

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**



**EFFECTO DEL ULTRASONIDO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS,  
FUNCIONALES Y NUTRITIVAS DE UN AISLADO PROTEICO DE PASTA DE  
CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.)**

PRESENTA:

**Q. F. B. MINERVA MARISOL ZÚÑIGA SALCEDO**

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:  
**Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Agrícolas**

Tepic, Nayarit, Junio 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CEAP/099/17.

Xalisco, Nayarit, 27 de junio de 2017.

**M.C. JOSE ERNESTO VILLANUEVA TREJO**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**P R E S E N T E.**

Con base al oficio de fecha 21 de junio de 2017, enviado por los CC. Dr. José Armando Ulloa, Dr. Pedro Ulises Bautista Rosales, M.C. Petra Rosas Ulloa, Dr. José Carmen Ramírez Ramírez y M.C. Yessica Silva Carrillo, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza a la C. Minerva Marisol Zúñiga Salcedo, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Por lo Nuestro a lo Universal"  
  
Dr. J. Diego García Paredes  
Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente

6x6x6x

**DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES**  
**COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)**  
**P R E S E N T E**

Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: Efecto del ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutritivas de un aislado proteico de pasta de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), que presenta la **C. Minerva Marisol Zúñiga Salcedo** para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con opción terminal en Ciencias Agrícolas, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Armando Ulloa**  
Director

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Pedro Ulbes Bautista Rosales**  
Co-director

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Petra Rosas Ulloa**  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Carmen Ramírez Ramírez**  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Yessica Silva Carrillo**  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Jennifer Guzmán Leyva**  
Asesor

## DEDICATORIAS

Mi tesis la dedico:

Con todo mi amor a mis padres por haberme dado la vida, cuidarme, amarme y estar conmigo en cada etapa de mi vida. Gracias papá (que en paz descase) por haberme heredado el gusto por el estudio e inculcarme el valor de la preparación constante. Te fuiste cuando recién empezaba la maestría y hoy que concluye no estas físicamente presente, pero sé que en mi corazón siempre estarás y que te sientes muy orgulloso de mí. Gracias mamá por tu apoyo incondicional, tus consejos y regaños, por preocuparte por mí, por heredarme tu carácter y enseñarme a no quedarme callada cuando algo me molesta. Mamá y papá, este documento representa el fruto de su esfuerzo y el mío.

A mis hermanos Alberto, Miriam, Katia, Damaris y Jhassir. Hemos pasado por muchas cosas buenas y las hemos disfrutado juntos, pero también por cosas muy malas y las sobrellevamos unidos, apoyándonos siempre. Gracias por su cariño, su compañía y su respeto. Los amo.

A mi esposo por estos cinco años de estar juntos, gracias por estar a mi lado en los buenos momentos y en los más difíciles también, por tu comprensión, paciencia y apoyo incondicional durante la maestría. Te agradezco por llevarme y traerme de Mazatlán cuando hice mi estancia, sólo para asegurarte de que estuviera bien, imagino el gran esfuerzo que eso implicó, pero sobre todo gracias por todo tu amor. Te amo.

A mi ahijado Diguito, que amo tanto y estoy segura de que será muy inteligente y le gustará el estudio tanto como a mí. A mi abuela (que en paz descansa) que aunque no está para ver la culminación de esta etapa, sé que ella se alegraría mucho por mí.

A mis queridos amigos Yovis, Roberto, Carlos y Esmeralda por su amistad y cariño.

*Toda historia tiene un gran final, pero en la vida un final es el comienzo de algo NUEVO.*

*(Anónimo)*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por darme la oportunidad de vivir y permitirme concluir este sueño.

Al Dr. José Armando Ulloa. Mi director, por aceptarme y haber confiado en mí para la realización de este proyecto, por su dirección, enseñanzas y apoyo.

Al Dr. Pedro Ulises Bautista Rosales. Mi Co-director, por sus enseñanzas, sus sugerencias, sus clases, por creer en mí y por apoyarme en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

A la M. en C. Petra Rosas Ulloa. Por su amistad, compartir su experiencia conmigo, apoyarme y facilitar la realización de experimentos en el laboratorio de análisis proximal, por la amena convivencia y por confiar en mis capacidades.

Al Dr. José Carmen Ramírez Ramírez. Gracias por creer en mí, sus excelentes clases, su apoyo, su paciencia, las experiencias compartidas, su amistad y por escucharme cuando fue necesario.

A la M. en C. Yessica Silva Carrillo. Por su atinada revisión a largo del presente estudio. Por haber facilitado el contacto con la Dra. Crisantema y de esa manera poder seguir con el proyecto.

Al Dr. Ranferi Gutiérrez Leyva. Por sus atinadas observaciones durante el desarrollo del proyecto, sus comentarios y sugerencias que enriquecieron la presente tesis.

Al Dr. Liborio González Torres. Por apoyarme y facilitarme el extractor sólido-líquido.

A mis compañeros de laboratorio Juan, Polo, Eddy, Chayito, Naty, Anahi y Thalia por apoyarme durante la realización del proyecto, por su compañía y amistad.

A la Dra. Crisantema por haberme recibido en su laboratorio, facilitado los equipos necesarios y sus consejos. A la técnico Paty por su valiosa ayuda en la realización de los experimentos, por su guía, tiempo y enseñanzas. Ambas laboran en el CIAD de Mazatlán.

El proyecto de investigación se realizó en el **Centro de Tecnología de Alimentos** perteneciente a la **Secretaría de Investigación y Posgrado** de la **Universidad Autónoma de Nayarit**, bajo la dirección del **Dr. José Armado Ulloa**.

Durante el desarrollo del proyecto, se contó con el apoyo financiero del **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS.....	2
3. OBJETIVOS.....	2
3.1 Objetivo general.....	2
3.2 Objetivos particulares.....	2
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
4.1 Origen del cártamo e historia en México.....	3
4.2 El cultivo del cártamo en México.....	4
4.3 Morfología del cártamo.....	4
4.4 Producción de la semilla de cártamo.....	6
4.4.1 Producción mundial.....	6
4.4.2 Producción nacional.....	7
4.5 Usos del cártamo.....	8
4.6 Aislados proteicos.....	9
4.7 Ultrasonido aplicado a proteínas.....	11
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1 Obtención del aislado proteico.....	14
5.2 Tratamiento con ultrasonido.....	14
5.3 Propiedades fisicoquímicas.....	14
5.3.1 Análisis proximal.....	14
5.3.2 Densidad aparente.....	14
5.3.3 Actividad de agua.....	15
5.3.4 Análisis de color.....	15
5.3.5 Microscopía electrónica de barrido.....	15
5.4 Propiedades funcionales.....	15
5.4.1 Solubilidad proteica.....	15

5.4.2 Capacidad de absorción de agua.....	16
5.4.3 Capacidad de absorción de aceite.....	16
5.4.4 Actividad emulsionante y estabilidad de la emulsión.....	16
5.4.5 Concentración mínima gelificante.....	17
5.4.6 Capacidad espumante y estabilidad de la espuma.....	17
5.5 Propiedades nutritivas.....	18
5.5.1 Perfil de aminoácidos del APPC.....	18
5.5.2 Calidad nutritiva del APPC.....	18
5.6 Análisis estadístico.....	19
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>20</b>
6.1 Propiedades fisicoquímicas.....	20
6.1.1 Composición proximal.....	20
6.1.2 Densidad aparente.....	21
6.1.3 Actividad de agua.....	22
6.1.4 Color del APPC.....	22
6.1.5 Microscopía electrónica de barrido.....	23
6.2 Propiedades funcionales.....	24
6.2.1 Solubilidad proteica.....	24
6.2.2 Capacidad de absorción de agua.....	26
6.2.3 Capacidad de absorción de aceite.....	27
6.2.4 Actividad emulsionante y estabilidad de la emulsión.....	28
6.2.5 Concentración mínima gelificante.....	29
6.2.6 Capacidad espumante y estabilidad de la espuma.....	30
6.3 Perfil de aminoácidos y propiedades nutritivas del APPC.....	32
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación taxonómica del cártamo.....	5
Tabla 2	Principales países productores de semilla de cártamo en el año 2014.....	7
Tabla 3	Producción de cártamo en México de 2010 a 2014.....	7
Tabla 4	Principales estados productores de cártamo en México en el 2014.....	8
Tabla 5	Condiciones de aplicación del ultrasonido en el aislado proteico de pasta de cártamo.....	14
Tabla 6	Propiedades fisicoquímicas del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.....	21
Tabla 7	Color del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.....	23
Tabla 8	Capacidad de absorción de agua y aceite del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.....	28
Tabla 9	Composición de aminoácidos y calidad nutritiva del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.....	34
Tabla 10	Calidad nutritiva de proteínas de productos de cártamo.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Características del cártamo. Planta habitual (1), rama floreciente (2), detalle de la cabeza (3), parte inferior de la flor (4), parte superior de la flor abierta (5) y semilla (6).....	5
Figura 2	Planta de cártamo (A), cabezas florales (B) y semillas (C).....	6
Figura 3	Cavitación ultrasónica.....	12
Figura 4	Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido (0 min = A, 15 min = B, 30 min = C) sobre la microestructura del aislado proteico de pasta de cártamo.....	24
Figura 5	Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la solubilidad proteica del aislado proteico de pasta de cártamo.....	26
Figura 6	Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la actividad emulsionante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE) del aislado proteico de pasta de cártamo....	29
Figura 7	Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y pH sobre la concentración mínima gelificante (CMG) del aislado proteico de pasta de cártamo.....	30
Figura 8	Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la capacidad (CE) y estabilidad de la espuma (EEs) del aislado proteico de pasta de cártamo.....	31

## 1. INTRODUCCIÓN

En el proceso productivo de los alimentos, además del producto deseado, se generan subproductos, los cuales podrían servir para consumo humano o animal. Sin embargo, la mayoría de las industrias ubican estos subproductos junto con la basura en rellenos sanitarios, provocando problemas tanto ambientales como económicos, donde tienen que asumir los costos por disposición de estos (Yepes *et al.*, 2008).

La mayoría de los subproductos de la agroindustria son ricos en fibra dietética, algunos tienen una cantidad apreciable de colorantes y compuestos antioxidantes, mientras que otros, como las harinas de semillas oleaginosas, son ricas en proteínas (Oreopoulou y Tzia, 2007).

La industria alimentaria se encuentra en la búsqueda de fuentes alternativas de proteína que puedan competir con las que dominan el mercado (Lu *et al.*, 2004). Los subproductos de oleaginosas como la soya, ajonjolí y cártamo juegan un papel importante en este sentido, es por ello que se ha profundizado en su estudio (Bustos-Ramírez y Rojas-Rojas, 2010).

En los últimos años se ha considerado a la semilla de cártamo como un prometedor cultivo de oleaginosa, debido a su comportamiento agronómico y a las propiedades de su aceite. Sin embargo, para que el cultivo sea rentable, es importante el estudio de la fracción proteica (Sagiroglu *et al.*, 2009), a partir de la cual sería posible la obtención de aislados proteicos como método de preparación para consumo humano y a la vez evaluar su calidad para saber la aplicación más apropiada, ya sea de carácter nutricional o funcional (Ulloa *et al.*, 2011).

Por otro lado, diversos tratamientos físicos, químicos y enzimáticos han sido utilizados para modificar la estructura de las proteínas y con ello diversificar sus aplicaciones, destacando dentro de estos la energía de ultrasonido (Yin *et al.*, 2007).

Sin embargo el control de las condiciones de tratamiento de ultrasonidos es crucial y se deben realizar estudios para investigar el impacto de estos cambios en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutritivas de cada tipo de proteína.

