

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



**PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DE UN
AISLADO PROTEÍNICÓ A PARTIR DE SEMILLA DE JACA (*Artocarpus
heterophyllus* L.)**

PRESENTA

IBQ. MAYTE CAROLINA VILLALOBOS BARBOSA

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN
DEL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN EL ÁREA DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. JOSÉ ARMANDO ULLOA**

XALISCO, NAYARIT; JUNIO 2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/135/15

Xalisco, Nayarit., 12 de junio de 2015

Ing. Alfredo González Jáuregui
Director de Administración Escolar
P r e s e n t e .

Con base al oficio de fecha 08 de junio de 2015, enviado por los CC. **Dr. José Armando Ulloa, M. en C. Petra Rosas Ulloa, Dr. José Carmen Ramírez Ramírez, M. en C. Yessica Silva Carrillo, y Dr. Liborio González Torres**, donde se nos indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que pide el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, se autoriza a la **C. Mayte Carolina Villalobos Barbosa**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestro.

Sin más por el momento, me despido de usted y reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del posgrado



Expediente.

8ref.

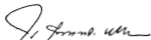
Tepic, Nayarit, a 8 de Junio de 2015.

Juan Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias
Universidad Autónoma de Nayarit
asistente:

que suscribimos, integrantes del Comité Tutorial de la IBQ. Mayte Carolina Villalobos Rosas, declaramos que hemos revisado la tesis titulada Preparación y caracterización fisicoquímica y funcional de un aislado proteínico a partir de semilla de jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) y aprobamos que puede ser presentada para aspirar al grado de Maestro en Ciencias Biológico Agropecuarias con la opción terminal en Ciencias Agrícolas.

Atentamente

El Comité Tutorial


Dr. José Armando Ulloa
Director


M. en C Petra Rosas Ulloa
Co-Directora


Dr. José Carmen Ramírez Ramírez
Asesor


M. en C. Yessica Silva Carrillo
Asesor


Dr. Liborio González Torres
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos

A mi amado esposo

por su incondicional apoyo y amor...

AGRADECIMIENTOS

Dr. José Armando Ulloa, por su confianza brindada al aceptarme ser parte de su equipo de laboratorio, y por su gran paciencia.

M. en C. Juan Alberto Reséndiz Vázquez, por su gran paciencia, apoyo incondicional, enseñanzas, consejos y regaños, por su extraordinaria amistad, y por todo el tiempo que batallamos en el proyecto, por motivarme a seguir intentando y por seguir ahí.

M. en C. Petra Rosas Ulloa, por su cariño y apoyo en todo momento.

Dr. Pedro Ulises Bautista, mi infinito agradecimiento por ayudarnos con el recurso de equipos y material de laboratorio, y sobre todo por motivarnos, además de su excelente amistad.

Dr. José Carmen Ramírez Ramírez y a la M. en C. Yessica Silva Carrillo, por ser parte de mi comité tutorial, por sus consejos y motivación.

Q.F.B Ixel Araceli Banderas Cruz, por su amistad, por su apoyo y consejo en algunas pruebas funcionales.

A mis compañeros, Q.F.B Polo por ambientar el lugar con su música, y por hacerme reír en momentos difíciles, I.Q. Rosario por escucharme y brindarme su valiosa amistad, a Janet, Toño, Eddy, Mariel, Lucy, Graciela, mil gracias por todos esos momentos que pasamos juntos, que jamás olvidaré.

ÍNDICE

CONTENIDO	Página
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Los residuos de alimentos.....	3
Valorización de residuos de frutas.....	3
Residuos de jaca y su aprovechamiento.....	4
Producción de aislados proteínicos.....	7
Propiedades funcionales de proteínas.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
Obtención de la materia prima y su preparación.....	16
Curva de solubilidad de proteína.....	16
Preparación del aislado proteínico.....	16
Tratamiento con ultrasonido al aislado proteínico.....	17
Caracterización fisicoquímica.....	17
Caracterización funcional.....	18
Análisis estadístico.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES.....	30
LITERATURA CITADA.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Producción nacional agrícola de jaca.....	4
2	Producción de jaca en el estado de Nayarit.....	5
3	Composición química de las semillas y harina de la semilla de jaca.....	6
4	Propiedades funcionales de proteínas en alimentos.....	10
5	Composición proximal y propiedades funcionales del co-precipitado proteico de frijol-garbanzo-ajonjolí.....	13
6	Algunas propiedades funcionales de proteínas alimentarias obtenidas de distintas fuentes y métodos.....	13
7	Propiedades emulsificantes y espumantes del aislado proteico de semillas de melón amargo y del aislado proteínico de soya.....	14
8	Capacidad espumante y capacidad emulsificante del aislado proteico de semilla de zapote.....	15
9	Propiedades funcionales del aislado proteínico de semillas de sandía.....	15
10	Análisis proximal de la harina desengrasada de semilla de jaca (HDSJ), aislado proteínico de harina de semilla de jaca (APSJ) y aislado proteínico de harina de semilla de jaca con tratamiento de ultrasonido (APSJU).....	22
11	Color y densidad del aislado proteínico de harina de semilla de jaca con tratamiento de ultrasonido (APSJU).....	24
12	Capacidad de absorción de agua, aceite y emulsionante.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Diagrama esquemático del proceso de extracción alcalina y precipitación alcalina para la producción de aislados proteicos.....	11
2	Curva de solubilidad de proteína de la harina desengrasada de semilla de jaca.....	21
3	Curva de solubilidad de proteína del aislado de semilla de jaca tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indican diferencia estadística ($P < 0.05$).....	26
4	Efecto del pH sobre la concentración mínima de gelificación, del aislado proteínico de harina de semillas de jaca, tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indican diferencia estadística ($P < 0.05$).....	27
5	Efecto del pH sobre la actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión del aislado proteínico de harina de semillas de jaca, tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indican diferencia estadística ($P < 0.05$).....	28
6	Efecto del pH sobre la actividad espumante y estabilidad de la espuma del aislado proteínico de harina desengrasada de semillas de jaca, tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$).....	29

INTRODUCCIÓN

Los residuos de la industria de alimentos provienen del procesamiento de los distintos grupos de alimentos, destacando el de las frutas y verduras.

