cuales se sellaron herméticamente. Los quesos se mantuvieron bajo refrigeración por 24 h a una temperatura de 4 ± 0.5 °C.

Preparación de las Muestras

Los quesos previamente elaborados se refrigeraron a 4.0 ± 0.5 °C. Las



muestras se almacenaron durante 14 d.

Obtención de los Extractos de las Fracciones Proteicas

La obtención de los extractos correspondió a los quesos del día cero. Para ello, se tomó una muestra de queso de 30 g y se le adicionó 100 ml de agua destilada. La muestra se homogenizó (licuadora Osterizer® modelo 6663) durante 2 min. Este procedimiento se repitió dos veces. El extracto se centrifugó a 20,000 x g durante 10 min a 4.0 °C en un equipo Beckman Coulter (Avanti J-26 XPI, E.U.A) de acuerdo a lo reportado por Rodríguez-Figueroa *et al.*, (2012). La grasa fue removida y el sobrenadante se recuperó y se ultrafiltró a través del sistema Amicon (Millipore, E.U.A.) utilizando membranas de 10, 5 y 3 kDa (Ultracel® Millipore, E.U.A.). Las fracciones peptídicas < 5 y < 3 kDa finalmente fueron obtenidas. Posteriormente, las fracciones peptídicas fueron congeladas a – 80 °C y liofilizadas en un equipo Labconco (Frezone 12, E.U.A.) y finalmente refrigeradas a 4.0 °C.

Medición de la Actividad Antioxidante

La actividad antioxidante de las fracciones de suero del queso se evaluó por el método de la Capacidad Antioxidante de Equivalentes de Trolox (TEAC). Este método se basa en el secuestro del radical de 2, 2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina) -6-ácido sulfónico (ABTS ^{•+}) catiónico (Sigma-Aldrich, E.U.A.) de acuerdo a la técnica establecida por Re *et al.* (1999). Primeramente, la solución madre de ABTS (7.0 Mm) se oxidó mediante la adición de la solución buffer de persulfato de potasio (Sigma-Aldrich, E.U.A.) 2.45 mM. La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente en un lugar oscuro por 12-16 horas para



obtener el ABTS^{•+}. Posteriormente, se diluyó en etanol (99.9 %) hasta alcanzar 0.7 ± 0.02 de absorbancia a 734 nm. Posteriormente, una alícuota de Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxílico) o de la muestra (100 μ L) fue añadida a 2.9 ml de ABTS^{•+} para reaccionar con las fracciones peptídicas antioxidantes por 5 min a temperatura ambiente. El secuestro del radical ABTS^{•+} se monitoreó espectrofotométricamente (Cary 50 Bio, Palo Alto, CA) a través de los decrementos en la absorbancia. El disolvente se utilizó como control negativo. Cada fracción peptídica se evaluó por triplicado. Los datos de inhibición se calcularon utilizando una curva estándar de Trolox (0.1- 0.6 mM).

Proteólisis

La proteólisis del queso fresco de cabra se midió de acuerdo a la metodología reportada por Church (1983). La solución de trabajo se preparó utilizando 0.5 ml de SDS al 20 % diluido en 2.5 ml de agua destilada, solución de 0.953 g de tetraborato de sodio diluidos en 25 ml de agua destilada y 1 ml de metanol se disuelto en 0.04 g de OPA, se unieron las tres soluciones y se adicionaron 100 μ L de β -mercaptoetanol y finalmente esta solución se aforó a 50 ml. Una vez ya preparado el reactivo se dejó en total obscuridad durante 20 horas a temperatura ambiente. Una vez transcurrido este tiempo se tomaron 50 μ L de muestra y se coloraron en la cubeta, luego se añadió 1 ml de la solución de trabajo preparada se agitó una vez, se incubó a temperatura ambiente durante 2 min. Posteriormente se realizó la lectura es un espectrofotómetro modelo UV 1800 (Shimadzu Co., Japón) a una longitud de onda de 340 nm. La lecturas fueron tomadas de las muestras correspondientes día 0 de almacenamiento. La lectura fue realizada en las tres repeticiones de cada tratamiento por triplicado.



Análisis Físicoquímico

Las muestras de los quesos frescos correspondientes al día cero fueron sometidos al análisis físicoquímico. Estos incluyeron humedad (PROY-NOM-211-SSA1-2002), ceniza (NMX-F-066-S-1978) proteína (NMX-F-513-1988) y grasa (NMX-F-387-1982).

Análisis del Perfil de Textura

Las muestras de los quesos frescos que se sometieron al análisis de perfil de textura se obtuvieron los días 0, 3, 6, 10 y 14. La determinación del perfil de textura se realizó por compresión mediante un texturómetro TA.XT plus (Stable Micro System, Gran Bretaña) equipado con el software Texture Exponent (Stable Micro System, Gran Bretaña). Este último incluyó una celda de carga de 50 kg para la calibración y una sonda de 30 mm de altura por 25 mm de diámetro, el cual descendió a una velocidad de 1.0 mm / s en una distancia de 40 mm. El vástago cilíndrico empleado fue (P 25 L, cylinder Lap Perspex) de 2.5 cm de diámetro y 3.5 cm de alto. La distancia recorrida por el brazo fue de 1.25 cm desde el primer contacto con la muestra y logrando una compresión de 75 %, la siguiente compresión (30 %) fue programada 5 segundos después de la primera. El brazo del equipo se manejó a diferentes velocidades, al inicio fue de 0.1 cm / s, la de prueba fue de 0.250 cm / s y después de la prueba fue de 1 cm / s. Las muestras de queso fueron de 1 cm de largo y se obtuvieron utilizando un horador cilíndrico de media pulgada de diámetro, número ocho y de 12 cm de longitud. Los quesos fueron transportados al Laboratorio de Alimentos II de la Facultad de Ciencias Químicas en una hielera y mantenidos en temperatura de refrigeración para evitar que se desueraran. Las tomas de muestra fueron



realizados en la parte media céntrica de los quesos. Las mediciones se realizaron en los quesos frescos correspondientes a los 0, 3, 6, 10 y 14 d posteriores a la elaboración; por triplicado con tres réplicas. Posteriormente, se realizaron los cálculos los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad a partir de los datos obtenidos.

Análisis Estadístico

Para el análisis de las variables del fisicoquímico, proteólisis y rendimiento se utilizó el modelo: $y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$. donde: y_{ij} = variable de respuesta; μ = media general; T_i = efecto del i -ésimo tratamiento; ε_{ij} = error aleatorio; de igual forma, el modelo estadístico para analizar las siete variables asociadas al perfil de textura fue: $y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta) + \varepsilon_{ij}$. donde: y_{ij} = variable respuesta; μ = media general; T_i = efecto fijo del i -ésimo tratamiento; β = coeficiente de regresión lineal, asociado a la covariable día de medición (0, 3, 6, 10 y 14); $(T\beta)$ = interacción del tratamiento y la covariable día de medición; ε = error aleatorio. Para comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey. En las pruebas de hipótesis se utilizó un valor de 0.05 para α ; los análisis se realizaron con el procedimiento GLM del programa para análisis estadístico SAS (SAS, 2006). En análisis previos, se verificó que todas las variables analizadas cumplieran con los supuestos estadísticos requeridos para el análisis de varianza.

Dentro de los cálculos de los parámetros del perfil de textura, se cita anteriormente (Figura 1) cómo son obtenidos; fracturabilidad = dato directo; dureza = dato directo fza pico 1; cohesividad = dato área 4 /área 1; adhesividad = dato directo área 2; elasticidad = dato directo; = dureza * elasticidad *



FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

cohesividad y por último gomosisidad = dureza * cohesividad.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición Química de los Quesos Frescos

Los quesos frescos elaborados con la leche de cabra fueron sometidos a los análisis de grasa, humedad, ceniza y proteína. En el Cuadro 4 se presentan las características fisicoquímicas de los quesos correspondientes a los diferentes tratamientos. Los resultados de los análisis de humedad, ceniza y grasa no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$). Por otro lado, la concentración de proteína en las muestras de queso mostró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos. El queso elaborado con la leche de cabra calentada a 63-65 °C por 30 min mostró la menor concentración de proteína (16.6 ± 0.5 %). En contraste, la mayor concentración la presentó el queso elaborado con la leche sometida a 30 min de US a 63-65 °C. De acuerdo con Chemat *et al.* (2011) el uso del ultrasonido de potencia alta representa una tecnología eficiente que favorece el proceso de transferencia de masa. Por lo que es posible que las proteínas séricas se hayan adherido a las caseínas y con ello aumentar la concentración de proteína tras la termo-ultrasonicación.