## **2. HIPÓTESIS**

El ultrasonido mejora las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutritivas de un aislado proteico de pasta de cártamo (APPC).

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto del ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutritivas de un APPC.

### **3.2 Objetivos particulares**

- a) Exponer el APPC a diferentes tiempos de ultrasonido.
- b) Determinar la composición proximal y características fisicoquímicas del APPC expuesto a diferentes tiempos de ultrasonido.
- c) Evaluar las propiedades funcionales del APPC expuesto a diferentes tiempos de ultrasonido.
- d) Determinar el perfil de aminoácidos, calcular la calificación química y la relación de eficiencia proteica del APPC expuesto a diferentes tiempos de ultrasonido.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Origen del cártamo e historia en México

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) es una planta perteneciente a la familia de los cardos. Es conocida también como alazor, azafrán bastardo, azafrancillo, azafrán romí, kusum, honghua y safflower. El nombre del género *Carthamus* en Árabe se refiere al color rojizo del colorante vegetal que se usaba en alimentos o para colorear telas y otros objetos, y el de la especie *tinctorius* se refiere a teñir o colorear (Montoya-Coronado, 2010).

Etiopía junto con la India son consideradas como los centros de origen de esta oleaginosa, aunque algunas otras investigaciones se inclinan por la zona este de Turquía como el origen; además se considera como uno de los cultivos más antiguos, ya que su semilla se ha encontrado en tumbas de Egipto de más de 4,000 años de antigüedad y su uso fue reportado en China hace aproximadamente 2,200 años. Tradicionalmente era cultivado por sus flores, que eran destinadas a la industria del colorante (amarillo y rojo) para teñir telas y colorear alimentos, mientras que la semilla y plantas tiernas se utilizaban para la alimentación del ganado. Llegó a nuestro continente en el año de 1898, cuando se introdujeron algunas variedades a EUA, y no fue sino hasta el año de 1925 cuando se distribuyó a algunos campos experimentales a fin de observar su comportamiento y adaptabilidad, para posteriormente extenderse a todo el continente Americano (ASERCA, 1994, 2003; Montoya-Coronado, 2010; SAGARPA, 2015).

En México, se cultivó por primera vez en 1905 en San José de Parangueso del Valle de Santiago, Guanajuato. En el año de 1948 se iniciaron las pruebas de adaptación por parte de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) encontrando buenas condiciones ecológicas para su desarrollo en los estados de Morelos, Guanajuato y Jalisco. En el ciclo agrícola 1956-1957, en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO), ubicado en el Valle del Yaqui, Sonora, México, se iniciaron los trabajos sobre fechas de siembra, densidades y formación de variedades. Estos mismos trabajos también se iniciaron en el estado de Sinaloa, México, de tal manera que 1960 se puede considerar como el año en que se inició su cultivo a nivel comercial en el noroeste de México y el año de inicio de los primeros trabajos de investigación en la región del Bajío y Tamaulipas (Montoya-Coronado, 2010).

#### **4.2 El cultivo del cártamo en México**

Las oleaginosas constituyen una buena alternativa de cultivos durante el ciclo de otoño-invierno. En México, el cártamo ha sido uno de los cultivos más ampliamente sembrados. Esta oleaginosa presenta un contenido de aceite de 37 a 41%, el cual, dependiendo del tipo de variedad puede contar con 75% de ácido oleico y 12% de linoleico o 75% de ácido linoleico y 12% de oleico. Esta última característica lo coloca como uno de los mejores aceites para el consumo humano. Ambos ácidos grasos reducen los niveles de colesterol en la sangre, lo que evita en cierta medida los problemas cardiovasculares (Montoya-Coronado, 2010; SAGARPA, 2015).

El cártamo es una especie vegetal que se adapta a regiones de baja precipitación pluvial y baja humedad relativa. La planta del cártamo crece en suelos poco fértiles, en diferentes climas y necesita poca agua, por lo que es una especie altamente adaptada a condiciones de aridez. Con este cultivo se obtienen producciones de alrededor de cuatro toneladas por hectárea, y esta propiedad aunada a los bajos costos de producción, lo hacen económicamente muy aceptable por los productores (Montoya-Coronado, 2010; SAGARPA, 2015).

#### **4.3 Morfología de cártamo**

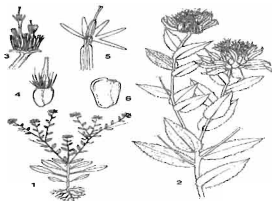
El cártamo es una oleaginosa de cultivo anual que pertenece a la familia de las *Asteraceae* (Tabla 1). Es una planta erecta y ramificada, cuyas características se puede observar en la Figura 1 (López, 1989). Las ramificaciones producen de una a cinco cabezas florales de 2 a 4 cm de diámetro, cada una de las cuales tiene entre 15 y 30 semillas, que permanecen protegidas incluso cuando alcanzan la madurez, evitando problemas de desgrane y retrasando el ataque de los pájaros. Las flores generalmente son de color amarillo brillante, anaranjadas o rojas (Figura 2). La planta puede alcanzar de 40 a 150 cm de altura y produce espigas que dificultan el caminar por las parcelas (SIAP, 2016).

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del cártamo.

Reino	Vegetal
División	<i>Tracheophyta</i>
Sub-división	<i>Pteropsidae</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>
Sub-clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Familia	<i>Compositae</i> o <i>Asteraceae</i>
Sub-familia	<i>Carduceae/tubiflora</i>
Tribu	<i>Cynereae</i>
Género	<i>Carthamus</i>
Especie	<i>Tinctorius</i>
Sub-especie	<i>Inermis</i> (sin espinas), <i>typicus</i> (con espina)

López (1989).

El producto del cártamo es la semilla y presenta una cubierta fibrosa y dura que protege al grano formado por dos cotiledones y un embrión. El color de la semilla generalmente va de cremoso a blanco; sin embargo, en algunas variedades puede tener tonalidad gris y café. La semilla de cártamo es por sí misma estable y segura para almacenarse por largos periodos de tiempo (Montoya-Coronado, 2010).



**Figura 1.** Características del cártamo. Planta habitual (1), rama floreciente (2), detalle de la cabeza (3), parte inferior de la flor (4), parte superior de la flor abierta (5) y semilla (6).

La semilla de cártamo entera contiene de 35 a 40% de aceite y de 18 a 24% de proteína; después de la extracción de aceite, el contenido de proteína en el subproducto llamado pasta alcanza hasta un 50%. Las semillas de las variedades de cártamo utilizadas a nivel mundial cuentan con una relación de 60% de almendra y 40% de cáscara (Sagiroglu *et al.*, 2009; Montoya-Coronado, 2010).



Figura 2. Planta de cártamo (A), cabezas florales (B) y semillas (C).

#### 4.4 Producción de la semilla de cártamo

##### 4.4.1 Producción mundial

La semilla de cártamo se produce en más de 20 países. En el 2014, la producción mundial alcanzó las 733,852 ton. México, Kazajistán, India y EUA son los principales productores con el 66.43% del total de la producción mundial (Tabla 2). México se ubica en el primer lugar con 144,411 ton (FAOSTAT, 2014).



**Tabla 2.** Principales países productores de semilla de cártamo en el año 2014.

<b>País</b>	<b>Producción (ton)</b>	<b>Participación (%)</b>
México	144 411	19.7
Kazakstán	135 430	18.4
India	113 000	15.4
EUA	94 640	12.9
Federación de Rusia	81 747	11.2
Turquía	62 000	8.4
China	32 160	4.4
Uzbekistán	21 397	2.9
<b>Subtotal</b>	<b>684 785</b>	<b>93.3</b>
Otros	49 067	6.7
<b>Total</b>	<b>733 852</b>	<b>100</b>

FAOSTAT (2014).

#### 4.4.2 Producción nacional

La producción de cártamo en México presentó altibajos durante los años 2010 a 2014 (Tabla 3), alcanzando la máxima producción en el año 2012 y la mínima en el 2013 (SIAP, 2010-2014).

**Tabla 3.** Producción de cártamo en México de 2010 a 2014.

<b>Concepto</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Producción (ton)</b>	97,078.21	130,922.49	257,450.65	91,788.10	144,411.81
<b>Valor de producción (miles de pesos)</b>	421,701.65	732,179.59	1,558,163.72	518,849.00	770,265.26

SIAP (2010-2014).

Los principales estados productores de cártamo en el 2014 fueron Sonora, Jalisco, Tamaulipas, Sinaloa, Michoacán, Baja California Sur, San Luis Potosi, Baja California, Veracruz y Chihuahua (Tabla 4) con un total de 144,411.81 ton (SIAP, 2014).

**Tabla 4.** Principales estados productores de cártamo en México en el 2014.

Estado	Superficie cosechada (Ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/Ha)	Valor de producción (miles de pesos)
Sonora	35,062.00	76,932.03	2.19	445,185.91
Jalisco	7,809.77	20,867.48	2.67	101,106.92
Tamaulipas	38,954.92	19,305.38	0.50	97,153.01
Sinaloa	23,530.76	16,232.93	0.69	64,418.65
Michoacán	3,182.00	4,773.00	1.50	28,160.70
Baja California Sur	2,187.70	2,625.24	1.20	15,089.33
San Luis Potosí	2,701.00	2,194.20	0.81	11,220.58
Baja California	565.50	1,039.55	1.84	5,967.77
Veracruz	460.00	322.00	0.70	1,674.40
Chihuahua	120.00	120.00	1.00	288.00
<b>Total</b>	<b>114,573.65</b>	<b>144,411.81</b>	<b>1.26</b>	<b>770,265.26</b>

SIAP (2014).

Actualmente, en México, la demanda de aceites para consumo humano aumenta cada año, situación que hace necesaria la producción de oleaginosas en nuestro país donde el cártamo representa una de las mejores alternativas (Montoya-Coronado, 2010).

#### 4.5 Usos del cártamo

Originalmente el uso de la planta de cártamo estaba destinado a la coloración de ropa y alimentos, utilizando principalmente la flor, la cual está constituida primordialmente por ácido cartamínico e inocartamina, además, la planta tierna y semillas se utilizaban para alimentar ganado pero actualmente su mayor importancia es por el contenido de aceite en la semilla. La calidad del aceite de cártamo estriba en los altos porcentajes de ácidos grasos oleico y linoleico presentes. Comercialmente existen variedades con alto contenido de ácido linoleico que se utilizan para el consumo humano y en la industria en la elaboración de jabón y como agente secante que evita que se tornen amarillas las pinturas y barnices. Otras variedades sobresalen por el ácido oleico, las cuales se utilizan en la producción de aceites para aderezos en ensaladas

y frituras, así como para cubrir diversos productos comestibles para evitar la absorción y/o pérdida de humedad. También es usado en la elaboración de cosméticos porque no es alergénico, en medicamentos y en la formulación de alimentos de infantes. El aceite se obtiene de las semillas de la planta y debe ser extraído en frío y de primera presión (sin refinar) para que mantenga sus extraordinarias propiedades. Después de obtener el aceite de cártamo, queda un subproducto o residuo natural que se llama pasta, la cual es alta en proteína y fibra, y es utilizada como suplemento proteico en la alimentación de ganado y aves (CNSPO, 2006; Montoya-Coronado, 2010).

Sin embargo, además de su aceite y para que el cultivo sea rentable, es necesario el estudio de otros componentes principales de la semilla, tales como la fracción de proteína, lo cual sería de gran importancia (Sagiroglu *et al.*, 2009).

La fracción rica en proteínas no es apta para el consumo humano debido a la presencia de glucósidos, los cuales son los responsables del sabor amargo y la actividad catártica. Así, la extracción y elaboración de un aislado proteico de la pasta de cártamo es un método de preparación para el consumo humano (Ulloa *et al.*, 2011).