Los subproductos o residuos de las frutas generados en las diferentes etapas de los procesos industriales se componen de cáscara, corteza, semillas y pulpa no aprovechable. Dentro de los principales componentes presentes en los residuos de frutas se encuentran fibra, azúcares, grasa, proteínas, pectinas, ácidos orgánicos, antioxidantes, fenoles, vitaminas, minerales, saborizantes y otras sustancias bioactivas. Sin embargo, uno de los componentes que menos atención tienen en términos de su recuperación a partir de residuos del procesamiento de frutas son las proteínas.

Dentro de las principales opciones para la recuperación de proteínas se encuentra la producción de aislados proteínicos, y en el caso de las frutas, resulta atractivo su obtención a partir de las semillas, ya que en esta parte es donde suele concentrarse de manera importante dichos nutrientes. Además de recuperar las proteínas de subproductos o residuos en forma relativamente purificadas, es necesario realizar su evaluación para determinar su uso potencial en alimentos para consumo humano. En ese sentido, la evaluación de las propiedades funcionales de los aislados proteínicos, representa una estrategia necesaria para determinar cuáles propiedades no nutritivas pueden potenciar dichos materiales para recomendar su aplicación en alimentos.

Dado que las semillas de jaca generalmente constituyen un residuo derivado del aprovechamiento de tal fruto, y a la luz de la información documental disponible, tal residuo no ha sido considerado para la recuperación de proteínas en forma de aislado proteínico, en el presente trabajo se plantea la propuesta de producción de un aislado proteínico a partir semillas de jaca, así como la valoración de sus propiedades funcionales, para determinar la potencialidad de su uso como aditivo en alimentos procesados y realizar las recomendaciones pertinentes.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Preparar y caracterizar físicoquímica y funcionalmente un aislado proteínico a partir de semillas de jaca.

Objetivos particulares

Preparar un aislado proteínico por precipitación isoelectrica a partir de semillas de jaca.

Caracterizar físicoquímicamente el aislado proteínico de jaca mediante análisis proximal, actividad de agua, color (L^* , a^* , b^*) y densidad.

Caracterizar funcionalmente el aislado proteínico de jaca mediante la capacidad de absorción de agua y aceite, capacidad de emulsificación, perfil de solubilidad de nitrógeno, cantidad mínima de gelificación, capacidad y estabilidad de espumado, así como la actividad y estabilidad de emulsificación.

Hipótesis

El aislado proteínico obtenido a partir de semillas de jaca, por precipitación isoelectrica, posee características físicoquímicas y funcionales que permiten su recomendación para uso como ingrediente en alimentos para consumo humano.

REVISIÓN DE LITERATURA

Los residuos de alimentos

A nivel mundial se producen alrededor de 1,600 millones de toneladas de residuos sólidos por año. La generación e inapropiado manejo de tales residuos o subproductos se considera como uno de los principales problemas ambientales asociados con las emisiones de metano y dióxido de carbono, la emisión de olores de los vertederos, así como con la calidad del agua y del aire de la superficie (Angulo et al., 2012).

Ciertas estimaciones indican que hasta el 42% de los residuos de alimentos provienen del hogar, 39% de las pérdidas ocurren en la industria manufacturera de alimentos, 14% pertenecen al sector de servicios de alimentos (comidas rápidas, banquetes y restaurantes), mientras que el 5% corresponden a las pérdidas relacionadas con la cadena de distribución de alimentos, sin incluir las pérdidas agrícolas (Mirabella et al., 2013). Sin embargo, muchos de esos residuos tienen el potencial para ser re-usados en otros sistemas de producción.

Los residuos de la industria de alimentos, a los que se les ha considerado recientemente con un potencial para su utilización en alimentación humana, son provenientes del procesamiento de los distintos grupos de alimentos: frutas y verduras (Ribeiro da Silva et al., 2014), leche (Barille et al., 2009; Cheirsilp y Radchabut, 2011), carne (Bhaskar et al., 2007), cereales (Patsioura et al., 2011), tubérculos (Oreopoulou y Tzia, 2007; Falade y Akingbala, 2011) y oleaginosas (Galanakis, 2010; Ghanbari et al., 2012).

Valorización de residuos de frutas

De particular interés resultan los trabajos de investigación enfocados a la valorización de los residuos de frutas procedentes de su industrialización (O'Shea et al., 2012; Aguedo et al., 2012), los cuales pueden representar del 10 al 60% del peso de la fruta (Ayala-Zavala et al., 2010).

Los subproductos o residuos de las frutas generados en las diferentes etapas de los procesos industriales se componen de cáscara, corteza, semillas y pulpa no aprovechable, los que generalmente no son utilizados y en consecuencia descartados (Ajila et al., 2007). Dentro de los principales componentes presentes en los residuos de frutas se encuentran fibra, azúcares, grasa, proteínas, pectinas, ácidos orgánicos, antioxidantes, fenoles, vitaminas, minerales, saborizantes y otras sustancias bioactivas (García et al., 2009; González-Centeno et al., 2010; Ayala-Zavala et al., 2011; Obon et al., 2011; Reis et al., 2012).

Residuos de jaca y su aprovechamiento

Artocarpus heterophyllus Lam, conocido como jaca en México, pertenece a la familia *Moraceae* y es uno de los árboles más importantes encontrados en los jardines de las casas de la India y Bangladesh. El árbol de jaca produce las frutas más grandes en el mundo y un árbol maduro puede producir entre dos y doscientas frutas, llegando a pesar hasta 45 kg y medir 90 cm de largo y 50 cm de diámetro.

En México y particularmente en Nayarit, la jaca se introdujo en el año de 1997, siendo dicha entidad actualmente la principal a nivel nacional.

Como se muestra en el cuadro 1, la distribución del fruto en nuestro país se encuentra principalmente en las regiones con climas cálidos subhúmedos como Colima, Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Veracruz, pero principalmente en Nayarit con una producción de 13,221.62 ton anuales, representando un 93.6% del total.

Cuadro 1. Producción nacional agrícola de jaca

Ubicación	Producción (Ton)	Valor producción (miles \$)
Colima	136.5	884
Jalisco	135.7	379.75
Michoacán	17.1	95.35
Nayarit	13,221.62	97,720.63
Sinaloa	191	1,163.50
Veracruz	417	3,114.10
Total	14,118.92	103,357.33

Fuente: SIAP (2014)

Por otra parte, Nayarit cuenta con un alto nivel de producción de jaca, aunque cada municipio tiene una aportación distinta (cuadro 2). Cabe destacar que quienes encabezan la lista de producción de jaca son los municipios que se encuentran en zonas costeras, como el municipio de San Blas con 10,585.37 ton anuales, debido al clima y al suelo que hacen factible el desarrollo del fruto.