Peláez-Puerto *et al.* (2003) evaluaron la composición química del queso fresco de cabra. Los resultados que reportaron incluyeron proteína (19.6 ± 1.0 %), humedad (53.3 ± 1.9 %) y grasa (20.9 ± 2.5 %). Los quesos de cabra elaborados en este estudio presentaron rangos mayores de humedad (56.7 ± 1.5 – 60.5 ± 1.7 %) y grasa (21.1 ± 1.5 – 25.2 ± 1.6 %). De acuerdo con Wu *et al.* (2001) la aplicación del US de potencia alta en leche tiene la capacidad de aumentar la capacidad de las proteínas para retener humedad.

El porcentaje promedio de proteínas obtenido en los tratamientos fue de

Cuadro 4. Medias (\pm E. E) de la composición fisicoquímica de los quesos de cabra asociada a los tratamientos

Tratamiento	Composición química			
	Humedad	Ceniza	Proteína	Grasa
1	56.70 \pm 1.50 ^a	0.43 \pm 0.06 ^a	19.60 \pm 0.90 ^a	21.80 \pm 0.80 ^a
2	60.50 \pm 1.70 ^a	0.46 \pm 0.00 ^a	17.90 \pm 0.60 ^{ab}	22.30 \pm 1.80 ^a
3	59.80 \pm 1.60 ^a	0.45 \pm 0.01 ^a	20.50 \pm 0.70 ^a	21.10 \pm 1.50 ^a
4	59.90 \pm 1.20 ^a	0.43 \pm 0.01 ^a	16.60 \pm 0.50 ^b	25.20 \pm 1.60 ^a

^{ab} Medias con diferente literal indican diferencia estadística en composición fisicoquímica de quesos de cabra ($P < 0.05$). 1 = Leche (L) cruda, 2 = L. ultrasonicada, 3 = L. ultrasonicada y pasteurizada y 4 = L. pasteurizada.



un 18 %, valor superior a lo reportado por Millan *et al.* (1982), el cual fue de 17.4 %. El contenido de humedad en los quesos estuvo entre 53 y 61 %, después de 24 horas de elaborados. Para explicar este fenómeno, es necesario hacer referencia a que en este producto se lleva a cabo el proceso de deshidratación a través del tiempo, en donde la pérdida de humedad se da en la superficie del queso, como resultado de la diferencia entre la presión de vapor del agua del producto y la presión de vapor de la humedad del aire, paralelamente a la pérdida de agua superficial, se da un movimiento de la humedad del interior del queso hacia el exterior de la masa del producto y que es proporcional a la pérdida de agua superficial. La relación inversa entre los parámetros de humedad y contenido de grasa en los quesos se encuentra ampliamente reportada en la bibliografía (Corrales-Ureña y Chacón-Villalobos, 2005).

Rendimiento y Proteólisis

El Cuadro 5 muestra los rendimientos obtenidos los cuales fueron estimados en función de los kilogramos de leche necesarios para obtener un kilogramo de queso (Brito, 1985). La proteólisis de los quesos frescos fue medida el día cero de almacenamiento. Los resultados del rendimiento fueron consistentes con aquellos reportados por Oliszewski *et al.* (2002), quienes reportaron 12-16.5 % de rendimiento para quesos similares al de cabra. En este estudio el rango del rendimiento fue de 11.44-12.55 %. Estos resultados sugieren que posiblemente los sólidos de la leche, principalmente proteína y grasa, estuvieron atenuados.

De acuerdo con Knorr *et al.* (2011) el US puede incrementar la transferencia de masa.

Cuadro 5. Grado de proteólisis y rendimiento del queso de cabra (\pm E. E.) asociado a los tratamientos

Tratamiento / Días	Proteólisis (°)	Rendimiento (% p/v)
1	1.28 ± 0.02^a	11.4 ± 0.8^a
2	0.93 ± 0.05^b	11.6 ± 0.1^a
3	0.90 ± 0.01^b	12.2 ± 0.4^a
4	0.87 ± 0.01^b	12.6 ± 0.7^a

^{ab} Medias con diferente literal indican diferencia estadística en composición fisicoquímica de quesos de cabra ($P < 0.05$). p/v = peso por volumen. 1 = Leche (L) cruda, 2 = L. ultrasonicada, 3 = L. ultrasonicada y pasteurizada y 4 = L. pasteurizada. E. E= error estándar.

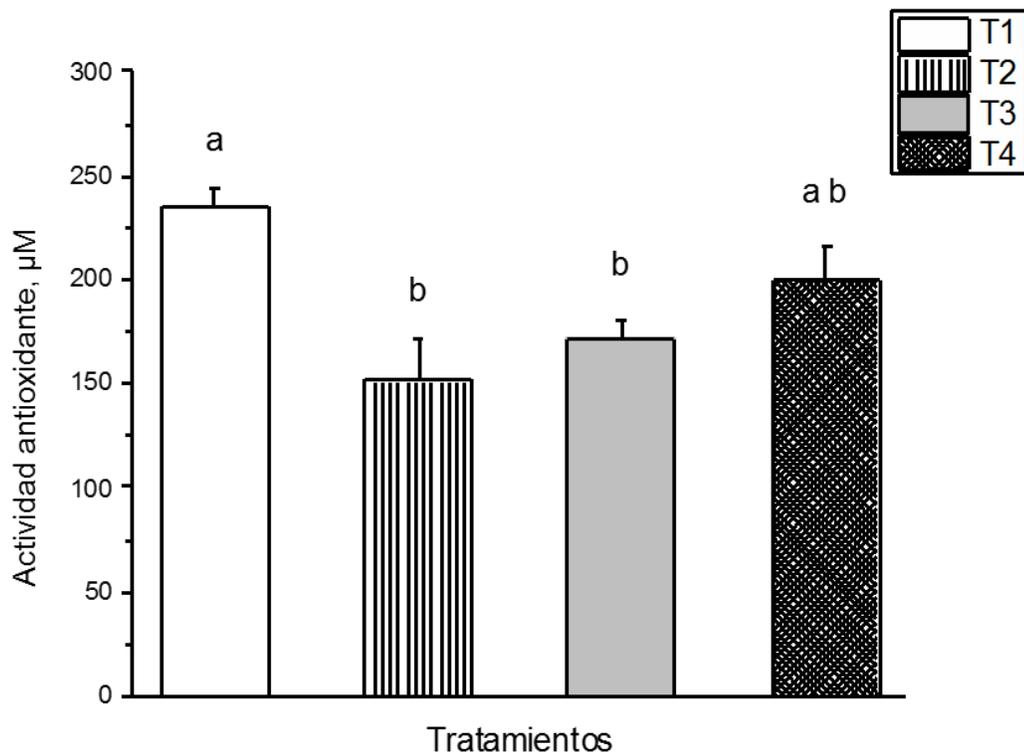


El porcentaje de proteína fue mayor en el queso fresco elaborado con leche ultrasonificada por 30 min a 63-65 °C (12.2 ± 0.4 %) y en el elaborado con leche calentada a 63-65 °C por 30 min (12.6 ± 0.7 %). Estos hallazgos sugieren que la temperatura también podría estar asociada con el rendimiento. En contraste, el grado de proteólisis fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en la leche cruda (1.28 ± 0.02). Este resultado podría estar ligado a la proteólisis vinculada con la presencia de microorganismos endógenos de la leche.