#### **4.6 Aislados proteicos**

El proceso de producción de un aislado proteico consiste básicamente en una purificación de la proteína de la fuente hasta lograr un valor del 90%, tratando idealmente que sus propiedades funcionales y/o nutricionales no se modifiquen ni se pierdan. El proceso de obtención de un aislado proteico implica una serie de tratamientos que, aprovechando las propiedades fisicoquímicas de los solventes de extracción y de las proteínas (polaridad, fuerza iónica, solubilidad, pH isoeléctrico), permiten su separación. Para conseguir dicho propósito, las tres grandes etapas que conforman el proceso de producción de un aislado proteico son: (1) la extracción de proteínas, (2) su purificación y (3) la deshidratación del extracto purificado (Ulloa *et al.*, 2012).

En la etapa de extracción los factores que intervienen son: la proporción entre solvente (generalmente agua) y la fuente de proteína, la temperatura y tiempo de extracción (con

agitación) y el pH del medio (Achouri *et al.*, 2012). Después de haber realizado la extracción de la proteína, la mezcla se centrifuga para separar y obtener propiamente el extracto y desechar el residuo que es una pasta agotada, la cual idealmente contiene una mínima cantidad de proteína (Horax *et al.*, 2011).

La segunda etapa es la purificación de proteínas. Para ello se pueden aplicar tres procedimientos, de los cuales dos son de tipo fisicoquímico (precipitación isoelectrica y precipitación por salado) y el otro de tipo físico (ultrafiltración), todos ellos derivados de la manipulación de las propiedades de las proteínas (Boye *et al.*, 2010). La ultrafiltración, como método para la purificación física de las proteínas, se realiza exponiendo los extractos proteicos sobre una membrana selectiva cuyos poros son capaces de retener las proteínas y permitir el paso de solutos de bajo peso molecular y agua, a través del sistema de ultrafiltración, generándose dos corrientes: el retenido que es el extracto purificado de proteínas y el permeado que está constituido por agua y solutos de bajo peso molecular (Ulloa *et al.*, 2012).

En la tercera etapa, para obtener un aislado proteico en forma de polvo, a los extractos purificados obtenidos se les debe eliminar la mayor cantidad de agua posible. El método utilizado para ello generalmente es la deshidratación, la cual puede ser de dos tipos: liofilización o secado por aspersión. La liofilización es un proceso en el que se congela el producto y posteriormente se introduce a una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación (eliminación de agua desde el estado sólido al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido). La liofilización es una técnica bastante costosa y lenta si se le compara con otros métodos de secado, pero genera productos de mayor calidad ya que al no emplear calor evita las pérdidas nutricionales, sensoriales y funcionales (Ulloa *et al.*, 2012).

El uso de proteínas en la industria alimentaria está determinado por sus propiedades bioquímicas y funcionales (Sagiroglu *et al.*, 2009). En el caso particular de los aislados proteicos es sumamente importante evaluar su calidad para saber su aplicación más apropiada, ya sea de carácter nutricional o bien de tipo funcional (Ulloa *et al.*, 2012).

#### 4.7 Ultrasonido aplicado a proteínas

Diversos tratamientos físicos, químicos y enzimáticos han sido ampliamente utilizados para modificar la estructura de las proteínas y con ello mejorar su calidad y diversificar sus usos, destacando dentro de esos la hidrólisis enzimática controlada y la aplicación del ultrasonido (Yin *et al.*, 2007).

El ultrasonido, el cual se basa en ondas mecánicas a una frecuencia por encima de lo que el oído humano puede percibir (>18kHz), es considerado un pretratamiento no térmico para la modificación de ingredientes alimenticios que ha atraído cada vez más la atención de la ciencia y tecnología alimentaria, a causa de su carácter prometedor en el desarrollo de procesos novedosos, suaves pero a la vez dirigidos a mejorar la calidad y seguridad de los alimentos procesados (Jambrak *et al.*, 2009; Dujmic' *et al.*, 2013).

De manera general, la aplicación de la energía de ultrasonido en el campo de los alimentos podría resumirse en dos grandes áreas: a) análisis y control de calidad, y b) procesamiento, conservación e inocuidad (Ulloa *et al.*, 2013). A su vez, la aplicación del ultrasonido en alimentos depende del rango de frecuencia del mismo, por lo que puede clasificarse en dos categorías: ultrasonido de baja intensidad (alta frecuencia – baja potencia) y alta intensidad (baja frecuencia – alta potencia). El ultrasonido de baja intensidad usa niveles bajos de potencia, por debajo de  $1 \text{ W.cm}^{-2}$ , con un rango de frecuencia de 100 kHz-1 MHz (Hu *et al.*, 2013), el cual puede utilizarse, entre otras cosas, para la detección de adulteración de miel y la evaluación del estado de agregación, tamaño y tipo de proteína (Ulloa *et al.*, 2013). El ultrasonido de alta intensidad utiliza niveles mayores de potencia, típicamente en el rango de 10-1000  $\text{W.cm}^{-2}$ , con una frecuencia de 20-100 KHz (Jambrak *et al.*, 2009), las cuales inducen efectos en las propiedades físicas y/o químicas-bioquímicas de los alimentos. Esos efectos son prometedores en el procesamiento, conservación e inocuidad de alimentos. Esta tecnología emergente se ha utilizado como una alternativa a las operaciones convencionales de procesamiento de alimentos para controlar la microestructura y modificar las características texturales de productos grasos (sonocristalización), emulsificación, eliminación de espumas, modificación de las propiedades funcionales de las proteínas, inactivación o aceleración de actividad enzimática para mejorar la vida de anaquel y calidad de productos alimenticios, inactivación microbiana, congelación,

descongelación, secado y mejoramiento de la extracción de componentes bioactivos de los alimentos (Ulloa *et al.*, 2013).

El uso del ultrasonido de baja frecuencia y alta intensidad en la industria alimentaria ha sido explorado por más de 10 años (Jambrak *et al.*, 2014), teniendo un inmenso potencial para una amplia variedad de aplicaciones. El efecto del ultrasonido está relacionado con el calentamiento, la agitación dinámica, la turbulencia y la cavitación que, es la generación cíclica y colapso de burbujas o cavidades (Figura 3), (O'Donnell *et al.*, 2010).

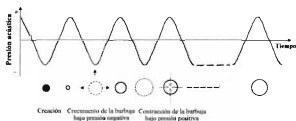


Figura 3. Cavitación ultrasónica (Ulloa *et al.*, 2013).

El aumento de la presión y la temperatura en la vecindad de estas cavidades es la base para los efectos físicos y químicos observados. El colapso rápido de la burbuja produce fuerzas de cizallamiento en el líquido circundante y estas fuerzas son lo suficientemente fuertes como para romper los enlaces covalentes en materiales poliméricos que se disuelven en la fase de volumen (Guzey *et al.*, 2006), generar péptidos de bajo peso molecular (Jambrak *et al.*, 2010) y fragmentar grandes agregados en partículas más pequeñas que alteran las propiedades funcionales de las proteínas. Los parámetros que son esenciales para causar cambios en las propiedades funcionales de las proteínas sonicadas parecen ser la intensidad de las ondas ultrasónicas, el tiempo de tratamiento ultrasónico y las condiciones en las que se realiza el pretratamiento (pH, temperatura y fuerza iónica de la solución) (Gulseren *et al.*, 2007).

Diversos estudios han encontrado que el ultrasonido de alta intensidad altera las propiedades fisicoquímicas resultando en mejores propiedades funcionales de los productos proteicos. Jambak *et al.* (2008), estudiaron el efecto del ultrasonido de alta frecuencia (500 kHz) y el ultrasonido de baja frecuencia (sonda de 20 kHz y baño de 40 kHz), sobre las propiedades de solubilidad, emulsión y espumado del aislado de proteína de suero de leche, concentrado de proteína de suero y suero hidrolizado de proteína. Observaron que la solubilidad aumentó significativamente para todas las muestras tanto para la sonda a 20 kHz y el baño a 40 kHz y 500 kHz, excepto para el concentrado de proteína de suero de leche. Tang *et al.* (2009), demostraron que el ultrasonido de alta intensidad aumentó la solubilidad proteica y la propiedad gelificante de un aislado proteico de soya comercial. Además, Chen *et al.* (2011), informaron que el pretratamiento con ultrasonido de alta intensidad aumentó las propiedades emulsionantes de los hidrolizados de un aislado proteico de soya. Por otra parte, Hu *et al.* (2013), mostraron que el ultrasonido de alta intensidad cambia las propiedades estructurales, fisicoquímicas y funcionales de un aislado proteico de soya.

El control de las condiciones de tratamiento con ultrasonidos pueden dar lugar a aislados proteicos con diferentes características estructurales y se deben realizar estudios para investigar el impacto de estos cambios en las propiedades de cada aislado proteico.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Obtención del aislado proteico

Se empleó un aislado proteico obtenido a partir de pasta de cártamo elaborado de acuerdo a la metodología reportada por Ulloa *et al.* (2011).

### 5.2 Tratamiento con ultrasonido

Los tratamientos con ultrasonido (US) se aplicaron de acuerdo al método descrito por Jambak *et al.* (2014), con algunas modificaciones. Se prepararon soluciones (800 ml) del APPC con agua destilada (10%, p/v) y se agitaron durante 15 min. Los tratamientos de US se aplicaron mediante un baño ultrasónico marca Branson, Modelo MTH-3510 que opera a una potencia de 130 W y una frecuencia de 42 kHz (capacidad de 5 L, densidad de energía acústica de 0.02 W/cm<sup>3</sup>) a temperatura ambiente por tiempos de 0, 15 y 30 min. Posteriormente, las muestras fueron deshidratadas en un liofilizador FreeZone con capacidad de 1 Litro (Labconco, USA) y al término almacenadas a temperatura ambiente en recipientes herméticos. En la Tabla 5 se muestran las condiciones de cada tratamiento.

Tabla 5. Condiciones de aplicación del ultrasonido en el aislado proteico de pasta de cártamo.

Condición	Tratamientos		
Potencia/Frecuencia	130W/42kHz	130W/42kHz	130W/42kHz
Tiempo de ultrasonido	0 min	15 min	30 min

### 5.3 Propiedades fisicoquímicas

#### 5.3.1 Análisis proximal

Los contenidos de humedad, proteína cruda (N x 6.25) y cenizas fueron determinadas por triplicado de acuerdo a los métodos de la AOAC (1995).

#### 5.3.2 Densidad aparente

Se determinó por triplicado usando el método descrito por Piornos *et al.* (2015). Se colocó la muestra del APPC (5 g) en una probeta graduada y se le dio pequeños golpes hasta que el



volumen de la muestra fue constante. La densidad aparente se calculó como el peso del APPC dividido entre el volumen final de la muestra y expresado en g/ml.

### 5.3.3 Actividad de agua

Se determinó por triplicado utilizando un medidor de actividad de agua AquaLab 4TEV (Decagon Devices Inc., Pullman, USA), el cual utiliza tanto un sensor de punto de rocío de espejo enfriado como un sensor de capacitancia para medir sustancias no volátiles y volátiles, respectivamente.