Cuadro 2. Producción de jaca en el estado de Nayarit

Ubicación	Producción (Ton)	Valor producción (Miles \$)
Bahía de Banderas	167.00	1,126.46
Compostela	2,055.70	15,449.76
Rosamorada	7.25	57.99
San Blas	10,585.37	78,068.06
Santiago Ixcuintla	137.50	1,100.00
Tecuala	45.50	273.00
Tepic	146.30	1,075.27
Tuxpan	11.00	88.00
Xalisco	66.00	481
Total	13,221.62	97,720.63

Fuente: SIAP (2014)

La proporción de subproductos o residuos generados por el procesamiento de frutas es particular para cada una de ellas, aunque también existen diferencias significativas entre sus variedades. En la jaca, los residuos después de su procesamiento pueden constituir hasta el 70% del peso total de la fruta y están representados por semillas, piel, corteza, corazón y partes florales no fertilizadas (Ulloa et al., 2007).

La semilla de jaca es buena fuente de almidón (22%) y fibra dietética (3.19%); además contienen proteínas, lignanas, isoflavonas, saponinas, todos ellos fitonutrientes relacionados con beneficios para la salud con propiedades anti-cáncer, antihipertensivos, antienviejecimiento, antioxidantes, anti-úlceras, entre otras (Hettiarachchi et al., 2011; Omale y Friday, 2010; Swami et al., 2012) (cuadro 3).

Las semillas contenidas en la fruta de jaca pueden llegar a representar del 8% al 15% del peso total de la misma (Mukprasirt y Sajjaanantakul, 2010).

En general, los trabajos realizados para el aprovechamiento de los residuos del procesamiento de frutas están enfocados principalmente al rescate de ciertas sustancias bioactivas, aunque en el caso particular de las semillas de dicha fruta existe una fracción importante de sus componentes, como es el caso de las proteínas, las cuales no han sido estudiadas y que podrían ser utilizadas para la elaboración de concentrados o aislados proteicos con potencial de uso como ingredientes de alimentos para consumo humano, una vez que se determinen sus propiedades químicas, fisicoquímicas, nutritivas y funcionales (Rangel et al., 2004; Wani et al., 2011).

Cuadro 3. Composición química de las semillas y harina de la semilla de jaca (g por 100 g)

Componente	Semilla de jaca ^a	Harina de semilla ^b
Agua	51.0-64.5	7.3 ± 1.03
Proteína	6.6-7.04	20 ± 0.84
Grasa	0.40-0.43	2.5 ± 0.6
Carbohidratos	25.8-38.4	67
Fibra	1.0-1.5	
<i>Minerales</i>		
Minerales totales	0.9-1.2	3.02 ± 0.03
Calcio	50	
Magnesio	54	
Fósforo	38.0-97.0	
Potasio	246	
Sodio	63.2	
Hierro	1.5	
<i>Vitaminas</i>		
Tiamina (mg)	0.25	
Riboflavina (mg)	0.11-0.3	
Vitamina C (mg)	11	
Energía (kJ)	133-139	

^aBaliga et al., (2011).

^bLima et al., (2014)

Producción de aislados proteínicos

Un aislado proteínico es un material caracterizado por contener al menos el 90% de proteínas. Si se considera que las materias primas, a partir de las cuales se obtiene un aislado proteico, contienen una proporción mucho menor al 90% de proteínas, entonces el proceso de producción de un aislado proteínico consiste básicamente en una concentración y/o purificación de las proteínas de la fuente hasta lograr un valor del 90%. 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) la concentración y/o purificación de las proteínas y (3) la deshidratación del extracto concentrado y/o purificado de las mismas (Ulloa et al., 2012)

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

Después de la extracción de proteínas, en el proceso de obtención de aislados proteicos, dichos extractos se someten a la segunda etapa que es la de concentración y/o purificación de proteínas. Para ello se pueden aplicar tres procedimientos, de los cuales dos son de tipo fisicoquímico (precipitación isoelectrica o precipitación por salado) y el otro de tipo fisico (ultrafiltración), todos ellos derivados de la manipulación de propiedades de las proteínas (Boye et al., 2010a).

En el caso de la precipitación isoelectrica, el extracto proteico se ajusta a un valor de pH definido (punto isoelectrico) para favorecer la precipitación de proteínas con lo que se generan dos fases: un suero y un coágulo. El suero contiene diversas sustancias indeseables solubles a ese valor de pH junto con una pequeña fracción de proteína, el cual se desecha por

centrifugación, mientras que el coágulo está compuesto fundamentalmente de proteínas (Lqari, et al., 2002).

Para la precipitación por salado, el extracto proteico se expone a una sal neutra a determinada concentración y/o fuerza iónica, controlando la temperatura y el pH, lo que provoca precisamente la formación de dos fases: un suero y un coágulo. Al igual que en la precipitación isoelectrica el suero se desecha y el coágulo se re-solubiliza en una pequeña cantidad de agua ajustando el valor de pH a 7 y el extracto de proteína concentrado y purificado queda listo para incorporarse a la tercera etapa del proceso (Boye et al., 2010b).

La concentración y/o 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 de un sistema llamado ultrafiltración, generándose dos corrientes: el retenido que es el extracto concentrado y/o purificado de proteína y el permeado que está constituido por agua y solutos de bajo peso molecular (Ulloa et al., 2011).

Para obtener un aislado proteico en forma de polvo, a los extractos purificados y/o concentrados obtenidos por los procedimientos ya descritos se les debe eliminar la mayor cantidad de agua posible. El método utilizado para la eliminación de agua de los extractos proteicos generalmente es la deshidratación, la cual puede ser de dos tipos: la liofilización o el 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. En el caso del secado por aspersión, los extractos proteicos son expuestos en forma de una nube (formada por partículas muy pequeñas del extracto) a una corriente de aire seco y caliente en una cámara de secado, lo que permite la rápida evaporación de agua con la consecuente formación inmediata de la partículas de polvo del aislado proteico, polvos que son separados de la corriente del aire de secado ya húmedo y parcialmente frío a través de separadores de partículas llamados ciclónicos (Joshi et al., 2011).