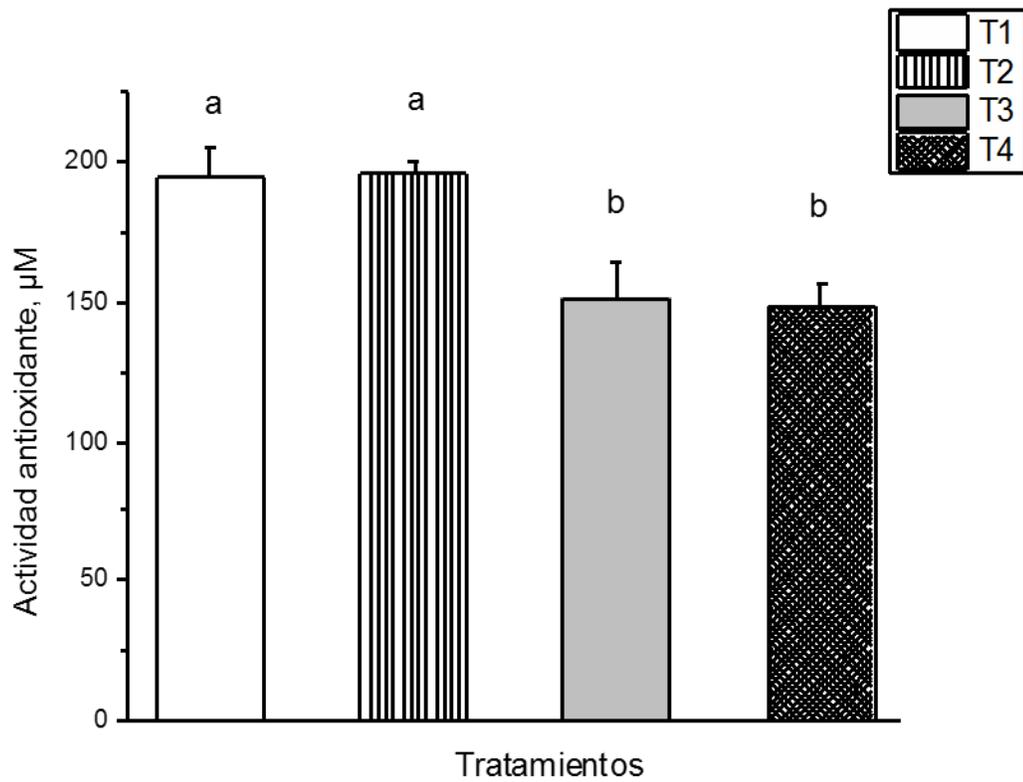
Actividad Antioxidante

Estudios previos han reportado la capacidad de las proteínas de origen lácteo para ejercer actividad antioxidante (Chen y Li, 2012; Soares de Castro y Harumi-Sato, 2014). Sin embargo, para que las proteínas nativas puedan ejercer dicha actividad es necesario fragmentarlas (Sarmadi e Ismail, 2010). En este trabajo se evaluó la actividad antioxidante de los quesos frescos elaborados con leche de cabra previamente ultrasonificada. Esta actividad fue analizada en las fracciones menores de 3 y 5 kDa. Los resultados de la actividad antioxidante se muestran en las Gráficas 1 y 2.

La actividad antioxidante de la fracción peptídica < 3 kDa se observa en la Gráfica 1. Los resultados mostraron que hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los distintos tratamientos. La fracción < 3 kDa del queso fresco elaborado con la leche de cabra sin calentar ni ultrasonificar mostró la mayor actividad antioxidante (235.4 ± 9.3 μ M). De hecho, esta actividad antioxidante fue significativamente mayor ($P < 0.05$) a la presentada por la misma fracción peptídica de los quesos elaborados con la leche ultrasonificada por 30 min y calentada a 34-36 °C (151.2 ± 20.1 μ M) y 63-65 °C (171.2 ± 9.8 μ M).



Gráfica 1. ^{ab}Medias (\pm error estándar) con diferente literal indican diferencia estadística ($P < 0.05$) en la actividad antioxidante de los extractos acuosos < 3 kDa de los quesos frescos elaborados con leche de cabra. μM = micrómetro



Gráfica 2. ^{ab}Medias (\pm error estándar) con diferente literal indican diferencia estadística ($P < 0.05$) en la actividad antioxidante de los extractos acuosos < 5 kDa de los quesos frescos elaborados con leche de cabra. μM = micrómetro.



Asimismo, la fracción correspondiente al queso elaborado con la leche solamente calentada a 63-65 °C por 30 min ($200.1 \pm 15.3 \mu\text{M}$), mostró mayor actividad antioxidante que las que fueron ultrasonicadas. Estos resultados sugieren que las condiciones en las que se ultrasonicó la leche redujeron la actividad antioxidante. Hasta el momento, poco se ha estudiado el efecto del ultrasonido de potencia alta sobre la actividad antioxidante. Sin embargo, se ha reportado que el fenómeno de cavitación que experimentan los sistemas sólido-líquido produce un rápido incremento de la temperatura generando radicales libres primarios ($\text{H}\cdot + \text{OH}\cdot$) a partir de las moléculas de agua. Estos radicales son altamente reactivos, por lo que pueden generar moléculas capaces de actuar como agentes oxidantes, tal como el H_2O_2 (Kumar *et al.*, 2009).

El efecto del US de potencia alta sobre la actividad antioxidante de las fracciones peptídicas < 5 kDa presentes en el queso fresco también fue evaluado. Los resultados de dicha actividad se muestran en la Gráfica 2. Las fracciones peptídicas correspondientes a los distintos tratamientos presentaron diferencia significativa ($P < 0.05$). Las fracciones que mostraron la mayor actividad antioxidante ($P < 0.05$) fueron las derivadas de los quesos cuyas leches de cabra fueron ultrasonicada por 30 min a 34-36 °C ($196.5 \pm 3.2 \mu\text{M}$) y no ultrasonicada ni calentada ($194.8 \pm 11.2 \mu\text{M}$). En contraste, los tratamientos que incluyeron la aplicación del US por 30 min a 63-65 °C y solamente el calentamiento (63-65 °C por 30 min) presentaron significativamente ($P < 0.05$) los valores menores, $150.8 \pm 14.3 \mu\text{M}$ y $148.5 \pm 8.5 \mu\text{M}$, respectivamente. De acuerdo con Arzeni *et al.* (2012) el incremento de la presión y la temperatura local alrededor del colapso de las burbujas durante la cavitación promovido por la aplicación del US de potencia



alta podría liberar pequeños agregados y con ello modificar la estructura química de las proteínas. Sin embargo, ellos reportaron que la aplicación del US de potencia alta (20 kHz, 4.27 ± 0.71 W y 20 min) en donde se controló la temperatura a 0.5 °C durante el experimento no se modificó la entalpía de desnaturalización. Por lo que el proceso de ultrasonificación sobre el concentrado de las proteínas séricas (WPC) tuvo muy poco efecto sobre la modificación de la estructura química. Por lo que es posible que en la fracción < 5 kDa tampoco haya habido la liberación suficiente de péptidos con actividad antioxidante.

Asimismo, Chandrapala *et al.* (2011) reportaron que la sonicación de WPC (20 kHz, 31W) hasta por 60 min a una temperatura controlada de 6 ± 4 °C no alteró el contenido de grupos tiol, mostró cambios menores en la estructura secundaria y en la hidrofobicidad de las proteínas. Estos resultados sugieren que posiblemente el factor de la temperatura fue más relevante que aún las condiciones en las cuales se aplicó el ultrasonido de potencia alta en la actividad antioxidante de las fracciones peptídicas < 5 kDa. En la literatura se ha señalado la poca estabilidad térmica que tienen las proteínas séricas y la capacidad que experimentan para formar agregados (Ryan *et al.*, 2012). En cierta medida estos últimos experimentan el proceso químico de la desnaturalización, que aún cuando no se afecte la solubilidad, la temperatura podría influir directamente en la actividad antioxidante, la cual podría estar asociada con el tamaño de las moléculas de las proteínas séricas.