### 5.3.4 Análisis de color

Fue determinado por triplicado de acuerdo al método de la AOAC (1995) con un colorímetro CR-400 (Konica Minolta Sensing, inc., Tokio, Japón). Los valores medidos fueron expresados de acuerdo a la escala de color CIELAB, donde  $L^*$ =luminosidad,  $+a^*$ =rojo,  $-a^*$ =verde,  $+b^*$ =amarillo y  $-b^*$ =azul. Los valores  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ , del blanco estándar utilizado como referencia fueron 94.44, -0.23 y 3.89, respectivamente. La diferencia total de color ( $\Delta E$ ) fue calculada con la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = [(L_i^* - L^*)^2 + (a_i^* - a^*)^2 + (b_i^* - b^*)^2]^{1/2} \quad [1]$$

### 5.3.5 Microscopía electrónica de barrido

La morfología microscópica de los APPC liofilizados se observó con un microscopio electrónico de barrido (SEM) (SEC, Mini-SEM SNE-3200M, Corea del Sur) a un voltaje de aceleración de 20 kV. Antes de usar el SEM, las muestras se recubrieron con una capa de oro utilizando un dispositivo de recubrimiento por pulverización catódica de iones (MCM-100, SEC). Las imágenes de SEM fueron tomadas a 550 x de magnificación.

## 5.4 Propiedades funcionales

### 5.4.1 Solubilidad proteica

El método descrito por Piornos *et al.* (2015), con modificaciones, fue empleado para determinar la solubilidad proteica de los APPC en función del pH. Las muestras de proteína (100 mg) se dispersaron en 10 ml de agua destilada y el pH de las soluciones se ajustó de 2-10, usando NaOH

(1 N) o HCl (1 N). Las suspensiones se mezclaron durante 30 min a 24 °C usando un agitador magnético. Después se centrifugaron a 10,000 x g durante 10 min. El contenido de nitrógeno de los sobrenadantes se determinó por Kjeldahl. La solubilidad se calculó como porcentaje de proteína bruta (N total x 6.25) presente en el sobrenadante.

#### 5.4.2 Capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua (CAA) se realizó siguiendo el método descrito por Ulloa *et al.* (2011), con algunas modificaciones. Primero, se colocaron 0.5 g de APPC en un tubo de centrifuga de 50 ml previamente pesado. Después se añadieron 10 ml de agua destilada y la mezcla se homogeneizó con un vórtex durante 30 s, dejándose a continuación reposar durante 30 min para finalmente centrifugar a 3,050 x g durante 10 min a temperatura ambiente (25°C). El sobrenadante se decantó y el residuo se pesó junto con el tubo de centrifuga. La capacidad de absorción de agua se expresó como g de agua absorbida por g<sup>-1</sup> de proteína.

#### 5.4.3 Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite (CAAc) fue determinada de acuerdo al método empleado por Deng *et al.* (2011), con ligeras modificaciones. Se mezcló la muestra del APPC (0.5 g) con aceite de soya (5 ml) y se homogeneizó con una varilla de vidrio, luego se dejó reposar durante 1 h y después se centrifugó a 2,200 x g durante 30 min. A continuación el sobrenadante se decantó y la muestra se pesó. La CAAc se calculó como los g de aceite atrapados por g<sup>-1</sup> de proteína.

#### 5.4.4 Actividad emulsionante y estabilidad de la emulsión

Para la formación de la emulsión, se homogeneizaron 5 ml del APPC al 1% (p/v) en agua destilada y 5 ml de aceite de soya a 15,000 rpm durante 3 min en un homogeneizador IKA® (Ultra turrax T 25, Janke y Kundel, Alemania). Las mezclas se centrifugaron a 2,000 x g durante 5 min. La actividad emulsionante (AE) se calculó como la relación del peso de la capa emulsionada entre el peso del volumen total (Ecuación 2). Después de calentar a 80 °C durante 30 min y centrifugar a 2,000 x g durante 5 min, se calculó la estabilidad de la emulsión (EE) de la mezcla como la relación del peso de la capa emulsionada después del calentamiento entre el peso inicial de la capa de emulsión (Ecuación 3) (Deng *et al.*, 2011).

$$AE (\%) = \left( \frac{\text{Peso de la capa emulsionada}}{\text{Peso del contenido total en el tubo}} \right) \times 100 \quad [2]$$

$$EE (\%) = \left( \frac{\text{Peso del remanente de la capa emulsionada}}{\text{Peso inicial de la capa emulsionada}} \right) \times 100 \quad [3]$$

#### 5.4.5 Concentración mínima gelificante

La concentración mínima gelificante (CMG) del APPC se determinó de acuerdo con el método utilizado por Benelhadj *et al.* (2016), con modificaciones. Las muestras se suspendieron en 5 ml de agua destilada en un tubo de centrifuga para obtener suspensiones a concentraciones de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 o 160 g kg<sup>-1</sup> de proteína (p/v); además, cada una se ajustó al pH deseado (2-10). Los tubos de centrifuga con su contenido se calentaron durante 1 h en un baño de agua a 95 °C, se enfriaron rápidamente con agua corriente a 20 °C y adicionalmente se refrigeraron durante 2 h a 4 °C. La concentración mínima gelificante se consideró como la concentración a la cual la muestra no se caía ni se deslizaba al invertir el tubo.

#### 5.4.6 Capacidad espumante y estabilidad de la espuma

La capacidad espumante (CE) y la estabilidad de la espuma (EEs) fueron determinadas de acuerdo al método descrito por Stone *et al.* (2015), con algunas modificaciones. Se preparó una solución del APPC al 2% (p/v) con 20 ml ( $V_{i0}$ ) de solución tampón de fosfato sódico (pH 7) y se agitó durante 10 min a temperatura ambiente. A continuación, la solución se agitó con un espumador eléctrico a ~ 10,000 rpm (Espumador Sinbo®, Estambul, Turquía). Inmediatamente después, la espuma se transfirió a una probeta graduada de 250 ml. El volumen de espuma se registró en el tiempo cero y después de 30 minutos. La CE y la EEs se determinaron usando las ecuaciones [4] y [5], respectivamente, donde  $V_f$  es el volumen de espuma inmediatamente después de agitar y  $V_{f30}$  es el volumen de espuma remanente después de los 30 min.

$$\%CE = \frac{V_f}{V_{i0}} \times 100 \quad [4]$$

$$\%EEs = \frac{V_{f30}}{V_f} \times 100 \quad [5]$$

## 5.5 Propiedades nutritivas

### 5.5.1 Perfil de aminoácidos del APPC

La determinación de aminoácidos (aa) se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) de acuerdo al método descrito por Vázquez-Ortiz *et al.* (1995), con un cromatógrafo Pro Star - 210 Varian (Varian Associates, Inc. USA) acoplado a un detector de fluorescencia equipado con una lámpara de Xe. Se controlaron las longitudes de onda del fluorómetro a 340 y 455 nm. Se utilizó una columna C18 Microsorb L X ID (mm) 100 x 4.6 cuya temperatura se controló a 40 °C. Como fase móvil se utilizaron la solución A (Buffer de acetato de sodio 0.1 M pH 7.2, metanol y tetrahidrofurano) y la solución B (metanol grado HPLC) ambas pasadas a través de un filtro de nylon de 0.2 µm.

### 5.5.2 Calidad nutritiva del APPC

La calidad nutritiva se estimó mediante la calificación química (CQ), la cual se calculó de acuerdo al procedimiento utilizado por Ulloa *et al.* (2015), basado en la comparación de la relación de concentración del aminoácido que se encuentra en menor cantidad,  $a_i$  (aminoácido limitante) con la concentración de este aminoácido en el estándar,  $a_s$  (Ecuación 6):

$$CQ = \left[ \frac{a_i}{a_s} \right] \times 100 \quad [6]$$

El estándar de aa utilizado fue el recomendado por la FAO/WHO (1991) (g por 16 g de N).

La relación de eficiencia proteica (REP) se estimó según la ecuación [7], determinada por Alsmeyer *et al.* (1974), que se expresa en términos de concentraciones de sólo dos aminoácidos, leucina y tirosina:

$$REP = -0.468 + 0.454(Leu) - 0.105(Tir) \quad [7]$$

donde *Leu* y *Tir* son concentraciones de dichos aminoácidos expresadas en g/16 g N.

## **5.6 Análisis estadístico**

Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado y los resultados se sometieron a un análisis de varianza de una vía mediante el uso del paquete estadístico IBM SPSS Statistics, Versión 20 (Nueva York, EUA). Los resultados de los tratamientos que presentaron diferencias significativas se sometieron a una comparación múltiple de medias (Tukey) con un nivel de significancia  $p < 0.05$ .

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Propiedades fisicoquímicas

#### 6.1.1 Composición proximal

El contenido de proteína bruta y cenizas del APPC expuesto al US durante 15 y 30 min no mostró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con respecto al control (Tabla 6).

Sin embargo, el contenido de humedad del APPC se redujo significativamente de  $50.8 \text{ g kg}^{-1}$  (tratamiento control) a  $40.1 \text{ g kg}^{-1}$  y  $45.3 \text{ g kg}^{-1}$  cuando se expuso al US durante 15 y 30 min, respectivamente. Esta disminución se debe a que además de que la sonicación mejora los fenómenos de transferencia de masa y calor en procesos de secado, los efectos de compresión y expansión inducidos por ondas sonoras que pasan a través del medio alimentario facilitan la eliminación de humedad (Awad *et al.*, 2012).

El contenido de proteína bruta que presentaron los APPC en base húmeda es muy cercano al valor mínimo de  $900 \text{ g kg}^{-1}$  requerido para que el producto se considere un aislado proteico. Sin embargo, el contenido de proteína bruta en base seca de los APPC sobrepasa, por poco, este valor mínimo requerido (0 min US =  $922.2 \text{ g kg}^{-1}$ , 15 min US =  $918.5 \text{ g kg}^{-1}$  y 30 min US =  $911.5 \text{ g kg}^{-1}$ ). Valores similares de proteína a los encontrados en este trabajo fueron reportados para aislados proteicos procedentes de otras semillas como nuez y lino con  $910.7$  y  $906 \text{ g kg}^{-1}$  de proteína, respectivamente (Yuliana *et al.*, 2014; Kaushik *et al.*, 2016) y valores por debajo a los obtenidos en este proyecto fueron reportados para un aislado proteico de quinoa con  $763 \text{ g kg}^{-1}$  de proteína (Ávila-Ruiz *et al.*, 2016). La composición proximal (Tabla 6) de los APPC es similar al reportado por Paredes-López y Ordorica-Falomir (1986) para un aislado proteico de cártamo.

**Tabla 6.** Propiedades fisicoquímicas del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.

Propiedad	Tiempo de exposición a ultrasonido (min)		
	0 (control)	15	30
Proteína bruta (g kg <sup>-1</sup> )*	875.4 ± 0.48 <sup>a</sup>	881.7 ± 0.04 <sup>a</sup>	870.3 ± 1.08 <sup>a</sup>
Cenizas (g kg <sup>-1</sup> )	69.2 ± 0.06 <sup>a</sup>	68.8 ± 0.04 <sup>a</sup>	68.1 ± 0.02 <sup>a</sup>
Humedad (g kg <sup>-1</sup> )	50.8 ± 0.05 <sup>a</sup>	40.1 ± 0.09 <sup>c</sup>	45.3 ± 0.02 <sup>b</sup>
Densidad aparente (g ml <sup>-1</sup> )	0.611 ± 0.004 <sup>a</sup>	0.570 ± 0.020 <sup>b</sup>	0.576 ± 0.009 <sup>b</sup>
Actividad de agua	0.341 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.286 ± 0.007 <sup>c</sup>	0.300 ± 0.004 <sup>b</sup>

Los valores son las medias ( $n = 3$ ) ± desviación estándar. Diferentes superíndices en filas indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. \* N x 6.25.