Propiedades funcionales de proteínas

La calidad y utilidad tecnológica de las proteínas alimenticias están determinadas por su valor nutricional y propiedades funcionales. Cuando las proteínas no se consideran como el principal componente alimenticio, sino como una de los muchos constituyentes, su funcionalidad puede considerarse como el criterio más importante, aún más que su valor nutritivo (Lampart-Szczapa et al., 2006).

Las propiedades funcionales son las propiedades fisicoquímicas que determinan su comportamiento en los alimentos durante su procesamiento, almacenamiento y consumo. Esas propiedades y la manera en las cuales las proteínas interactúan con otros componentes directa e indirectamente afectan sus aplicaciones, así como la calidad de los alimentos y su aceptación (Subagio, 2006).

La importancia de las propiedades funcionales varía con el tipo de producto alimenticio en el cual las proteínas se utilizan. Por ejemplo, las proteínas con altas propiedades de retención de agua y aceites son deseables para utilizarse en carnes, chorizos, panes, pasteles, mientras que aquellas proteínas con altas capacidades emulsificantes y de espumado son buenas para la elaboración de aderezos de ensaladas, sopas, postres congelados y pasteles (Ahmedna et al., 1999).

En el cuadro 4, se resumen las principales propiedades funcionales de las proteínas y su relación con los mecanismos que las originan, así como su aplicación en alimentos.

La capacidad de retención de agua, emulsificación, formación de espuma, viscosidad y gelación son algunas de las propiedades funcionales de las proteínas, las cuales están relacionadas con sus factores intrínsecos tales como la estructura y tamaño molecular, así como muchos factores ambientales, incluyendo el método de producción o separación de las proteínas, pH, fuerza iónica y la presencia de otros componentes en los sistemas alimenticios (Yu et al., 2007).

De acuerdo a Boye et al. (2010b), para el caso de leguminosas, se identifican seis técnicas en la producción de concentrados o aislados proteicos: clasificación con aire, extracción alcalina/precipitación isoeléctrica (Figura 1), extracción ácida, extracción acuosa, extracción salina (micelización) y ultrafiltración.

Cuadro 4. Propiedades funcionales de proteínas en alimentos

Función	Mecanismo	Alimentos
Solubilidad	Hidrofilia	Bebidas
Viscosidad	Fijación de agua, tamaño y forma hidrodinámica.	Sopa, caldo, aderezos para ensalada, postres
Fijación de agua	Puentes de hidrógeno, hidratación iónica	Salchichas, biscochos, pan
Gelificación	Atrapamiento e inmovilización de agua, formación de una red tridimensional	Carnes, geles, bizcochos y quesos
Cohesión-adhesión	Interacciones hidrofóbicas e iónicas, y puentes de hidrógeno	Carnes, salchichas, pastas, productos horneados
Elasticidad	Interacciones hidrofóbicas, puentes disulfuro	Carnes, productos horneados
Emulsión	Adsorción y formación de películas en la interfase	Salchichas, sopas, bizcochos, aderezos
Formación de espuma	Adsorción en la interfase y formación de películas	Batidos ornamentales, helados, bizcochos, postres
Formación de grasa y sabores	Interacciones hidrofóbicas, atrapamiento	Productos horneados pobres en grasa, buñuelos

Fuente: Badui (2006)

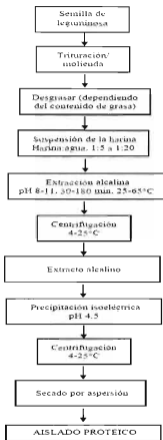


Figura 1. Diagrama esquemático del proceso de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica para la producción de aislados proteicos.

Como ya se ha mencionado, las propiedades funcionales que exhiben las proteínas alimenticias están determinadas por su composición de aminoácidos, la conformación y estructura de la proteína (por ejemplo, hidrofobicidad superficial, relación hidrofobicidad/hidrofilidad), así como las condiciones de proceso tales como pH, temperatura e interacciones que ocurren entre las proteínas y otros componentes de los alimentos (por ejemplo sales, grasas, carbohidratos y fenoles) (Boye et al., (2010b).

Por otra parte, también existen los productos llamados co-precipitados proteínicos, que originalmente se referían a productos elaborados por la acidificación y calentamiento de una combinación de caseínas y proteínas del suero de la leche. Inicialmente el término fue confinado a co-precipitados producidos de leche, aunque después se amplió para incluir mezclas de proteínas de leche con proteínas de otras fuentes. Los co-precipitados son producidos por coagulación isoeléctrica con la precipitación que ocurre como resultado del efecto simultáneo de la combinación de ácido y calor, o calor ácido y agentes precipitantes como el cloruro de sodio. Actualmente, las tres principales categorías de co-precipitados son: co-precipitados lácteos (caseína y suero), co-precipitados proteínicos de plantas (elaborados a partir de una mezcla de dos o más proteínas) y co-precipitados de proteínas lácteas y proteínas de plantas (Alu'dat et al., 2013).

En los cuadros 5 y 6 se presentan ejemplos de co-precipitados proteínicos y algunas de sus principales características. Como puede observarse, las propiedades funcionales como la absorción de agua y absorción de aceite varían ampliamente según la materia prima de donde provengan y el método de obtención.

De acuerdo a lo reportado por Alu'dat et al. (2013), los valores de absorción de agua de 147.78% y 275.98% corresponden a aislados proteínicos de frijol y suero de leche, respectivamente, mientras para un co-precipitado obtenido a partir de ambas fuentes de proteínas, se logra un valor intermedio de 190.69% de dicha propiedad funcional (cuadro 5), pero en el caso del co-precipitado de frijol-garbanzo-ajonjolí, el valor de absorción de agua fue de 232 %.

Cuadro 5. Composición proximal y propiedades funcionales del co-precipitado proteico de frijol-garbanzo-ajonjolí

Propiedades	Co-precipitado proteico
<i>Composición proximal</i>	
Humedad (%)	5.76
Proteína cruda (%) (N total x 6.25)	91.2
Extracto etéreo (%)	0.51
Cenizas (%)	4.22
Carbohidratos (%)	4.02
<i>Propiedades funcionales</i>	
Absorción de agua (%)	232
Absorción de grasa (%)	74.0
Capacidad emulsificante (ml aceite/100 g)	79.0
Capacidad espumante (%)	220

Fuente: Alu'dat et al. (2013)

En el caso de la absorción de aceite, se observó la misma tendencia que para la absorción de agua, para el caso de la proteína de frijol, proteína de suero y de leche y el co-precipitado de proteína de frijol y suero de leche (cuadro 6).