Por otro lado, estudios previos han propuesto que el tamaño de la estructura química de los péptidos, así como la secuencia de los aminoácidos que los integran podrían influir en la actividad antioxidante (Sarmadi e Ismail,



2010). Razón por la cual, la actividad antioxidante no solo fue evaluada en la fracción peptídica < 3 kDa, sino también en la < 5 kDa. De acuerdo con Chen y Li (2012) las fracciones peptídicas derivadas de las caseínas de un tamaño molecular > 3 kDa fueron menos hidrolizadas que las fracciones < 3 kDa. Por lo que éstas últimas presentaron mayor liberación de aminoácidos y péptidos. Además, se reportó que la fracción peptídica < 1 kDa mostró la mayor actividad antioxidante. Estos resultados muestran que posiblemente haya una correlación entre el tamaño molecular de las fracciones peptídicas derivadas de las caseínas y la actividad antioxidante. En este estudio las fracciones peptídicas < 3 kDa presentaron mayor actividad antioxidante que las < 5 kDa.

Análisis del Perfil de Textura

El análisis del perfil de textura (TPA) está diseñado para imitar el proceso de masticación mediante el uso de pruebas destructivas de corte (Van Hekken *et al.*, 2004). En este estudio se evaluó el TPA de los quesos frescos elaborados con leche de cabra previamente sometida a diferentes tratamientos de ultrasonido de potencia alta.

El análisis estadístico del modelo mostró que el factor tiempo fue estadísticamente significativo ($P < 0.05$) con una pendiente negativa; lo que indicó que los quesos fueron perdiendo cohesividad a través del tiempo. En el Cuadro 6 y 7 se muestran los resultados del efecto de tratamiento en el análisis de perfil de textura así como en las Gráficas 3 y 4 el comportamiento de los parámetros de textura. Estudios previos demostraron que los quesos Ibores elaborados a partir de leche de cabra presentaron un comportamiento similar a los resultados reportados en este estudio (Delgado *et al.*, 2012).



Cuadro 6. Efecto del tratamiento en el perfil de textura, día y la interacción tratamiento por día.

FV	Cohe	Adhe	Dure	Elas	Mas	Frac	Gomo
Trat	0.5	0.1	0.52	0.02	0.57	0.63	0.11
β (Dia)	0.05	0.89	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06
Trat * β	0.42	0.15	0.01	0.6	0.08	0.16	0.01

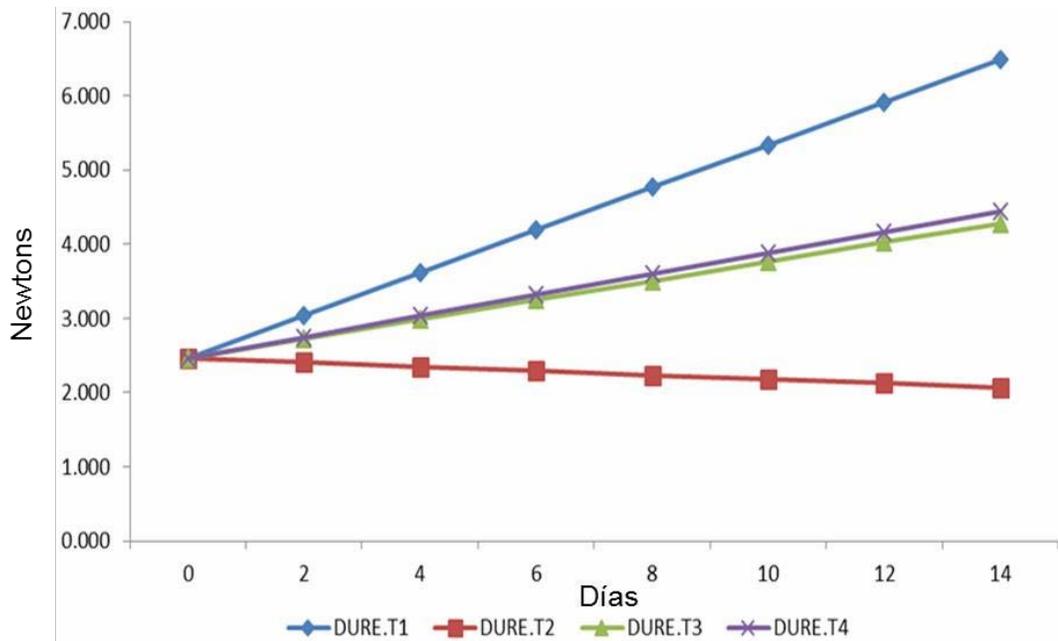
FV= fuente de variación; Trat= tratamiento; β = Coeficiente de regresión lineal, correspondiente a la covariable día de medición; Trat * β =interacción entre tratamiento y la covariable Cohe = Cohesividad; Adhe = Adhesividad; Dure = Dureza; Elas = Elasticidad; Mas = Masticabilidad; Frac = Fractibilidad; Gomo = gomosidad



Cuadro 7. Efecto del tratamiento en el perfil de textura día y la interacción tratamiento por día

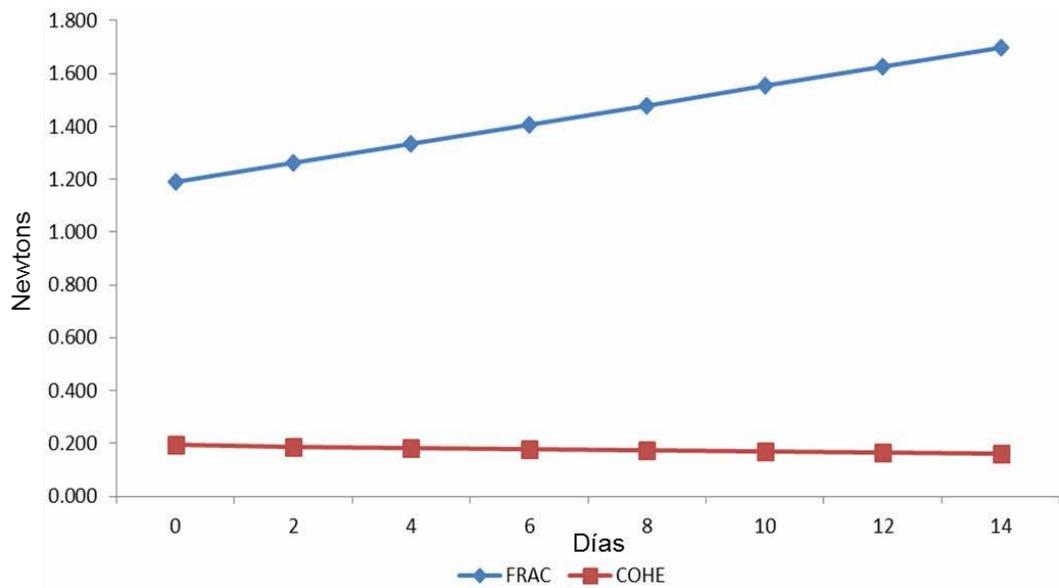
F. V.	COHE	ADHE	DURE	ELAS	MAS	FRAC	GOMO
Trat	0.50	0.10	0.52	0.02	0.57	0.63	0.11
B	0.05	0.89	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06
Trat β	0.42	0.15	0.01	0.60	0.08	0.16	0.01
Trat 1	0.19 ^a	0.19 ^a	4.14 ^a	13.21 ^a	10.26 ^a	1.56 ^a	0.76 ^a
Trat 2	0.18 ^a	0.21 ^{ab}	3.09 ^a	11.82 ^b	6.57 ^b	1.52 ^a	0.59 ^a
Trat 3	0.20 ^a	0.24 ^{ab}	3.90 ^a	12.72 ^{ab}	8.68 ^{ab}	1.33 ^a	0.67 ^a
Trat 4	0.18 ^a	0.29 ^b	3.99 ^a	11.93 ^b	7.30 ^{ab}	1.43 ^a	0.59 ^a
B	0.0022	–	–	0.08895	0.26029	0.03637	–
Trat $\bullet\beta$							
Trat 1 β	–	–	0.2875	–	–	–	0.03688
Trat 2 β	–	–	0.0287	–	–	–	0.03036
Trat 3 β	–	–	0.1298	–	–	–	0.02164
Trat 4 β	–	–	0.1411	–	–	–	0.02480

FV= fuente de variación; Trat= tratamiento; β = Coeficiente de regresión lineal, correspondiente a la covariable día de medición; Trat * β =interacción entre tratamiento y la covariable Cohe = Cohesividad; Adhe = Adhesividad; Dure = Dureza = Elas = Elasticidad; Mas = Masticabilidad; Frac = Fractibilidad; Gomo =gomosidad.