#### 6.1.2 Densidad aparente

La densidad aparente es una propiedad fundamental utilizada para caracterizar los productos en polvo y es de gran importancia por razones económicas y funcionales. Esta propiedad determina el comportamiento de un material en mezclas secas y el volumen que ocupará durante el embalaje la cual depende de factores interrelacionados, como el tamaño de partícula, el número de puntos de contacto y la intensidad de las fuerzas atractivas entre partículas (Sogi *et al.*, 2002; Piornos *et al.*, 2015).

Como se muestra en la Tabla 6, la exposición del APPC al US disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) la densidad aparente en un 6.7 y 5.7% para los tratamientos de 15 y 30 min., respectivamente, en contraste con el tratamiento control. Lo anterior fue debido a que el tratamiento con US favoreció la formación de estructuras más grandes y heterogéneas en los APPC en comparación con el tratamiento control (Hu *et al.*, 2013; Reséndiz-Vázquez *et al.*, 2017). Estos resultados son similares a los reportados por Betschart *et al.* (1979), con valor de 0.59 g ml<sup>-1</sup> y por Sogi *et al.* (2002), con valor de 0.57 g ml<sup>-1</sup> para un aislado proteico de cártamo y un concentrado proteico de tomate, respectivamente. Valores menores a los de este estudio fueron reportados por Tasneem y Prakash (1992) en aislados proteicos de cártamo (0.35 a 0.48 g ml<sup>-1</sup>). Por otro lado, Al-Kahtani y Abou-Arab, (1993) reportaron valores de densidad aparente superiores (0.67 g ml<sup>-1</sup>) a los del presente trabajo para un aislado proteico de soya.

### 6.1.3 Actividad de agua

La actividad de agua ( $a_w$ ) es una propiedad termodinámica y se define como la relación entre la presión de vapor de agua de los alimentos y la presión de vapor de agua saturada a una temperatura dada. El  $a_w$  se considera un indicador de buena calidad para la seguridad y estabilidad de los alimentos con respecto al crecimiento microbiano y reacciones bioquímicas (Tadapaneni *et al.*, 2017).

Los valores de  $a_w$  del APPC expuesto durante 15 y 30 min al US fueron más bajos ( $p < 0.05$ ) que el tratamiento control (Tabla 6). Como se comentó anteriormente, las ondas sonoras que pasan a través del medio alimentario hacen que la eliminación de agua sea más fácil, lo que también influyó en la reducción del valor de  $a_w$ . Sin embargo, tanto el tratamiento control como los APPC expuestos a US presentaron valores de  $a_w$  por debajo del nivel límite para asegurar la estabilidad microbiana. En general el crecimiento microbiano se evita a valores de  $a_w < 0.66$  (Ulloa *et al.*, 2015). Martins y Netto (2006) reportaron un valor de  $a_w$  de 0.33 para aislados proteicos de soya, el cual es similar a los resultados obtenidos en este estudio.

### 6.1.4 Color del APPC

El color es un factor muy importante en los alimentos porque influye en la aceptación y comercialización de productos alimenticios (Nidhina y Muthukumar, 2015). Los resultados del análisis de color del APPC expuesto al US durante 15 y 30 min en comparación con el tratamiento control se muestran en la Tabla 7, en donde se puede observar que no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos para los parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ .

El efecto del US sobre el color en los alimentos depende de sus características intrínsecas y de las condiciones de US (Bi *et al.*, 2015). Adekunte *et al.* (2010), reportaron una disminución en los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$  en jugo de tomate después del US, causado por la degradación del licopeno. Por su parte Cheng *et al.* (2007), encontraron que el jugo de guayaba tratado con US por 30 min mostró un cambio significativo en el valor de  $\Delta E$  debido a la disminución en el valor de  $L^*$  y al incremento en los valores de  $a^*$  y  $b^*$ . En otro estudio Valero *et al.* (2007), encontraron que el tratamiento con US no tiene efecto significativo sobre el color del jugo de naranja. La razón de la degradación de los compuestos de color podría ser el efecto de cavitación del



ultrasonido, que permitiría inducir tanto la degradación de sustancias químicas (por ejemplo, por generación de radicales) como la degradación mecánica de biomoléculas (Adekunte *et al.*, 2010), lo que no se observó en este estudio. Resultados cercanos a los obtenidos en este proyecto han sido reportados por Paredes-López y Ordorica-Falomir (1986) para un aislado proteico de cártamo ( $L^*=51.9$ ,  $a^*=3.1$ ,  $b^*=16$ ).

**Tabla 7.** Color del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.

Parámetros de color	Tiempo de exposición a ultrasonido (min)		
	0 (control)	15	30
$L^*$ (luminosidad)	$60.62 \pm 0.11^a$	$60.35 \pm 0.19^a$	$60.19 \pm 0.21^a$
$a^*$ (rojo-verde)	$4.21 \pm 0.06^b$	$4.23 \pm 0.03^b$	$4.18 \pm 0.08^b$
$b^*$ (amarillo-azul)	$17.45 \pm 0.29^a$	$17.41 \pm 0.17^a$	$17.77 \pm 0.25^a$
$\Delta E$ (diferencia de color)	$36.70 \pm 0.17^a$	$36.94 \pm 0.21^a$	$37.22 \pm 0.27^a$

Los valores son las medias ( $n = 3$ )  $\pm$  desviación estándar. Diferentes superíndices en filas indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos.

#### 6.1.5 Microscopía electrónica de barrido

La Figura 4 muestra una serie de imágenes de SEM del APPC control (A) y expuesto al US durante 15 (B) y 30 min (C). Se puede observar que las muestras B y C presentaron estructuras más grandes y heterogéneas que la muestra A (control). Hu *et al.* (2013) y Jiang *et al.* (2014), atribuyen ese comportamiento a una mayor exposición de grupos SH libres y grupos hidrófobos en la superficie de las moléculas provocado por el US, lo que genera una mayor interacción entre ellas para formar agregados más grandes.



Figura 4. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido (0 min = A, 15 min = B, 30 min = C) sobre la microestructura del aislado proteico de pasta de cártamo.

## 6.2 Propiedades funcionales

### 6.2.1 Solubilidad proteica

Es la propiedad funcional más importante en las proteínas y está asociado con la capacidad de retención de agua, las propiedades espumantes, emulgentes, gelantes y otras propiedades fisico-químicas y funcionales. La solubilidad de las proteínas depende de la composición, el peso molecular y las características superficiales de los aminoácidos constitutivos, además de factores ambientales como el pH, la fuerza iónica, la temperatura y la presencia de disolventes (Timilsena *et al.*, 2016). Las interacciones que influyen de forma más destacada en las características de solubilidad de las proteínas son las hidrófobas e iónicas. Las hidrófobas promueven la asociación proteína-proteína y disminuyen la solubilidad, en tanto que las iónicas promueven las interacciones proteína-agua y aumentan la solubilidad (Fennema, 2000).

La Figura 5 muestra el efecto del tiempo de exposición al US sobre la solubilidad proteica del APPC a diferentes valores de pH, donde sólo a valores de pH de 6 y 7 el US durante 30 min tuvo un efecto benéfico, incrementando 9.7% y 3.7%, respectivamente, en comparación con el tratamiento control. Este aumento en la solubilidad proteica puede deberse al cambio conformacional durante el tratamiento ultrasónico y la formación de agregados proteicos solubles a partir de agregados proteicos insolubles (Hu *et al.*, 2013).

Tanto el tratamiento control como los APPC expuestos al US presentaron su máxima solubilidad proteica a pH 10. El APPC del tratamiento 15 min mostró menor solubilidad ( $p < 0.05$ ) que el control; sin embargo, la solubilidad del tratamiento 30 min fue estadísticamente igual al control

y al tratamiento de 15 min ( $p > 0.05$ ) a pH 10. Resultados similares a los de este estudio fueron reportados por Paredes-López y Ordoñica-Falomir (1986) para aislados proteicos de cártamo con valores de solubilidad proteica de 80 a 95% a pH de 10. Valores por debajo a los de este estudio fueron reportados para la fracción 1 (extracción a pH 10 y precipitación a pH 5) y 2 (después de la precipitación a pH 5 el contenido proteico del sobrenadante se concentró mediante ultrafiltración) de las proteínas de semilla de cártamo a pH de 10 con valores de 83 y 80% de solubilidad proteica, respectivamente (Sagiroglu *et al.*, 2009), para quinoa con 75.21 % (Elsouhaimy *et al.*, 2015) y lino con 72 % (Kaushik *et al.*, 2016). En la máxima solubilidad, los grupos hidrofílicos de las proteínas son expuestos y de este modo forman puentes de hidrógeno con el agua facilitando su solubilidad. Muchas de las proteínas son altamente solubles a pH alcalino (8-9), al que normalmente se lleva a cabo la extracción de proteínas de fuentes vegetales (Badui-Dergal, 2006).

La mínima solubilidad proteica de los APPC se observó a pH de 5 (Figura 5), la cual corresponde al punto isoeléctrico (pI). Nuevamente, el APPC del tratamiento con US por 15 min mostró el menor porcentaje de solubilidad ( $p < 0.05$ ). Paredes-López y Ordoñica-Falomir (1986), reportaron un valor de 5% de solubilidad proteica a pH de 5 para un aislado proteico de cártamo, el cual es menor a los valores obtenidos en este estudio (14.57, 12.11 y 13.20% para los tratamientos 0, 15 y 30 min, respectivamente). Por otro lado, Sagiroglu *et al.* (2009), reportaron un valor superior al de este estudio con porcentaje de solubilidad proteica del 20% a pH 6 para la fracción 1 de las proteínas de semilla de cártamo. En el pI las cargas positivas y negativas de las proteínas se igualan en su superficie, causando así una ausencia de repulsión electrostática, lo que promueve la agregación y precipitación de proteínas (Fennema, 2000).

Arzeni *et al.* (2012), reportaron una pequeña disminución, pero significativa, en la solubilidad proteica de un polvo de clara de huevo tratado con US. Lo anterior lo atribuyó a la formación de pequeños agregados de proteínas durante la sonicación que pudieron precipitar durante la centrifugación de las soluciones. Jiang *et al.* (2014), observaron una disminución en la solubilidad de las proteínas de un aislado proteico de frijol expuesto al tratamiento con ultrasonido a 150 W por 15 min, con respecto al tratamiento control. Sin embargo, la solubilidad de las proteínas de dicho aislado proteico se incrementó con respecto al control conforme se

aumentó la intensidad y/o tiempo del ultrasonido para llegar a un valor máximo (150 W por 24 min, 300 W por 12 min, 300 W por 24 min), el cual disminuyó al seguir aumentando la intensidad y tiempo de ultrasonido (450 W por 12 min, 450 W por 24 min). Una posibilidad sobre ese comportamiento es que las moléculas de proteína se desplieguen parcialmente, y eso incrementa la interacción entre las proteínas y el agua. Cuando la intensidad y el tiempo de tratamiento aumentaron, las moléculas de las proteínas de frijol negro se expandieron, lo cual expuso a los grupos hidrófobos. Las moléculas de proteínas reforman los agregados macromoleculares a través de interacciones no covalentes, lo que resulta en una disminución de la solubilidad (Jiang *et al.*, 2014). El presente estudio presentó un comportamiento similar.

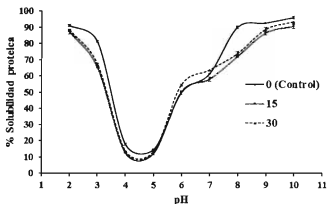


Figura 5. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la solubilidad proteica del aislado proteico de pasta de cártamo.