Cuadro 6. Algunas propiedades funcionales de proteínas alimentarias obtenidas de distintas fuentes y métodos

Propiedad funcional	Proteína de frijol	Co-precipitado de proteína de frijol y suero de leche	Proteína de suero de leche
Absorción de agua (g agua/100 g)	275.98	190.69	147.78
Absorción de aceite (ml aceite/100 g)	107.6	99.6	82.6
Concentración de proteína para formar gel (% proteína)	7.0	4.0	6.5

Fuente: Alu'dat et al. (2013)

En los cuadros 7-9 se muestran algunos ejemplos de aislados proteicos obtenidos a partir de semillas de frutas y de sus propiedades funcionales.

La actividad emulsionante del aislado proteico obtenido a partir de semillas de melón amargo, resultó del 49% en comparación de aislado proteico de soya, mientras que la estabilidad de la emulsión fue mayor 2.5 veces para el aislado proteico de semilla de melón amargo en comparación con aislado proteico de soya (cuadro 7).

Cuadro 7. Propiedades emulsificantes y espumantes del aislado proteico de semillas de melón amargo y del aislado proteínico de soya

Propiedades	Aislado proteico de semillas de melón amargo	Aislado proteico de soya
<i>Emulsificantes</i>		
Actividad emulsificante	0.36 ± 0.02	0.73 ± 0.03
Estabilidad de la emulsión (min)	63.6 ± 8.3	25.4 ± 2.4
<i>Espumantes</i>		
Capacidad espumante (ml)	39.6 ± 1.2	61.0 ± 0.7
Estabilidad espumante (min)	21.5 ± 0.5	25.5 ± 1.7

Fuente: Horax et al., (2011).

Por otra parte, la capacidad y estabilidad espumante del aislado proteínico de soya resultaron superiores en un 54% y 18.6%, respectivamente, a las del aislado proteínico de semilla de melón amargo.

El efecto del pH en la capacidad espumante y capacidad emulsionante del aislado proteico obtenido a partir de las semillas de zapote se muestra en el cuadro 8. De acuerdo a dicha información, a valores de pH muy ácidos o muy básicos, tales propiedades funcionales se ven beneficiadas, siendo más marcado el beneficio a un pH alcalino. Es decir, la capacidad espumante es 16% superior cuando el valor pH aumenta de 2 a 10, mientras que la capacidad emulsificante es más alta en 16.5% por ese mismo cambio de pH.

Otra de las semillas que se han utilizado para la obtención de aislados proteínicos son las de la sandía (cuadro 8).

Cuadro 8. Capacidad espumante y capacidad emulsificante del aislado proteico de semilla de zapote

pH	Capacidad espumante (%)	Capacidad emulsificante (%)
2	66.12 ± 0.77	38.63 ± 3.20
4	30.38 ± 2.37	21.66 ± 3.93
6	31.70 ± 2.22	18.74 ± 2.95
8	35.64 ± 5.10	20.80 ± 2.41
10	76.79 ± 1.72	45.00 ± 3.89

Fuente: Bernardino-Nicanor et al. (2014).

De acuerdo a los resultados obtenidos por el estudio realizado por Lakshmi et al. (2011), las capacidades de absorción de agua y aceite del aislado proteico de semillas de sandía son 45% y 173% superiores a las del aislado proteico de frijol y 109% y 193% a las del co-precipitado de proteínas de frijol y suero de leche, respectivamente, lo cual indica la gran variabilidad de dichas propiedades funcionales en las proteínas señaladas.

Cuadro 9. Propiedades funcionales del aislado proteico de semillas de sandía

Propiedad	Valor	
Capacidad de absorción de agua (ml/g)	4.00 ± 0.02	
Capacidad de absorción de aceite (ml aceite/g)	2.92 ± 0.08	
Capacidad espumante		
Tiempo en min	Volumen espuma (ml)	Retención espuma %
0	32 ± 1.1	100
30	28 ± 0.9	87.5
60	27 ± 0.8	84.4
90	26 ± 0.5	81.3
120	26 ± 0.6	81.3

Fuente: Lakshmi et al. (2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la materia prima y su preparación

Las semillas de jaca fueron proporcionadas por la empresa procesadora de frutas deshidratadas Mexican Tropical Organics S. de R.L. de C.V. ubicada en Carretera Los Cocos-Aticama s/n San Blas, Nayarit. Para obtener la harina, las semillas se limpiaron con agua corriente y se segmentaron en trozos pequeños en un procesador de alimentos marca Moulinex, para enseguida deshidratarse a 30°C por 8 horas en una estufa de convección forzada Precision Scientific Modelo 27 a una velocidad del aire de 5 m/s (Precision Scientific Group, Chicago, USA). Posteriormente, el producto deshidratado se pulverizó en un molino Cyclotec Modelo 1093 (Foss Tecator, Slangerupgade, Denmark), para así obtener la harina de semilla de jaca. La harina obtenida de semilla de jaca se desengrasó por medio de una unidad piloto de extracción de sólido-líquido, utilizando como solvente éter etílico, durante 16 h.

Curva de solubilidad de proteína

Con el propósito de determinar las condiciones de máxima y mínima extracción de proteína en la harina desengrasada de semillas de jaca, se realizó un estudio de solubilidad de proteína por efecto del pH. Para ello se mezclaron 2 g de harina en 40 ml de agua destilada, ajustando el pH a 2, 4, 4.5, 6, 8, 10, 11, 12 y 13 con NaOH 0.1 N o HCl al 0.1 N, con ayuda de placa provista de un agitador magnético a 300 rpm durante 30 min. Enseguida, la suspensión se centrifugó a 4500 rpm (Mod. Z326k, Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Germany) durante 20 min a 25°C, y al sobrenadante se le determinó la proteína soluble por el método de Kjeldahl (AOAC, 1995). Se asumió como el punto isoeléctrico de la proteína, al valor del pH con la mínima extracción de proteína.