Gráfica 3. Comportamiento de dureza en queso de leche de cabra a través del tiempo.

DURE = dureza; T1 = leche cruda, T2 = leche ultrasonificada, T3 = leche ultrasonificada y pasteurizada, T4 = leche pasteurizada.



Gráfica 4. Comportamiento de fracturabilidad y cohesividad en queso de leche de cabra a través del tiempo.
FRAC = fracturabilidad, COHE = cohesividad



Por otro lado, los resultados señalaron que las diferencias significativas ($P < 0.05$) en este parámetro se observaron hasta los 6 y 10 d de almacenamiento. Por lo que es posible que el efecto de los tratamientos con el ultrasonido de potencia alta sobre las proteínas caseicas haya favorecido la capacidad para retener agua. Lo que podría explicar que la aplicación del ultrasonido por 30 min a 63-65 °C generó el valor más alto de cohesividad (0.29 ± 0.10) a los 6 d de refrigeración.

Guerra-Martínez *et al.* (2012) evaluaron la cohesividad del queso panela a través del tiempo. Cabe señalar que el queso panela también es considerado fresco. De acuerdo con dichos autores, la máxima diferencia significativa ($P < 0.05$) de este parámetro se presentó el día 9 de almacenamiento. Asimismo, Álvarez *et al.* (2007) reportaron que el queso elaborado con leche de cabra mostró una correlación positiva entre la cohesividad y la humedad de los quesos. En este estudio aunque no se analizaron las correlaciones, no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$) en los porcentajes de humedad ni en la cohesividad al día cero.

La adhesividad de los quesos frescos también fue evaluada a través del tiempo. El análisis estadístico basado en el modelo previamente mencionado, demostró que no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los factores tratamiento, tiempo ni en la interacción entre ambos. Sin embargo, el valor máximo lo presentó el queso elaborado con la leche ultrasonicada por 30 min a 63-65 °C el día cero (-0.41 ± 0.15). Los valores negativos de adhesividad sugieren que los quesos se podrían caracterizar como pegajosos o adhesivos, lo que favorece la adhesión de estos al paladar. De acuerdo con Álvarez *et al.* (2007) reportaron que los quesos Canarios elaborados con leche de cabra presentaron



una correlación positiva entre la concentración de proteína y grasa con la adhesividad. En este estudio se observó una asociación entre la composición química de los quesos y éste parámetro del perfil de textura, ya que el queso fresco con la mayor adhesividad también presentó la mayor concentración de proteína ($20.5 \pm 0.7 \%$).

Las diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos se presentaron sólo al día 10. Sin embargo, el análisis de los datos a través del modelo estadístico señaló que la interacción tiempo y tratamiento fue diferente significativamente ($P < 0.05$). De hecho, esta interacción demostró que conforme transcurrió el tiempo, los quesos fueron aumentando la dureza. Guerra-Martínez *et al.* (2012) evaluaron la dureza del queso fresco panela a través durante 15 d. Tal experimento mostró que la dureza tendió a incrementar a través del tiempo, reportando que el valor máximo fue observado 13 d después de haberlo producido y mantenido en refrigeración ($2.5 \pm 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$). La dureza está relacionada ampliamente con la composición química de los quesos (Chacón- Villalobos y Pineda-Castro *et al.*, 2009). Guerra-Martínez *et al.* (2012) reportaron que hubo una alta correlación negativa ($R = -0.76$) entre dureza y humedad. En contraste, los resultados de este estudio mostraron que el día 1, los quesos elaborados con leche ultrasonicada por 30 min y calentadas a $34\text{-}36 \text{ }^\circ\text{C}$ y $63\text{-}65 \text{ }^\circ\text{C}$ presentaron los mayores valores de dureza, $2.95 \pm 1.00 \text{ N}$ y $2.85 \pm 0.65 \text{ N}$ y de humedad, $60.5 \pm 1.7 \%$ y $59.8 \pm 1.6 \%$, respectivamente. Es posible que el efecto del US de potencia alta haya modificado las estructuras químicas de las proteínas de la leche y con ello favorecer la retención de humedad, dándole mayor firmeza a la estructura del queso. Wu *et al.* (2001) reportaron que la homogenización de leche



cruda tras la aplicación de US de intensidad alta (20 kHz) aumentó la capacidad de retención de agua. Esto debido a que la cavitación generada por el ultrasonido produce glóbulos de grasa más pequeños, por lo que aumenta la superficie total de las membranas de grasa y con ello la de nuevas moléculas de caseína que podrían ser hidrofílica. Es posible que el aumento del carácter hidrofílica de estas moléculas propicie la retención de agua de manera limitada, tal que no disminuya el grado de dureza. Sin embargo, es necesario estudiar cuáles son las estructuras proteicas que participan en este proceso, así como los mecanismos de acción de la interacción proteína-agua.

El parámetro de fracturabilidad de los quesos también fue evaluado. Este indicador del perfil de textura consiste en la fuerza requerida para fracturar la matriz del queso en una inflexión (Attaie, 2005). El análisis de los datos utilizando el modelo estadístico demostró que hubo diferencia significativa ($P < 0.05$) en el factor tiempo. Este análisis indicó que la fracturabilidad fue incrementándose conforme aumentaban los d de almacenamiento. Attaie (2005) reportó que el queso Jack elaborado con leche de cabra mostró un comportamiento similar en el periodo de 0-30 semanas. Asimismo, se observó que el día 6 de almacenamiento se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos. El queso elaborado con la leche ultrasonicada por 30 min a 63-65 °C presentó el menor valor de fracturabilidad (1.07 ± 0.25 N). De acuerdo con Attaie (2005) la conversión del queso Jack, elaborado con leche de cabra, de fresco a maduro está influenciada significativamente por la proteólisis que generan los cultivos iniciadores, principalmente. Sin embargo, existen otros factores como la lipólisis, producción de ácido durante la fermentación y la



temperatura de almacenamiento que también influyen en la textura de los quesos madurados.

En el presente estudio la proteólisis de los quesos frescos pudo llevarse a cabo por efecto de la cavitación generada durante la aplicación del ultrasonido de potencia alta a 63-65 °C, generando secuencias peptídicas más que grupos amino libres.

Los quesos frescos también fueron sometidos a la evaluación de la elasticidad. Los factores tratamiento y día fueron diferentes significativamente ($P < 0.05$) para este parámetro. En donde el tratamiento 1 fue diferente ($P < 0.05$) de los tratamientos 4 y 2, mientras que el tratamiento 3 no fue diferente de los anteriores ($P > 0.05$). La grasa en los quesos actúa como material de relleno en la matriz de proteína, otorgando, cuando está presente en alto porcentaje, mayor elasticidad y menor firmeza, mientras que cuando el porcentaje disminuye se obtienen quesos más duros y rígidos (Theophilou y Wilbey, 2007).

El análisis estadístico señaló que solo hubo diferencias significativas entre los tratamientos al día 3 de almacenamiento ($P > 0.05$). Cabe señalar que los resultados del porcentaje de grasa de los diferentes quesos no fue diferente significativamente ($P > 0.05$). Esto explica la escasa diferencia entre los tratamientos en este parámetro.

Por otro lado, se observó un incremento en la elasticidad a través del tiempo. De acuerdo con Lobato-Calleros *et al.* (2009) el aumento del parámetro de elasticidad del queso podría estar asociado a la elevada capacidad de las proteínas del lactosuero para relacionarse con la red proteica, lo que genera un conglomerado de la misma. Es importante traer a colación que la aplicación del



US favoreció la transferencia de masa y con ello el aumento en el porcentaje de proteínas, las cuales posiblemente fueron de origen sérico. Chen *et al.*, (1979) menciona que la elasticidad esta correlacionada principalmente con la proteína presente en el queso.