### 6.2.2 Capacidad de absorción de agua

En la Tabla 8 se muestran los resultados de la CAA de los APPC por efecto del US. La CAA disminuyó desde el valor inicial de  $2.14 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1}$  proteína a  $1.94 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1}$  proteína después de la exposición del APPC al US durante 30 min. De acuerdo a Reséndiz-Vázquez *et al.* (2017), el tratamiento con ultrasonido podría desnaturalizar la estructura molecular de la proteína y provocar un aumento de la superficie hidrófoba, lo que puede conducir a valores bajos de CAA,

como se observó en proteínas de semillas de jaca. Paredes-López y Ordorica-Falomir (1986), reportaron valores inferiores a los obtenidos en este estudio ( $1.29 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1}$  proteína) en un aislado proteico de cártamo. Resultados superiores fueron reportados para otros aislados proteicos como el de nuez de la India con  $2.56 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1}$  proteína (Yuliana *et al.*, 2014) y de chicharo con  $2.6 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1}$  proteína (Stone *et al.*, 2015). En estudios en donde se aplicó US a leche y a un aislado y un concentrado proteico de soya (Wu *et al.*, 2000; Köhn *et al.*, 2016), se observaron aumentos en la CAA de los tratamientos 450 W por 6 min y 135 W por 15 min, respectivamente. Sin embargo, en este estudio la CAA del tratamiento 30 min disminuyó.

La capacidad de absorción de agua es una propiedad crítica de las proteínas en los alimentos viscosos tales como sopas, pastas, cremas y productos horneados, porque estos alimentos deben absorber el agua sin la disolución de proteínas, proporcionando de este modo cuerpo, engrosamiento y viscosidad al producto (Ulloa *et al.*, 2011). Según Wang *et al.* (2006), los altos valores de CAA son importantes para mantener el contenido de humedad en los productos.

### 6.2.3 Capacidad de absorción de aceite

El mecanismo de absorción de aceite puede ser explicado como el atrapamiento físico del aceite (Ulloa *et al.*, 2011). Los resultados de la CAAC de los APPC por efecto del US se muestran en la Tabla 8. En contraste con la CAA, la CAAC de los APPC expuestos al US durante 15 y 30 min fue significativamente ( $p < 0.05$ ) más alta comparada con el tratamiento control. La CAAC se incrementó desde un valor inicial de  $0.99 \text{ g de aceite g}^{-1}$  proteína a  $1.19 \text{ g de aceite g}^{-1}$  proteína y  $1.30 \text{ g de aceite g}^{-1}$  proteína después de la exposición al US durante 15 y 30 min, respectivamente. El aumento de CAAC en las proteínas podría atribuirse a la exposición de los grupos hidrófobos después del tratamiento con ultrasonido (Hu *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2016; Higuera-Barraza *et al.*, 2016), lo que permite el atrapamiento físico del aceite (Meinlschmidt *et al.*, 2016). Sin embargo, los resultados de CAAC para los APPC de este estudio fueron menores a los reportados por Paredes-López y Ordorica-Falomir (1986), para aislados proteicos de cártamo con valores de  $2.46$  y  $2.90 \text{ g de aceite g}^{-1}$  proteína y al reportado por Yuliana *et al.* (2014), con un valor de  $4.28 \text{ g de aceite g}^{-1}$  proteína para un aislado proteico de nuez de la India, pero similares a los reportados por Betschart *et al.* (1979), con  $1.07 \text{ g de aceite g}^{-1}$  proteína para un aislado proteico de cártamo.

Un alto valor de CAAC es necesario en un aislado proteico para que funcione como un extensor o sustituto en carnes, así como para conservar el sabor, aroma y mejorar la sensación en la boca en productos de panadería y sopas (Ulloa *et al.*, 2011).

**Tabla 8.** Capacidad de absorción de agua y aceite del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.

Propiedad	Tiempo de exposición a ultrasonido (min)		
	0 (control)	15	30
Capacidad de absorción de agua (g H <sub>2</sub> O g <sup>-1</sup> proteína)	2.14 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.15 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.94 ± 0.02 <sup>b</sup>
Capacidad de absorción de aceite (g aceite g <sup>-1</sup> proteína)	0.99 ± 0.01 <sup>c</sup>	1.19 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.30 ± 0.01 <sup>a</sup>

Los valores son las medias ( $n = 3$ ) ± desviación estándar. Diferentes superíndices en filas indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos.

#### 6.2.4 Actividad emulsionante y estabilidad de la emulsión

Las emulsiones alimentarias son mezclas termodinámicamente inestables de líquidos inmiscibles (Yu *et al.*, 2007). Las proteínas son de particular interés como agentes emulsionantes en formulaciones alimenticias tales como postres congelados, aderezos para ensaladas, mayonesas, pastas para pasteles y leches, gracias a su capacidad de adsorber y formar películas viscoelásticas en las interfaces aceite-agua (O'Sullivan *et al.*, 2016). Las proteínas se componen de aminoácidos, los cuales la proveen de potencial emulsionante debido a que poseen propiedades hidrófilas e hidrófobas, por lo que son capaces de interactuar con el agua y el aceite en los sistemas alimentarios. Además se ha sugerido que las propiedades emulsionantes son más influenciadas por el tipo que por la cantidad de proteínas (Yu *et al.*, 2007).

De acuerdo a los resultados (Figura 6), el tratamiento de US no tuvo efecto ( $p > 0.05$ ) sobre la AE y EE de los APPC. Yanjun *et al.* (2014), reportaron que el pretratamiento con US incrementó la AE y EE de las proteínas de la leche, mientras que Zhou *et al.* (2016), reportaron que el tratamiento con US incrementó (de 19.3 a 24.1 m<sup>2</sup>/g, fuerza iónica de 0.2) o disminuyó (de 24.6 a 20.1 m<sup>2</sup>/g, fuerza iónica de 0.06) la AE de la glicinina de soya (fracción proteica) dependiendo

de la fuerza iónica. En otro estudio, la AE de un concentrado proteico de salvado de arroz desgrasado fue mayor ( $p < 0.05$ ) que en el tratado con US pero la EE no mostró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con respecto al tratamiento control (Chittapalo y Noomhorm, 2009). Sagioglu *et al.* (2009), reportaron para la fracción I de las proteínas de semilla de cártamo una estabilidad emulsionante inferior a la de este estudio con un valor de 68%. Las propiedades emulsionantes de las proteínas alimentarias dependen de la solubilidad, flexibilidad molecular, hidrofobicidad superficial y estabilidad de la estructura proteica (Zhou *et al.*, 2016), que pueden modificarse o no cuando se exponen a diferentes condiciones de ultrasonido como se observó en este estudio.

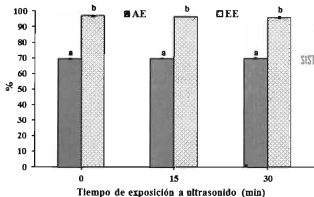


Figura 6. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la actividad emulsionante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE) del aislado proteico de pasta de cártamo.

### 6.2.5 Concentración mínima gelificante

Los aislados proteicos se utilizan ampliamente como agentes gelificantes para mejorar la textura y la capacidad de retención de agua de los productos cárnicos. La formación de un gel es a menudo una agregación de proteínas desnaturalizadas e implica la formación de una red que retiene cantidades significativas de agua y transforma la muestra líquida en sólida, la cual exhibe un cierto grado de orden. Los enlaces de hidrógeno, puentes de disulfuro, las interacciones

electrostáticas y las interacciones hidrófobas (estas últimas son las más importantes) interfieren de manera diferente con la formación de la red de gel (Chen *et al.*, 2016).

La Figura 7 muestra que la exposición del APPC al US durante 15 y 30 min a valores de pH de 2-10 no afectó la CMG, excepto el tratamiento de US durante 30 min a pH 6, donde la CMG incrementó de 60 g kg<sup>-1</sup> proteína (6%) a 80 g kg<sup>-1</sup> proteína (8%), lo que implica una reducción de la capacidad gelificante. El comportamiento de la CMG por el efecto del pH fue evaluado por otros autores en aislados proteicos como el de nuez de la India (Yuliana *et al.*, 2014), con una CMG de 10% a pH de 3, así como el de lupino (Piornos *et al.*, 2015), con una CMG de 14% a valores de pH 3, 4 y 5, lo cual indica que si bien el pH influye en las propiedades funcionales de una proteína, el factor determinante en la CMG es el tipo de proteína, su composición de aminoácidos y las interacciones que estos presenten.

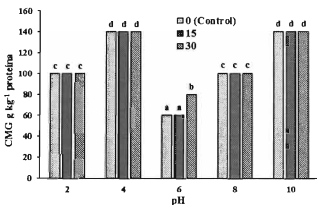


Figura 7. Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y pH sobre la concentración mínima gelificante (CMG) del aislado proteico de pasta de cártamo.

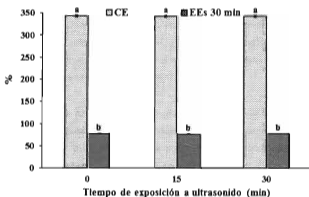
#### 6.2.6 Capacidad espumante y estabilidad de espuma

La CE se refiere a la habilidad de una proteína, en ciertas condiciones (concentración, pH, temperatura), para formar una espuma, mientras que EEs indica el % de conservación del



volumen inicial de la espuma durante un periodo de tiempo medido contra el estrés gravitacional (Stone *et al.*, 2015). La CE y EEs de los aislados proteicos son las propiedades funcionales que determinan su aplicación en el sistema alimentario, donde se requiere aireación y saturación (Shevkani *et al.*, 2015); esta propiedad es importante en sistemas alimenticios como pasteles, helados y postres (Ulloa *et al.*, 2011).

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la exposición al US durante 15 y 30 min no modificó ( $p>0.05$ ) la CE y EEs de los APPC con respecto al tratamiento control (Figura 8), siendo de 341% y 76%, respectivamente, para todos los casos. Sin embargo, varios estudios en aislados proteicos de suero de leche (Jambrak *et al.*, 2008), soya (Jambrak *et al.*, 2009) y jaca (Reséndiz-Vázquez *et al.*, 2017) han demostrado que el tratamiento con ultrasonido mejora la CE y EEs, aunque ello depende de las condiciones de ultrasonido.



**Figura 8.** Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido sobre la capacidad (CE) y estabilidad de la espuma (EEs) del aislado proteico de pasta de cártamo.

Los resultados logrados en este estudio fueron mayores a los reportados por Paredes-López y Ordorica-Falomir (1986) para CE de un aislado proteico de cártamo con un valor de 22.7% y menores para EEs con un valor de 81.9%. Por otra parte, los resultados obtenidos para CE y

EEs en este trabajo son inferiores a los reportados para la fracción I de las proteínas de semilla de cártamo, en donde consiguieron valores de 490% y 88%, respectivamente (Sagiroglu *et al.*, 2009); la baja estabilidad de espuma de un aislado proteico es indicativo de una película interfacial débil de las proteínas adsorbidas (Stone *et al.*, 2015). En otro estudio, Jambrak *et al.* (2008, 2009), reportaron que la CE y EEs de aislados proteicos de suero de leche y soya mejoraron significativamente ( $p < 0.05$ ) después del tratamiento con US a 20 kHz y 40 kHz, lo cual puede deberse a la desnaturalización parcial de las proteínas provocada por el ultrasonido, lo que causa una mayor interface de difusión aire-agua debido al aumento de la cohesión y la flexibilidad de las espumas (Higuera-Barraza *et al.*, 2016); sin embargo, tal comportamiento no se observó en las propiedades espumantes de los aislados proteicos tratados a 500 kHz (Jambrak *et al.*, 2008, 2009), lo cual concuerda con los resultados del presente estudio.