Preparación del aislado proteínico

Para la preparación del aislado proteínico se tomaron 10 g de harina desengrasada de las semillas de jaca y se mezclaron con 200 ml de agua destilada. La mezcla obtenida fue agitada en una placa con agitador magnético a 300 rpm y 25°C durante 30 min. El pH de la suspensión

se ajustó con NaOH 0.1 N al valor de máxima extracción de proteína de acuerdo a los resultados de la curva de solubilidad. Enseguida la suspensión se centrifugó a 4,500 rpm durante 20 min a 25 °C y al sobrenadante se le ajustó el pH con HCl 0.1 N al valor de la mínima extracción de proteína de acuerdo a la curva de solubilidad de proteína, manteniendo el sistema con agitación durante 30 min. A continuación, el precipitado proteínico fue separado por centrifugación a 4,500 rpm por 20 min, para mezclarse con alcohol etílico al 96% y separarlo nuevamente por centrifugación a 4,500 rpm durante 20 min. Finalmente el precipitado así obtenido se liofilizó.

Tratamiento con ultrasonido al aislado proteínico

Con el propósito de estimar el efecto de la exposición al ultrasonido en la pureza del aislado proteínico previamente obtenido, el producto liofilizado en forma de polvo se mezcló con agua destilada y se sonicó en un baño de ultrasonido Modelo 3510R-MT (100W-42.5kHz) (Bransons, Richmond, VA 23238) durante 1 h. Enseguida la suspensión proteica se ajustó a pH 11.5 con NaOH al 0.1 N, se agitó durante 20 min a 300 rpm y se centrifugó a 4,500 rpm durante 20 min. A continuación, el sobrenadante obtenido se ajustó a pH de 4 con HCl 0.1 N y el precipitado producido se recuperó por centrifugación a 4,500 rpm por 20 min, para luego mezclarse con alcohol etílico al 96% por 10 min a 300 rpm, centrifugarse a 4,500 rpm por 20 min y finalmente el precipitado obtenido se liofilizó. El producto obtenido de esta etapa fue el caracterizado fisicoquímica y funcionalmente, como a continuación se describe.

Caracterización fisicoquímica

Análisis proximal. El contenido de humedad, extracto etéreo, proteína cruda (N x 6.25), cenizas y carbohidratos totales tanto de la harina de las semillas de jaca y del aislado proteínico se determinaron mediante los métodos oficiales de la AOAC (1995).

Análisis de color. El color del aislado proteínico se determinó con un colorímetro Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta; Anaheim, CA, E.U.A.). Los valores de la mediciones se expresaron de acuerdo a la escala de color CIELab, donde L^* = luminosidad, $+a^*$ = rojizo, $-a^*$ = verdor, $+b^*$ = amarillez, $-b^*$ = azulado.

Densidad. Se determinó usando el método descrito por Monteiro y Prakash (1994). En una probeta graduada de 10 ml, que previamente se pesó, se depositó el polvo del aislado proteínico hasta completar su capacidad total, asegurándose de eliminar espacios libres entre las partículas. Enseguida se determinó el peso contenido del aislado proteico en la probeta por diferencia de peso y se calculó su densidad, la cual se expresó en g/ml.

Caracterización funcional

Capacidad de absorción de agua y aceite. La capacidad de absorción de agua se determinó mediante el método de Sosulski et al. (1962). Primeramente, se colocaron 0.5 g del aislado proteínico en un tubo de centrifuga de 25 ml previamente pesado para enseguida añadirle 10 ml de agua destilada y generar una mezcla homogénea con ayuda de un agitador tipo vortex. A continuación, la suspensión proteínica se centrifugó a 2,500 rpm durante 10 min a temperatura ambiente (25°C), para enseguida decantar el sobrenadante y pesar el residuo contenido en el tubo de centrifuga. La capacidad de absorción de agua se expresó como g de agua absorbida/g de aislado proteínico. El mismo método se utilizó para determinar la capacidad de absorción de aceite, utilizando aceite de maíz (marca Cristal).

Capacidad de emulsificación. Se preparó una emulsión de acuerdo al método reportado por Beuchat et al. (1977). Una muestra de 2 g de aislado proteínico se mezcló con 100 ml de agua destilada en una licuadora a alta velocidad durante 30 s; para enseguida añadirle aceite de maíz a través de una probeta graduada, mientras se mantenía en operación la licuadora para lograr la incorporación del aceite a la suspensión proteínica. El aumento súbito de la consistencia, juzgada por la resistencia al mezclado, se consideró como el punto de interrupción de la adición del aceite; la cantidad del aceite añadido hasta este punto fue interpretado como la capacidad de emulsificación del aislado proteínico. El resultado se expresó en ml de aceite utilizados en la formación de la emulsión/g de aislado proteínico.

Solubilidad de nitrógeno. Se tomaron muestras de 1 g del aislado proteínico, para suspenderse en agua destilada a diferentes valores de pH 2, 4, 4.5, 6, 8, 10, 11 y 12 utilizando el método descrito por Wang y Kinsella (1976). Esas suspensiones se centrifugaron a 4,500 rpm durante

20 min y el sobrenadante para determinar el contenido de nitrógeno por el método de Kjeldahl (AOAC, 1995) y determinar el % de nitrógeno soluble a cada valor de pH.

Concentración mínima de gelificación. La concentración mínima de gelificación se determinó por el método descrito por Abbey e Ibeth et al. (1988). Se tomaron muestras del aislado proteínico de 0.1 a 1 gramo y se mezclaron con 5 ml de agua destilada en tubos de 20 ml para centrifuga. Así también, para cada concentración proteínica, se ajustó el valor de pH a 2, 4, 6, 8 y 10 con HCl o NaOH 1N. Enseguida, los tubos fueron calentados durante 1 h en un baño de agua a 80°C, para enseguida enfriarlos en chorro de agua a temperatura ambiente durante 10 segundos aproximadamente y finalmente fueron almacenados durante 2 h en un refrigerador a 4 °C. La concentración mínima de gelificación se determinó como la concentración de proteína y pH a la cual la muestra de los tubos no se desprendió al invertirlos.