El análisis estadístico indicó que entre más prolongado sea el periodo de almacenamiento del queso, más energía se requiere para masticarlo, esto debido a que la dureza y la cohesión aumentan en la misma proporción. Por otro lado, los valores de masticabilidad fueron solamente diferentes estadísticamente ($P < 0.05$) hasta el día 6 de almacenamiento. El mayor valor de este parámetro se observó en el queso elaborado con leche cruda (17.6 ± 1.2). Estos resultados sugieren que el efecto del US, así como la temperatura pudieron haber modificado la red tridimensional formada por las proteínas y el agua, lo cual disminuyó los valores de masticabilidad.

No se encontró diferencia significativa en los resultados ($P > 0.05$) de los tratamientos en este parámetro. El análisis de los datos mediante el modelo estadístico indicó que los factores tratamiento y día no fueron diferentes significativamente ($P > 0.05$). En contraste con estos resultados (Zhao *et al*, 2014) menciona que el efecto del US afecta las propiedades reológicas y propiedades de textura de un queso.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación del US de potencia alta sobre la leche de cabra y posteriormente utilizada en la elaboración de queso fresco incrementó el contenido de proteína.

El análisis de perfil de textura mostró que a medida que aumenta el tiempo de maduración hasta el día 14, la dureza de los quesos frescos alcanza su mayor valor, debido a la mayor pérdida en la capacidad de retención de humedad. Posteriormente se presenta una caída en la dureza debido a los procesos microbiológicos y proteolíticos de degradación de proteína.

En la prueba de análisis de textura, el queso elaborado con el tratamiento 3 presentó mayor fuerza de compresión o dureza.

El tratamiento que permitió obtener quesos más suaves fue el elaborado con el de leche de cabra pasteurizada.

La masticabilidad presentó los mayores valores a los 6 y 10 d de maduración, lo cual es concordante con los valores obtenidos para el parámetro de dureza.

El esfuerzo de corte presentó un comportamiento similar a los parámetros de dureza y adhesividad, lo cual afirma que el tiempo ideal de maduración de los quesos frescos considerando los parámetros de perfil de textura se presenta a los 10 d de maduración.

El queso fresco elaborado con leche sin pasteurizar presentaron los valores más altos de la actividad antioxidante en la fracción de < 3 kDa.

Y para la fracción de < 5kDa los tratamientos con leche sin calentar y sin ultrasonicar así como el de leche calentada a 34-36 °C y ultrasonificada 30 min



contaron con los valores más altos.

El esfuerzo de corte presento un comportamiento similar a los parámetros de dureza y adhesividad, lo cual afirma que el tiempo ideal de maduración de los quesos frescos considerando los parámetros de perfil de textura se presenta a los 10 días de maduración.



LITERATURA CITADA

- Abadía-García, L., A. Cardador, S. T. Martín del Campo, S. M. Arvízu, E Castaño-Tostado, C. Regalado-González, B. García-Almendarez y S. L. Amaya-Llano. 2013. Influence of probiotic strains added to cottage cheese on generation of potentially antioxidant peptides, anti-listerial activity, and survival of probiotic microorganisms in simulated gastrointestinal conditions. *Int Dairy J.* 33:191-197.
- Abd El-Gawad, M. A. y N. S. Ahmed. 2011. Cheese yield as affected by some parameters Review. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 10: 131-153.
- Aguilera, J. M. 2000. Microstructure and food product engineering. *Food Technol.* 11:56-64.
- Almanza-Rubio, J. L., N. Gutiérrez-Méndez, N. Y. Leal-Ramos, D. Sepulveda e I. Salmeron. 2016. Modification of the textural and rheological properties of cream cheese using thermosonicated milk. *J. Food Eng.* 168:223-230.
- Alvarado, C. y M. Guerra. 2010. Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos. *Annales Venezolanas de Nutrición.* 23:42-49.
- Álvarez, S., V. Rodríguez, M. E. Ruiz y M. Fresno. 2007. Correlaciones de textura y color instrumental con la composición química de quesos de cabra canarios. *Arch. Zootec.* 56:663-666.
- Arnao, M. B. 2000. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: A practical case. *Trends in Food Sci. Technol.* 11:419-421.
- Arzeni, C., K. Martinez, P. Zema, A. Arias, O. E. Perez y A. M. R. Pilosof. 2012. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *J. Food Eng.* 108:463-472.
- Ashokkumar, M., D. Sunartio, S. E. Kentish, R. Mawson, L. Simons, K. Vilku y C. Versteeg. 2008. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 9:155-160.
- Ashokkumar, M., J. Lee, B. Zisu, R. Bhaskarcharya, M. Palmer y S. Kentish. 2009. Sonication increases the heat stability of whey proteins. *J. Dairy Sci.* 92:5353-5356.
- Ashokkumar, M., R. Bhaskaracharya, S. Kentish, J. Lee, M. Palmer y B. Zisu. 2010. The ultrasonic processing of dairy products. An overview. *Dairy Sci. Technol.* 90:147-168.
- Ashokkumar, M. 2011. The characterization of acoustic cavitation bubbles – An overview. *Ultrason. Sonochem.* 18:864-872.



- Attaie, R. 2005. Effects of aging on rheological and proteolytic properties of goat milk Jack Cheese produced according to cow milk procedures. *Small Rumin. Res.* 57:19-29.
- Awad, T. S., H. A. Moharram, O. E. Shaltout, D. Asker y M. M. Youssef. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Res. Int.* 48:410-427.
- Ay, C. y S. Gunasekaran. 2003. Numerical method for determining ultrasonic wave diffusivity through coagulating milk gelsystem. *J. Food Eng.* 58:103-110.
- Banks, J. M., J. L. Clapperton, D. D. Muir, y A. K. Girdler. 1986. The influence of diet and breed of cow on the efficiency of conversion of milk constituents to curd in cheese manufacture. *J. Sci. Food Agric.* 37:461-468.
- Benedito, J., J. A. Carcel, R. Gonzalez y A. Mulet. 2002. Applications of low intensity ultrasonics to cheese manufacturing processes. *Ultrasonics.* 40:19-23.
- Bermúdez-Aguirre, D., M. G. Corradini, R. Mawson, G. V. Barbosa-Cánovas. 2009. Modeling the inactivation of *Listeria innocua* in raw whole milk treated under thermo-sonication. *Innovative Food Scie and Emerging Technol.* 10:172–178
- Bermúdez-Aguirre, D. y G. V. Barbosa-Cánovas. 2010. Processing of soft hispanic cheese (“*Queso Fresco*”) using thermo-sonicated milk: A study of physicochemical characteristics and storage life. *J. Food Sci.* 75:548-558.
- Blitz, J. 1967. *Fundamentals of ultrasonics.* 2a ed. Editorial Butterworths & Co. London, England.
- Bourne, M. C. 2002. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement.* 2a Ed. Academic Press, New York. USA.
- Butz, P. y B. Tauscher. 2002. Emerging technologies: chemical aspects. *Food Res. Int.* 35:279-284.
- Cameron, M., L. D. McMaster y T. J. Britz. 2009. Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Sci. Technol.* 89:83-98.
- Chacón-Villalobos, A. y M. L. Pineda-Castro. 2009. Características químicas, físicas y sensoriales de un queso de cabra adaptado del tipo “Crottin de Chavignol”. *Agronomía Mesoamericana* 20:297-309.
- Chacón-Villalobos, A. 2004. Acidez y peso específico de la leche de cabra de un grupo de capricultores de la meseta central costarricense. *Agronomía Mesoamericana* 15:179-183.
- Chacón-Villalobos, A. 2003. *La elaboración del queso fresco y otros derivados lácteos: Guía básica artesanal y de la pequeña industria.* Editorial Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José.