### 6.3 Perfil de aminoácidos y propiedades nutritivas del APPC

El principal determinante de la calidad de las proteínas alimentarias es el contenido y la disponibilidad de aminoácidos esenciales. El contenido de aminoácidos se puede utilizar para calcular la puntuación o calificación química (CQ), la cual determina la eficacia con la que el nitrógeno dietético absorbido puede satisfacer el requisito indispensable de aminoácidos en el nivel seguro de ingesta de proteínas (FAO/WHO/UNU, 2007).

La relación de eficiencia proteica (REP) se expresa tradicionalmente como la relación de la ganancia de peso a la cantidad de la proteína consumida por los animales experimentales. Según Alsmeyer *et al.*, (1974), la REP presenta una deficiencia como método para evaluación de calidad de proteínas para humanos, porque relaciona el crecimiento del organismo al consumo de proteína, sin considerar la cantidad necesaria de dicho nutriente para mantenimiento. Sin embargo, dichos autores retomaron resultados de la evaluación de la calidad de proteínas a través de la REP y digestibilidad, proponiendo una ecuación que predice el aprovechamiento de las proteínas a través de la REP-predictiva, la cual se expresa en términos de las concentraciones de sólo dos aminoácidos, la leucina y la tirosina (Sujak *et al.*, 2006).

El perfil de aminoácidos y la calidad nutritiva de las proteínas en términos de la CQ y REP-predictiva de los APPC expuestos al tratamiento de US no mostraron diferencia significativa

( $p > 0.05$ ) en comparación con el control (Tabla 9). De los aminoácidos presentes en los APPC, la mitad corresponden a aminoácidos esenciales. Por otro lado, el ácido glutámico fue el aminoácido presente en el APPC en mayor concentración, al igual que en otros aislados proteicos como el de semillas de cártamo (Paredes-López y Ordorica-Falomir, 1986), cáñamo (*Cannabis sativa*), soya (Wang *et al.*, 2008) y carraspique (Hojilla-Evangelista *et al.*, 2014). El primer aminoácido limitante de los APPC fue la lisina, la cual se utilizó para calcular el valor de la CQ, siendo 41.3, 42.0 y 45.1 % para los APPC expuestos al US durante 15 min, 30 min y el tratamiento control, respectivamente, sin existir diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre ellos (Tabla 9).

Con respecto a la REP-predictiva, los valores obtenidos para los APPC expuestos al ultrasonido durante 15 min, 30 min y el tratamiento control fueron 2.24, 2.10 y 2.06, respectivamente, sin mostrar diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre ellos. Resultados similares a los obtenidos en este estudio fueron reportados para aislados proteicos de garbanzo y soya con valores de 2.12 y 2.04, respectivamente (Wang *et al.*, 2010).

**Tabla 9.** Composición de aminoácidos y calidad nutritiva del aislado proteico de pasta de cártamo tratado con ultrasonido.

Parámetro	Composición de aminoácidos (g/16 g de N)			Patrón de referencia para adultos*
	Tiempo de exposición a ultrasonido (min)			
	0 (Control)	15	30	
<b>Aminoácidos esenciales</b>				
Lisina	2.48 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.27 ± 0.15 <sup>a</sup>	2.31 ± 0.05 <sup>a</sup>	5.5
Treonina	4.87 ± 0.17 <sup>b</sup>	4.39 ± 0.21 <sup>b</sup>	3.97 ± 0.57 <sup>b</sup>	4.0
Valina	2.72 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.62 ± 0.44 <sup>b</sup>	2.36 ± 0.14 <sup>a</sup>	5.0
Metionina+cisteína	1.92 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.37 <sup>a</sup>	1.87 ± 0.14 <sup>a</sup>	3.5
Isolucina	2.04 ± 0.46 <sup>a</sup>	1.97 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.86 ± 0.20 <sup>b</sup>	4.0
Leucina	6.18 ± 0.94 <sup>a</sup>	6.67 ± 0.36 <sup>a</sup>	6.23 ± 0.14 <sup>b</sup>	7.0
Fenilalanina+tirosina	3.89 ± 0.94 <sup>a</sup>	3.77 ± 1.12 <sup>a</sup>	3.22 ± 1.27 <sup>a</sup>	6.0
Tirosina	2.57 ± 0.10 <sup>a</sup>	2.97 ± 0.73 <sup>b</sup>	2.39 ± 0.20 <sup>b</sup>	
Triptófano	ND	ND	ND	
<b>Aminoácidos No esenciales</b>				
Histidina	3.84 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.42 ± 0.32 <sup>b</sup>	4.09 ± 0.56 <sup>b</sup>	
Arginina	18.65 ± 1.08 <sup>b</sup>	18.57 ± 1.34 <sup>b</sup>	19.08 ± 0.56 <sup>b</sup>	
Ácido aspártico	6.78 ± 0.57 <sup>a</sup>	6.73 ± 0.41 <sup>a</sup>	6.60 ± 0.48 <sup>a</sup>	
Serina	8.25 ± 0.58 <sup>a</sup>	7.20 ± 0.51 <sup>a</sup>	7.99 ± 1.05 <sup>a</sup>	
Ácido glutámico	20.96 ± 1.86 <sup>a</sup>	22.28 ± 0.93 <sup>b</sup>	21.17 ± 1.83 <sup>b</sup>	
Glicina	8.83 ± 0.52 <sup>a</sup>	9.09 ± 0.58 <sup>a</sup>	9.61 ± 0.26 <sup>b</sup>	
Alanina	7.11 ± 0.37 <sup>b</sup>	6.75 ± 0.55 <sup>b</sup>	7.27 ± 0.86 <sup>b</sup>	
<b>Calidad nutritiva</b>				
CQ	45.1 ± 1.53 <sup>b</sup>	41.3 ± 2.7 <sup>a</sup>	42.0 ± 0.83 <sup>a</sup>	
REP-predictiva	2.06 ± 0.42 <sup>b</sup>	2.24 ± 0.20 <sup>b</sup>	2.10 ± 0.04 <sup>b</sup>	

Los valores son las medias ( $n = 3$ ) ± desviación estándar. Diferentes superíndices en filas indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. CQ = Calificación química, REP = Relación de eficiencia proteica, ND = No determinado. \* FAO/WHO, 1991.

En la Tabla 10 se presentan de manera cronológica los resultados de la calidad nutritiva de proteínas de productos de cártamo obtenidos por otros autores, de donde se desprenden tanto valores menores como mayores para CQ y REP (obtenidos a partir de experimentos con animales) a los obtenidos en este trabajo para los distintos APPC.

**Tabla 10.** Calidad nutritiva de proteínas de productos de cártamo.

Autor	Producto	AA limitante	CQ (%)	REP
Betschart (1975)	Fracción proteica	Lisina	36.21	---
Betschart y Saunders (1978)	Aislado proteico	Lisina	46	1.26
Betschart <i>et al.</i> (1979)	Aislado proteico	Lisina	37	---
Paredes-López y Ordorica-Falomir (1986)	Aislado proteico	Lisina	49.27	2.03
Madrigal y Ortega (2002)	Concentrado proteico	Lisina	39.81	---
Civera <i>et al.</i> (2010)	Pasta alta en proteína	Lisina	30.5	---

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, la aplicación del US a 130 W y 42 kHz durante 15 y 30 min provocó una disminución en los valores de humedad, actividad de agua y densidad aparente en el APPC. Además, provocó un aumento en el tamaño de los agregados proteicos.

El tratamiento con US por 30 min del APPC incrementó la solubilidad proteica a pH de 6-7, mientras que el aplicado por 15 y 30 min incrementó la CAAC, lo cual podría beneficiar a su aplicación en la industria alimenticia para formulaciones de carne molida, como sustitutos y extensores de carne, en la retención de sabor y aroma, así como en el mejoramiento de la textura de productos cárnicos, al igual que en donas, productos horneados y sopas.

Por otra parte, se demostró que el empleo del US no afectó los parámetros de color de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ , así como las propiedades emulgentes, espumantes, la composición de aminoácidos y la calidad nutritiva de las proteínas del APPC.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achouri, A., Nail, V., Boye, J. I. 2012. Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. *Food Research International*. 46:360-369.
- Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., O'Donnell, C. 2010. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*. 122:500-507.
- Al-Kahtani, H., Abou-Arab, A. A. 1993. Comparison of physical, chemical, and functional properties of *Moringa peregrina* and soybean proteins. *Cereal Chemistry*. 70:619-626.
- Alsmeyer, R. H., Cunningham, A. E., Happich, M. L. 1974. Equations predict PER from amino acid analysis. *Food Technology*. 28:34-40.
- ASERCA. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, revista Claridades Agropecuarias. 1994.  
<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/011/ca011.pdf#page=4> [23 de febrero 2017].
- ASERCA. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, revista Claridades Agropecuarias. 2003.  
<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/114/cal114.pdf#page=3> [23 de febrero 2017].
- Arzeni, C., Martínez, K., Zema, P., Arias, A., Pérez, O., Pilosof, A. 2012. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*. 108:463-472.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1995. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Arlington, VA, USA: AOAC Publications.

Ávila-Ruiz, G., Xiao, W., van Boekel, M., Minor, M., Stieger, M. 2016. Effect of extraction pH on heat-induced aggregation, gelation and microstructure of protein isolate from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), Food Chemistry, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.052>

Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., Youssef, M. M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. Food Research International. 48:410-427.

Badui-Dergal, S. 2006. Química de los alimentos. 4ta ed. 190-194. México: Pearson Educación.

Benelhadj, S., Gharsallaoui, A., Degraeve, P., Artia, H., Ghorbel, D. 2016. Effect of pH on the functional properties of *Arthrospira (Spirulina) platensis* protein isolate. Food Chemistry. 194:1056-1063.

Betschart, A. A. 1975. Factors influencing the extractability of safflower protein (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Food Science. 40:1010-1013.

Betschart, A. A., Saunders, R. M. 1978. Safflower protein isolates: influence of recovery conditions upon composition, yield and protein quality. Journal of Food Science. 43:964-968.

Betschart, A. A., Fong, R. Y., Hanamoto, M. M. 1979. Safflower Protein Isolates: Functional properties in simple systems and breads. Journal of Food Science. 44:1022-1035.

Bi, X., Hemar, Y., Balaban, M. O., Liao, X. 2015. The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and polyphenol oxidase activity of diluted avocado puree. Ultrasonic Sonochemistry. 27:567-575.

Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S. H. 2010. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein



concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*. 43:537-546.

Bustos-Ramírez, D., Rojas-Rojas, C. 2010. Subproductos de Oleaginosas y Leguminosas. <http://tirsomestre.blogspot.mx/2010/05/subproductos-de-oleaginosas-y.html>. [09 de diciembre 2015].

Chen, L., Chen, J., Ren, J., Zhao, M. 2011. Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(6):2600-2609.

Chen, Z., Shi, X., Xu, J., Du, Y., Yao, M., Guo, S. 2016. Gel properties of SPI modified by enzymatic cross-linking during frozen storage. *Food Hydrocolloids*. 56:445-452.

Cheng, L. H., Soh, C. Y., Liew, S. C., Teh, F. F. 2007. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chemistry*. 104:1396-1401.

Chittapalo, T., Noomhorm, A. 2009. Ultrasonic assisted alkali extraction of protein from defatted rice bran and properties of the protein concentrates. *International Journal of Food Science & Technology*. 44:1843-1849.

Civera, R., Galicia, A., Nolasco, H., Goytortua, E., Cruz, L. E., Ricque, D., Moyano, F., Tovar, D., Palacios, E. Álvarez, A. 2010. Uso del cártamo (*Carthamus tinctorius*) como ingrediente en alimentos para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. *Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuicola*, 393-466. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.

CNSPO. Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas. Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) usos y propiedades, 2006. [http://www.oleaginosas.org/art\\_91.shtml](http://www.oleaginosas.org/art_91.shtml) [07 de marzo 2017].