Actividad y estabilidad de emulsión. Para determinar la capacidad y estabilidad de emulsificación del aislado proteico se utilizó el método descrito por Yasamatsu et al. (1972). Se prepararon 5 suspensiones con 1 g del aislado proteico en 30 ml de agua destilada, ajustando su pH a un valor de 2, 4, 6, 8 o 10 con NaOH 0.1 N y HCl 0.1 N. Enseguida se añadieron a cada suspensión proteínica 30 ml de aceite de maíz, para enseguida mezclarlos en una licuadora a velocidad media durante un min. El producto obtenido mezclado se centrifugó en un tubo graduado a 1,200 rpm durante 5 min, registrando el volumen de la capa de emulsión. La actividad de emulsión se calculó con la siguiente ecuación:

$$AE (\%) = \left(\frac{\text{Volumen de fase emulsionada (ml)}}{\text{Volumen del contenido total en el tubo (ml)}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Para determinar la estabilidad de emulsión, la muestra se calentó a 80°C durante 30 min en un baño de agua, para luego enfriarlos a 25°C a chorro de agua y centrifugarlos a las condiciones previamente señaladas. La estabilidad de la emulsión se determinó con la siguiente ecuación:

$$EE (\%) = \left(\frac{\text{Volumen de emulsión después del calentamiento y centrifugado (ml)}}{\text{Volumen del contenido total en el tubo (ml)}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Capacidad y estabilidad de espumado. Para las propiedades de espumado se prepararon 5 suspensiones proteínicas mediante la adición de 2 g del aislado proteínico en 100 ml de agua destilada. El pH de las suspensiones se ajustó a 2, 4, 6, 8 y 10 con NaOH 0.1 N. Las suspensiones fueron mezcladas en una licuadora a baja velocidad durante 1 min a temperatura ambiente (25 °C). La espuma resultante se depositó en una probeta de 250 ml. El total del volumen de la espuma se registró, y la capacidad de espumado fue expresado como el porcentaje en el incremento del volumen. La estabilidad de la espuma se determinó de acuerdo al método propuesto por Kabirullah y Wills (1982). El volumen de la espuma se registró en 30 min después de su formación y la estabilidad de la espuma (EE) se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$EE (\%) = \left(\frac{\text{Volumen de espuma al transcurso de 30 min}}{\text{Volumen inicial de espuma}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Análisis estadístico

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas y funcionales fueron expresados como el promedio de dos determinaciones \pm desviación estándar. Además, dichos resultados se sometieron a un análisis de varianza y a la prueba de comparación múltiple mediante la prueba de Duncan, usando el paquete Statgraphic Plus Versión 4.0 (Manugistics, Inc., Rockville, MD, E.U.A). El nivel de significancia utilizado fue $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se muestra los resultados de la curva de solubilidad de proteína de la harina desengrasada de semilla de jaca por efecto del pH. De acuerdo a dichos resultados el valor máximo de solubilidad de proteína (80%) se logró a un pH de 12 y el valor mínimo (19.4%) el cual representa el punto isoelectrico a un pH de 4.

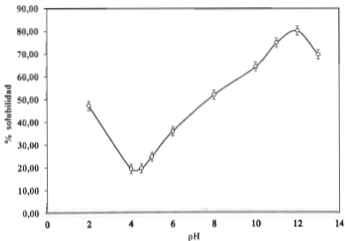


Figura 2. Curva de solubilidad de proteína de la harina desengrasada de semilla de jaca.

Los valores reportados para la mínima y máxima solubilidad de proteínas de 19.2% a pH 4 y 81.7% a pH 12 en proteínas de semilla de piñón criollo, resultaron similares a los obtenidos en este estudio para proteínas de semilla de jaca (Shate et al., 2011).

Sin embargo, considerando lo reportado por Cameán (2012), en el sentido de la formación de compuestos tóxicos, como la lisino-alanina (N-(DL-2-amino-2-carboxietil)-L-lisina), a

condiciones de pH altamente alcalinos (pH 12), para la obtención del aislado proteínico de este estudio, se decidió realizar la extracción de proteínas a un pH de 11.5, tal como se realizó para la extracción de proteínas de almacenamiento de la semilla de guayaba (Bernardino-Nicanor et al., 2006).

En el cuadro 10 se presentan los resultados de la composición proximal de la harina desengrasada de semilla de jaca (HDSJ) y los aislado proteínicos obtenidos.

Cuadro 10. Análisis proximal de la harina desengrasada de semilla de jaca (HDSJ), aislado proteínico de harina de semilla de jaca (APSJ) y aislado proteínico de harina de semilla de jaca tratado con ultrasonido (APSJU).

Componente (g/100 g)	HDSJ	APSJ	APSJU
Extracto etéreo	0.73 ± 0.18 ^a	0.24 ± 0.02 ^b	0.08 ± 0.02 ^a
Cenizas	3.43 ± 0.07 ^a	0.97 ± 0.15 ^b	1.52 ± 0.17 ^c
Humedad	10.25 ± 0.03 ^a	6.20 ± 0.22 ^b	5.63 ± 0.62 ^c
Proteínas (N x 6.5)	12.60 ± 0.23 ^a	79.20 ± 0.64 ^b	89.85 ± 0.01 ^c
Carbohidratos totales	72.98 ± 0.15 ^a	13.39 ± 0.50 ^b	2.83 ± 0.59 ^c

Los resultados obtenidos son la media ± desviación estándar de dos determinaciones. Los valores con superíndices distintos entre filas presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Otros estudios han analizado la composición proximal de harina de semilla de jaca. Lima et al. (2014) presentó los siguientes resultados para dicho material: carbohidratos totales 63%, proteínas 20%, humedad 7.3%, cenizas 3.2% y lípidos 2.5%. Por su parte Adetolu (2008) reportó que la composición proximal para la harina de semilla de jaca es carbohidratos totales 58.94%, proteínas 20.19%, humedad 2.78%, cenizas 6.72% y lípidos 11.39%. La composición proximal reportada para la harina de semilla de jaca por otros autores, presenta diferencias sustanciales con los resultados obtenidos en la presente investigación, debido probablemente a las diferencias entre las variedades de la fruta de donde se obtuvo la semilla, y a que en este estudio se trata de harina de semilla desengrasada.

La composición proximal del APSJ obtenido por precipitación isoeléctrica se muestra también en el cuadro 10; la concentración máxima de proteína lograda para el APSJ fue de 79.20%, por lo que en base a su contenido de proteína sería estrictamente clasificado no como un aislado, sino como un concentrado proteínico. Por tal razón, en el presente estudio se consideró pertinente la exploración del efecto del ultrasonido en la suspensión proteínica de APSJ, y como se esperaba se logró un aumento en la concentración proteínica en el producto sonificado. Es decir, el tratamiento de ultrasonido propició que contenido de proteína de la HDSJ original de 12.60% aumentara 7.13 veces en el APSJU para que su concentración final fuera de 89.85% en base húmeda o 95.31% en base seca.