- Chandrapala, J., B. Zisu, M. Palmer, S. Kentish y M. Ashokkumar. 2011. Effects of ultrasound on the thermal and structural characteristics of proteins in reconstituted whey protein concentrate. *Ultrason. Sonochem.* 18:951-957.
- Chandrapala, J. C., S. Oliver, S. Kentish, y M. Ashokkumar. 2012. Ultrasonics in food processing. *Ultrason. Sonochem.* 19. 975-983.
- Chemat, F., Z. E-Huma y M. Kamran Khan. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason. Sonochem.* 18:813-835.
- Chen A. H., J. W. Larking, C. J. Clark y W. E. Irwing. 1979. Textural analyses of cheese. *J. Dairy Sci.* 62:901-907.
- Chen, M. y B. Li. 2012. The effect of molecular weights on the survivability of casein-derived antioxidant peptides after the simulated gastrointestinal digestion. *Innov. Food Sci. Emerging Technol.* 16:341-348.
- Church, F. C., H. E. Swaisgood, D. H. Porter, L. G. L. Catignani. 1983. Spectrophotometric Assay Using *o*-Phthaldialdehyde for Determination of Proteolysis in Milk and Isolated Milk Proteins. *Journal of Dairy Science.*66:1219–1227
- Cian, R., P. Luuggren y S. Drago. 2011. Effect of extrusión processs on antioxidant and ACE inhibition properties from bovine haemoglobine concentrate hydrolysates incorporated into expanded maiza products. *International J. Food Sci. Nutri.* 62:774-780.
- Claeys, W. L., C. Verraes, S. Cardoen, J. De Block, A. Huyghebaert, K. Raes, K. Dewettinck, L. Herman. 2014. Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control.* 42:188-201.
- Corrales-Ureña, J. y A. Chacón-Villalobos. 2005. Estudio de opinión de consumidores sobre el queso fresco de cabra (*Capra hircus*) en Costa Rica. *Rev. Agr. Trop.* 35:39-49.
- Delgado, F. J., J. González-Crespo, R. Cava y R. Ramírez. 2012. Changes in microbiology, proteolysis, texture and sensory characteristics of raw goat milk cheeses treated by high-pressure at diferente stages of maturation. *LWF-Food Sci. Technol.* 48:268-275.
- Demirdöven, A. y T. Baysal. 2009. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Rev. Int.* 25:1-11.
- Demirhan, E. y Belma O" Zbek. 2009. A modeling study on hydrolysis of lactose recovered from whey and β -Galactosidase stability under sonic treatment. *Chem. Eng. Comm.* 196:767-787.
- Early, R. 2000. *Tecnología de los productos lácteos*. Editorial Acribia. 1a Ed. Zaragoza España.



- Feng, H., G. V. Barbosa-Cánovas, y Jochen Weiss. 2011. *Ultrasound Technologies for and Bioprocessing*. Food Engineering Series. Editorial Springer. New York. E.U.A.
- Fenelon M. A. y T. P. Guinee. 1999. The effect of milk fat on Cheddar cheese yield and its prediction, using modifications of the Van Slyke cheese yield formula. *J. Dairy Sci.* 82:2287-2299.
- Fernández-Álvarez, S. 2013. Estudio de la textura de tres quesos azules asturianos. Análisis instrumental y organoléptico. Tesis de Maestría. *Biología Alimentaria*. Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Flores-Córdova, M. A., R. Pérez Leal, M. Basurto-Sotelo y M. del R. Jurado-Guerra. 2009. La leche de cabra y su importancia en la nutrición. *Tecnociencia Chihuahua*. 3:107-113.
- Fox, P. F. y P. L. H. McSweeney. 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Editorial Blackie Academic and Profesional. Thomson Science, London, UK.
- Gao, S., Y. Hemar, G. D. Lewis y M. Ashokkumar. 2014. Inactivation of *Enterobacter aerogenes* in reconstituted skim milk by high- and low-frequency ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 30:1-8.
- Galina, M. A., F. Osnaya, H. M. Cuchillo y G. F. W. 2007. Cheese quality from milk of grazing or indoor fed Zebu cows and Alpine crossbred goats. *Small Ruminant Res.* 71:264-272.
- Guinee, T.P. 2002. The functionality of cheese as an ingredient: a review. *J. Dairy Technol.* 57 2: 79-91.
- Gil del Valle L. 2011. Oxidative stress in aging: theoretico outcomes and clinical evidences in humans. *Biomedicine and aging pathology.* 1:1-7.
- Guerra-Martínez, J. A., J. G. Montejano y S. T. Martín del Campo. 2012. Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico and its impact in texture. *CyTA-J. Food.* 10:296-305.
- Haenlein, G. F. W. 2004. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research* 51:155–163.
- Hleap, J. I. y V. A. Velasco. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp). *Facultad de Ciencias Agropecuarias.* 2:46-56.
- Huppertz, T., F. P. Fox, K. G. de Kruif y A. L. Kelly. 2006. High pressure-induced changes in bovine milk proteins: A review. *Biochimica et Biophysica Acta* 1764:593–598.



- Jiang, H., T. Tong, J. Sun, Y. Zu, Z. Zhao y D. Liao. 2014. Purification and characterization of antioxidative peptides from round scad (*Decapterus maruads*) muscle protein hydrolysate. *Food Chemistry*. 154:158-163.
- Juraga, E., B. S. Šalamon, Z. Herceg y A. R. Jambrak. 2011. Application of high intensity ultrasound treatment on *Enterobacteriae* count in milk. *Mljekarstvo Dairy*. 61:125-134.
- Kentish, S. y H. Feng. 2014. Applications of power ultrasound in food processing. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 5:14.1-14.22.
- Knorr, D., A. Froehling, H. Jaeger, K. Reineke, O. Schlueter y K. Schoessler. 2011. Emerging technologies in food processing. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2:203-235.
- Knorr, D., M. Zenker, V. Heinz y D. Lee. 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci. Tech.* 15:261-266.
- Kumar, R., S. Kentish y M. Ashokkumar. 2009. Selected applications of ultrasonics in food processing. *Food Eng. Rev.* 1:31-49.
- Kwiatkowska, B., J. Bennett, J. Akunna, G. M. Walker y D. H. Bremner. 2011. Stimulation of bioprocesses by ultrasound. *Biotech. Adv.* 29: 768-780.
- Lawrence, R. C. 1993. Processing conditions. In: *Factors affecting the yield of cheese*. Ed. D.B. Emmons. Inter. Dairy Feder. Brussels.
- Li, Z., Y. Yang, M. Ming y B. Liu. 2011. Mitochondrial ROS generation for regulation of autophagic pathways in cancer. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 414:5-8.
- Lobato-Calleros, C., I. Lozano-Castañeda y E. J. Vernon-Carter. 2009. Textura y microestructura de quesos tipo panela bajos en grasa y en colesterol: diferentes metodologías texture and microstructure of low-fat and low-cholesterol panela type cheeses: different methodologies. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 1: 39-48.
- Lobo, A., A. Patil, A. Phatak y N. Chandra. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*. 4:118-126.
- Lucey J. y J. Kelly. 1994. Cheese yield. *Int. J. Dairy Technol.* 47:1-14.
- Mason, T. J., L. Paniwnyk y J. P. Lorimer. 1996. The uses of ultrasound in food technology. *Ultrason. Sonochem.* 3:253-260.
- Mason, T. J. 2003. Sonochemistry and sonoprocessing: the link, the trends and probably the future. *Ultrasonics Sonochem.* 10:175-179.
- McClements, D. J. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci. Tech.* 6:293-300.