Deng, Q., Wang, L., Wei, F., Xie, B., Huang, F., Huang, W., Shi, J., Huang, Q., Tian, B., Xue, S. 2011. Functional properties of protein isolates, globulin and albumin extracted from *Ginkgo biloba* seeds. *Food Chemistry*. 124:1458–1465.

Dujmic' F, Brnc'ic' M, Karlovic' S, Bosiljkov T, Ježek D, Tripalo B, Mofardin I. 2013. Ultrasound-assisted infrared drying of pear slices: textural issues. *Journal of Food Process and Engineering*. 36:397–406.

Elsohaimy, S. A., Refaay, T. M., and Zaytoun, M. A. M. 2015. Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Science*. 60(2):297–305.

FAO/WHO. 1991. Protein Quality Evaluation. Report of a joint FAO-WHO expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper 51. Rome, Italy: FAO Publications.

FAO/WHO/UNU. 2007. WHO Technical Report Series 935. Protein and Amino acid Requirements in Human Nutrition; Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Statistical Database 2014. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> [06 de marzo 2017].

Fennema, O. 2000. *Química de los alimentos*. 2da ed. 440–442. Zaragoza, España: ACRIBIA, S.A.

Gulseren, I., Guzey, D., Bruce, B.D., Weiss, J. 2007. Structural and functional changes in ultrasonicated bovine serum albumin solutions. *Ultrasonic Sonochemistry*. 14:173–183.

Guzey, D., Gulseren, I., Bruce, B., Weiss, J., 2006. Interfacial properties and structural conformation of thermosonicated bovine serum albumin. *Food Hydrocolloids*. 20(5):669–677.

Higuera-Barraza, O.A., Del Toro-Sánchez, C.L., Ruiz-Cruz, S., Márquez-Ríos, E. 2016. Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. *Ultrasonic Sonochemistry*. 31:558–562.

Hojilla-Evangelista, M. P., Selling, G. W., Berhow, M. A., Evangelista, R. L. 2014. Preparation, composition and functional properties of pennycress (*Thlaspi arvense* L.) seed protein isolates. *Industrial Crops and Products*. 55:173-179.

Horax, R., Hettiarachchy, N., Kannan, A., Chen, P. 2011. Protein extraction optimization, characterization, and functionalities of protein isolate from bitter melon (*Momordica charantia*) seed. *Food Chemistry*. 124:545-550.

Hu, H., Wu, J., Li-Chan, E. C., Zhu, L., Zhang, F., Xu, X. 2013. Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. *Food Hydrocolloids*. 30(2):647-655.

Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Herceg, Z., Herceg, L. 2008. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*. 86:281-287.

Jambrak, A. R., Leas, V., Mason, T. J., Kresic, G., Badanjak, M. 2009. Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *Journal of Food Engineering*. 93:386–393.

Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Kresic, G. 2010. Ultrasonic effect on physicochemical and functional properties of  $\alpha$ -lactalbumin. *LWT. Food Science and Technology*. 43:254–262.

Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Paniwnyk, L., Herceg, Z. 2014. Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins. *Journal of Food Engineering*. 121:15-23.

Jiang, L., Wang, J., Jiang, Y. L., Wang, J., Li, Y., Wang, Z., Liang, J., Wang, R., Chen, Y., Ma, W., Qi, B., Li, M. Z. 2014. Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates. *Food Research International*. 62:595–601.

Kaushik, P., Dowling, K., McKnight, S., Barrow, C. J., Wang, B., Adhikari, B. 2016. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food Chemistry*. 197:212–220.

Köhn, C.R., Almeida, J.C., Schmidt, M.M., Vidal, A.R., Kempka, A.P., Demiate, I.M., Rosa, C.S., Kubota, E.H., Mello, R.O., Prestes, R.C. 2016. Evaluation of water absorption capacity of ingredients and additives used in the meat industry submitted to different saline concentrations and ultrasound. *International Food Research Journal*. 23(2):653-659.

López, G. G. 1989. Acerca de la clasificación natural del género *Carthamus* L., s.l. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 47(1):11-34.

Lu, Y., Weng, L., Zhang, L. 2004. Morphology and properties of soy protein isolate thermoplastics reinforced with chitin whiskers. *Biomacromolecules*. 5:1046–1051.

Madrigal, L. V., Ortega, M. E. 2002. Obtención de un concentrado proteico de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) para su uso en reemplazantes de leche para becerras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36:211-216.

Martins, V. B., Netto, M. F. 2006. Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage. *Food Research International*. 39:145–153.

Meinlschmidt, P., Sussmann, D., Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P. 2016. Enzymatic treatment of soy protein isolates: effects on the potential allergenicity, technofunctionality, and sensory properties. *Food Science and Nutrition*. 4:11-23.

Montoya-Coronado, L. 2010. El cultivo del Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro técnico No. 5.

Nidhina, N., Muthukumar, S. P. 2015. Antinutritional factors and functionality of protein-rich fractions of industrial guar meal as affected by heat processing. *Food Chemistry*. 173:920-926.

O'Donnell, C.P., Tiwari, B.K., Bourke, P., Cullen, P.J. 2010. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science and Technology*. 21(7):358-367.

Oreopoulou, V., Tzia, C. 2007. Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants, and colorants. 209-232. New York: Springer Science and Business Media.

O'Sullivan, J., Park, M., Beevers, J. 2016. The effect of ultrasound upon the physicochemical and emulsifying properties of wheat and soy protein isolates. *Journal of Cereal Science*. 69:77-84.

Paredes-López, O., Ordorica-Falomir, C. 1986. Production of safflower protein isolate: composition, yield and protein quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 37:1097-1103.

Piornos, J. A., Burgos-Díaz, C., Ogura, T., Morales, E., Rubilar, M., Maureira-Butler, I., Salvo-Garrido, H. 2015. Functional and physicochemical properties of a protein isolate from *Aluprot-CGNA*: A novel protein-rich lupin variety (*Lupinus luteus*). *Food Research International*. 76:719-724.

Reséndiz-Vázquez, J. A., Ulloa, J. A., Urías-Silvas, J. E., Bautista-Rosales, P. U., Ramírez-Ramírez, J. C., Rosas-Ulloa, P. 2017. Effect of high-intensity ultrasound on the technofunctional properties and structure of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed protein isolate. *Ultrasonic Sonochemistry*. 37:436-444.

Sagiroglu, A., Ozcan, H. M., Satana, A. 2009. Functional and biochemical properties of proteins from safflower seed. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*. 39:159-169.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2015. <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/el-cartamo-planta-multifacetica> [23 de febrero 2017].

Shevkani, K., Singh, N., Kaur, A., Rana, J. C. 2015. Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study. *Food Hydrocolloids*. 43:679-689.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, cierre de la producción agrícola por estado, 2010-2014. [http://infosiap.siap.gob.mx/agricola\\_siap\\_gb/cultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/cultivo/index.jsp) [06 de marzo 2017].

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, monografía del cártamo, 2016. [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96179/C\\_rtamo\\_monografias.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96179/C_rtamo_monografias.pdf) [06 de marzo 2017].

Sogi, D. S., Garg, S. K., Bawa, A. S. 2002. Functional properties of seed meals and protein concentrates from tomato processing waste. *Journal of Food Science*. 67:2997-3001

Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D., Nickerson, M. T. 2015. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food Research International*. 76:31-38.

Sujak, A., Kotlarz, A., Strobel, W. 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry*. 98:711-719.

Tadapaneni, R. K., Syamaladevi, R. M., Villa-Rojas, R., Tang, J. 2017. Design of a novel test cell to study the influence of water activity on the thermal resistance of *Salmonella* in low-moisture foods. *Journal of Food Engineering*. 208:48-56.

Tang, C. H., Wang, X. Y., Yang, X. Q., Li, L. 2009. Formation of soluble aggregates from insoluble commercial soy protein isolate by means of ultrasonic treatment and their gelling properties. *Journal of Food Engineering*. 92(4):432-437.

Tasneem, R., Prakash, V. 1992. Effect of aqueous ethanol wash on the physicochemical and functional properties of safflower (*Carthamus tinctorius*) seed proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 59:237-244.

Timilsena, Y. P., Adhikaria, R., Barrow, C. J., Adhikaria, B. 2016. Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food Chemistry*. 212:648-656.

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ulloa-Rangel, B. E. 2011. Physicochemical and functional properties of a protein isolate produced from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) meal by ultrafiltration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91:572-577.

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramirez-Ramirez, J. C., Ulloa-Rangel, B. E. 2012. Producción de aislados proteicos a partir de subproductos industriales. *Revista Fuente Nueva Época*. 11:9-15.

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramirez-Ramirez, J. C., Ulloa-Rangel, B. E. 2013. Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente Nueva Época*. 14:1-13.

Ulloa, J. A., Ibarra-Zavala, S. J., Ramirez-Salas, S. P., Rosas-Ulloa, P., Ramirez-Ramirez, J. C., Ulloa-Rangel, B. E. 2015. Chemical, physicochemical, nutritional, microbiological, sensory and rehydration characteristics of instant whole beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Technology and Biotechnology*. 53:48-56.

Valero, M., Recrosio, N., Saura, D., Muñoz, N., Martí, N., Lizama, V. 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *Journal of Food Engineering*. 80:509-516.

Vázquez-Ortiz, F. A., Caire, G., Higuera-Ciapara, I., Hernández, G. 1995. High Performance Liquid Chromatographic Determination of Free Amino Acids in Shrimp. *Journal of Liquid Chromatography*. 18:2059-2068.

Wang, S.H., Rocha, G.O., Nascimento, T., Ascheri, J.L.R. 2006. Absorção de água e propriedades espumantes de farinhas extrusadas de trigo e soja. *Ciência e Tecnologia em Alimentos* 26:475-481.

Wang, X. S., Tang, C. H., Yang, X. Q., Gao, W. R. 2008. Characterization, amino acid composition and in vitro digestibility of hemp (*Cannabis sativa* L.) proteins. *Food Chemistry*. 107:11-18.

Wang, X., Gao, W., Zhang, J., Zhang, H., Li, J., He, X. 2010. Subunit, amino acid composition and in vitro digestibility of protein isolates from Chinese kabuli and desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Research International*. 43:567-572.

Wu, H., Hulbert, G. J., Mount, J. R. 2000. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 1:211-218.

YanJun, S., Jianhang, C., Shuwen, Z., Hongjuan, L., Jing, L., Lu, L. 2014. Effect of power ultrasound pretreatment on the physical and functional properties of reconstituted milk protein concentrate. *Journal of Food Engineering*. 124:11-18.

Yepes, S., Montoya, L., Orozco, F. 2008. Valorización de residuos agroindustriales frutas en Medellín y el Sur de Valle de Aburrá, Colombia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía. Medellín*. 611:4422-4431.



Yin, S.W., Tang, C.H., Cao, J.S., Hub, E.K., Wen, Q.B., Yang, X.Q. 2007. Effects of limited enzymatic hydrolysis with trypsin on the functional properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolate. *Food Chemistry*. 106:1004-1013.

Yu, J., Ahmedna, M., Goktepe, I. 2007. Peanut protein concentrate: production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*. 103:121-129.

Yuliana, M., Truong, C. T., Huynh, L. H., Ho, Q. P., Ju, Y. 2014. Isolation and characterization of protein isolated from defatted cashew nut shell: Influence of pH and NaCl on solubility and functional properties. *Food Science and Technology*. 55:621-626.

Zhou, M., Liu, J., Zhou, Y., Huang, J., Liu, F., Pan, S. 2016. Effect of high intensity ultrasound on physicochemical and functional properties of soybean glycinin at different ionic strengths. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 34:205-213.