- McSweeney, P. L. H. 2004. Biochemistry of cheese ripening: *Int J of Dairy Technol.* 57:127-144.
- Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010. Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. En: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5160755&fecha=27/09/2010. Consultado 22 octubre 2015.
- Norma Oficial Mexicana NOM-F-513-1988. Alimentos. Determinación de proteínas en leche reconstituida. Método de kjeldahl-gunning. Foods. Determination of protein in reconstituted milk kjeldahl-gunning method. En: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-513> 1988. Consultado el día 2 de noviembre 2015.
- Norma Oficial Mexicana NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos. Food stuff determination of ashes. Normas mexicanas. Dirección general de normas. En: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF> Consultado el día 2 de noviembre 2015.
- PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-211-SSA1-2002 Productos y Servicios. Métodos de prueba fisicoquímicos. Determinación de humedad y sólidos totales en alimentos por secado en estufa. Determinación de arsénico, cadmio, cobre, cromo, estaño, hierro, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio y zinc en alimentos, agua y hielo aptos para consumo humano, bebidas y aditivos alimentarios por espectrofotometría de absorción atómica. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691912&fecha=14/08/2003
- Norma Oficial Mexicana NMX-F-387-1982. Alimentos. Leche fluida determinación de grasa butírica por el método de gerber. foods. fluid milk determination of butterfat by the gerber method. normas mexicanas. dirección general de normas. En: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/nmx-f-424-s-1982.pdf>. Consultado 22 octubre 2015.
- O'Donnell, B. K., P. Tiwarib, P. Bourkec y P. J. Cullen. 2010. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Sci & Technol.* 21:358-367.
- Oliszewski, R; A. Rabasa; J. L. Fernández; M. Poli y M. Núñez de Kairúz. 2002. Composición química y rendimiento quesero de la leche de cabra Criolla Serrana del noroeste argentino. *Zootecnia Tropical* 20:179-189.
- Paolo F., S. Andrea, F. Piero, M. Massimo y M. Primo, 2008. Cheese yield: Factors of variation and predictive formulas. A review focused particularly on grana type cheeses. *Ann. Fac. Med.Vet. Parma.* 28:211-232.



- Patist, A. y D. Bates. 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innov. Food Sci. Emerging Technol.* 9:147–154.
- Peláez-Puerto, P.; M. R. Fresno-Baquero; C. Díaz Romero y J. Darías Martín. 2003. Caracterización físico-química de quesos frescos elaborados con leche de cabra en la isla de Tenerife. *Ciencia y Tecnología Alimentaria.* 4: 103-108.
- Peleg, M. 1987. Physical measures of texture. In *Food Texture* (H.R. Moskowitz, Ed.) Pp. 1–95, Marcell Dekker, Inc., New York, Ny.
- Pereira, R. N. y A. A. Vicente. 2010. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Res. Int.* 43:1936-1943.
- Pingret, D., A. S. Fabiano-Tixier y F. Chemat. 2013. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food Control.* 31:593-606.
- Pihlanto, A. 2006. Antioxidative peptides derived from milk proteins. *Int Dairy J.* 16:1306-1314.
- Pinho, O., E. Mendes, M. M. Alves, I. Ferreira. 2004. Chemical, physical, and sensorial characteristics of “Terrincho” ewe cheese: Changes during ripening and intravarietal comparison. *J. Dairy Sci.* 87:249-257.
- Ramírez-López, C. y Vélez-Ruiz, J. F. 2012. Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas selectos de ingeniería de alimentos.* 6:131-148.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang y C. Rice-Evans. 1999. Actividad antioxidante y actividad mejorada de ABTS radical catión decoloración assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26:1231-1237.
- Renye, J. A., G. A. Somkuti, M. Paul, y D. L. Van Hekken. 2008. Characterization of antilisterial bacteriocins produced by *Enterococcus faecium* and *Enterococcus durans* isolates from Hispanic-style cheeses. *J. Ind Microbiol Biotechnol.* 36:261–268.
- Ribeiro, A. C., S. D. A. Ribeiro. 2010. Specialty products made from goat milk. *Small Ruminant Res.* 89: 225–233.
- Robles-Ozuna, L. E. y L. A. Ochoa-Martínez. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* 13:109-122.
- Rodríguez-Figueroa, J.C., A.F. González-Córdova, M.J. Torres-Llanaez, H. S. Garcia y B. Vallejo-Cordoba. 2012. Novel angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides produced in fermented milk by specific wild *Lactococcus lactis* strains. *J. Dairy Sci.* 95:5536-5543.



- Ryan, K. N., B. Vardhanabhuti, D. P. Jaramillo, J. H. Zanten, J. N. Coupland y E. A. Foegeding. 2012. Stability and mechanism of whey protein soluble aggregates thermally treated with salts. *Food Hydrocoll.* 27:411-420.
- Salles, C., N. Sommerer, C. Septier, S. Issanchou, C. Chabanet, A. Garem y J. L. Le Quéré. 2002. Goat cheese flavour: sensory evaluation of branched-chain fatty acids and small peptides. *J. Food Sci.* 67:835-841.
- Sánchez, E. S., S. Simal, A. Femenia, P. Llull y C. Rosselló. 2001. Proteolysis of Mahon cheese as affected by acoustic-assisted brining. *Eur. Food Res. Technol.* 212:147-152.
- Sarmadi, B. H. y A. Ismail. 2010. Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides.* 31:1949-1956.
- Shahidi, F. y Y. Zhong. 2010. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews.* 39:4067-4079.
- Shanmugam, A., J. Chandrapala y M. Ashokkumar. 2012. The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 16:251-258.
- Serafin, A. Z. 1999. Use of a vibration technique to monitor the textural properties of cheese. Tesis M.Sc. Faculty of Graduate Studies, University of Guelph. Ontario. 98 p.
- SIAP-SAGARPA. 2015a. Boletín de leche. En http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/boletinleche/Bolet%C3%ADn%20de%20Leche%20abril-junio_2015.pdf Consultado 26 de octubre de 2015.
- SIAP-SAGARPA. 2015b. Población ganadera. En <http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/caprino.pdf> Consultado 25 de octubre de 2015.
- Soares de Castro, R. J. y H. Harumi-Sato. 2014. Advantages of an acid protease from *Aspergillus oryzae* over commercial preparations for production of whey protein hydrolysates with antioxidant activities. *Biocatal Agric Biotechnol.* 3:58-65.
- Soria, A. C. y M. Villamiel. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 21:323-331.
- Szczesniak, A. S. 1963. Clasification of textural characteristics. *J. Food Sci.* 28:385-389.
- Szczesniak, A. S. 2002. Texture is a sensory property. *Food Qual. Prefer.* 13:215-225.
- Teniza, O. 2008. Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta para el reuso del mismo. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Tlaxcala, México.



- Theophilou, P., R. A. Wilbey. 2007. Effects of fat on the properties of Halloumi cheese. *Int. J. Dairy Technol.* 60:1-4.
- Torres-Llañez, M. J., B. Vallejo-Córdoba, M. E. Díaz-Cinco, M. A. Mazorra-Manzano y A. F. González-Córdova. 2006. Characterization of the natural microflora of artisanal Mexican Fresco cheese. *Food Control* 17: 683-690.
- Van Hekken, D. L., M. H. Tunick y Y. W. Park. 2004. Rheological and proteolytic properties of Monterrey Jack goat's milk cheese during aging. *J. Agri. Food Chem.* 52:5372-7377.
- Vargas-Aguilar, P., M. L. Pineda y A. Chacón. 2007. Lácteos bovinos y percepción de la leche caprina entre estudiantes de la Universidad de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 18:27-36.
- Walsh, C. D., T. P. Guinée, D. Harrington, R. Mehra, J. Murphy y R. J. Fitzgerald. 1998. Cheesemaking, compositional and functional characteristics of low-moisture part-skim Mozzarella cheese from bovine milks containing κ -casein AA, AB or BB genetic variants. *J. Dairy Res.* 65:307-315.
- Walstra, P., T. J. Geurts, A. Noomen, A. Jellema y M. A. J. S. Van Boekel. 1999. *Dairy Technology, principles of milk, properties and processes.* Editorial Marcel Dekker. New York, E.U.A.
- Wu, H., G. J. Hulbert y J. R. Mount. 2001. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 1: 211-218.
- Zhao, L., S. Zhang, H. Uluko, L. Liu, J. Lu, H. Xue, F. Kong y J. Lv. 2014. Effect of ultrasound pretreatment on rennet-induced coagulation properties of goats's milk. *Food Chemistry.* 165:167-174.