El contenido de proteína del APSJU del presente estudio se encuentra por arriba del rango obtenido para otros aislados de semillas de frutas. Wani et al. (2011) reportó un contenido de proteína de 83.79% y 79.05% para aislados proteínicos de semilla de sandía de las variedades Mateera y Sygar Baby, respectivamente. Por su parte, Sharma et al. (2010) reportaron 68.8 % de proteína para el aislado proteínico obtenido a partir de albaricoque, mientras que Savadkoochi (2012) reportó un 88.22% para un aislado proteínico de semilla de tomate.

En el Cuadro 11 se presentan los resultados del análisis de color y densidad del APSJU. Dicho producto resulta relativamente claro por su valor de $L^*=65.14$ y tonalidades predominantes de rojo ($a^*=5.16$) y amarillo ($b^*=23.17$). El color en materiales alimenticios varía ampliamente según la presencia y concentración de los pigmentos responsables de dicha propiedad. En el caso del aislado proteínico a partir de semillas de piñón los parámetros obtenidos de color fueron $L^*=92.03$, $a^*=0.77$ y $b^*=4.68$ (Henríquez et al., 2008).

La densidad aparente del APSJU fue de 0.46 g/ml (Cuadro 11). La densidad aparente depende de los efectos combinados de factores interrelacionados como las fuerzas de atracción entre las partículas, tamaño de partículas y el número de puntos de contacto entre ellas (Peleg y Bagley, 1983). En el caso del aislado proteínico de semillas de tomate la densidad aparente reportada es de 0.33 g/ml (Liadakis, 1998), mientras que para el obtenido a partir de semillas de maracuyá es de 0.43 g/ml (Martínez et al., 2011).

Cuadro 11. Color y densidad aparente del aislado proteínico de harina de semilla de jaca tratada con ultrasonido (APSJU)

Determinación	Valor
L*(luminosidad)	65.14 ± 0.38
a* (rojo-verde)	5.16 ± 0.78
b* (amarillo-azul)	23.17 ± 0.69
Densidad aparente (g/ml)	0.36 ± 0.01

El APSJU de este estudio tuvo una capacidad de absorción de agua de 6.46 ml agua/g proteína (Cuadro 12), la cual es 61.5% más grande que la capacidad de absorción de agua del aislado proteínico de semilla de sandía, cuyo valor reportado es de 4.0 ml de agua/g de proteína (Lakshmi y Kaul., 2011). La capacidad de absorción de agua es una propiedad crítica de las proteínas en alimentos viscosos como sopas, pastas, flanes y productos horneados, porque se espera que esos alimentos absorban agua sin disolución de las proteínas, proporcionando por lo tanto cuerpo, consistencia y viscosidad (Seena y Srinhar. 2005).

Cuadro 12. Capacidad de absorción de agua, aceite y emulsionante

Determinación	Cantidad absorbida (ml/g proteína)
Capacidad de absorción de agua	6.46 ± 0.65
Capacidad de absorción de aceite	6.07 ± 0.36
Capacidad emulsionante	32.26 ± 0.70

La capacidad de absorción de aceite del APSJU fue 6.07 ml/g proteína (cuadro 12) el cual es 107.8% superior a la capacidad de absorción de aceite del aislado proteínico de semilla de sandía (2.92 ml/g proteína) (Lakshmi y Kaul, 2011). Los valores obtenidos de capacidad de absorción de aceite para el APSJU también resultaron superiores a algunos aislados proteínicos elaborados a partir de oleaginosas. Paredes-López y Ordorica-Falomir (1986) reportaron valores de 2.27 y 2.47 ml/g proteína para aislados proteínicos de cártamo obtenidos por precipitación isoeléctrica y micelización, respectivamente. Por otra parte Manak et al. (1980)

reportaron valores de 2.52 y 1.09 ml aceite/g proteína para aislados proteínicos de soja y cacahuete, respectivamente. El mecanismo de absorción grasa/aceite puede explicarse como un fenómeno de atrapamiento físico de aceite. La capacidad de absorción grasa/aceite es un determinante crítico en la retención del sabor. Una alta capacidad de absorción de aceite de la proteína se requiere en formulaciones de carne molida, extensores, denas, así como en productos horneados y sopas (Kaur y Singh, 2007). Los resultados del presente estudio indican que el APSJU posee una buena capacidad de absorción de aceite.

El APSJU obtenido en este estudio tuvo una capacidad emulsionante de 32.26 ml aceite/g proteína (cuadro 12). Dentro de los trabajos previos que han reportado la capacidad emulsionante de proteínas vegetales se encuentran las de frijol lupino con 164-169 ml aceite/g proteína (El-Adawy et al., 2001), soja con 168.7 ml aceite/g proteína (Wang y Zayas, 1992), chicharo con 69-76 ml aceite/g proteína (Gao et al., 2001) y ajonjolí con 130 ml aceite/g proteína (Khalid, 2003). Los resultados logrados en este estudio, respecto a la capacidad emulsionante de APSJU, se encuentran por abajo de rango reportado para otras proteínas vegetales.

La solubilidad de nitrógeno del APSJU en función del pH se muestra en la figura 3. El comportamiento de dicha solubilidad muestra dos regiones: una región de muy baja solubilidad a valores de pH inferiores a 4.0 y una región donde se incrementa significativamente la solubilidad a valores de pH superiores a 4.5. Es decir, dos regiones definidas a partir del punto isoeléctrico, que en este caso fue de pH a 4.0, con una solubilidad de nitrógeno de 5.25%. La solubilidad de nitrógeno a valores de pH diferentes puede servir como un indicador útil del funcionamiento de los aislados proteínicos en sistemas alimenticios, además para anticipar la desnaturalización de proteínas como resultado de su tratamiento químico o con calor. Al igual que en la mayoría de las proteínas vegetales, que tienen su punto isoeléctrico en valores de pH 4-5, en este trabajo el punto isoeléctrico del APSJU se encontró en dicho rango de pH.

El valor de solubilidad de proteína del APSJU a un pH de 10 fue 92.2%, mientras que los valores reportados por Horax et al. (2011) a esa misma condición, para aislados proteínicos de soya y semillas de melón amargo fueron de 67.5 y 80%, respectivamente. Es decir, la solubilidad de proteína de APSJU a pH de 10 se encuentra por arriba del rango de solubilidad de proteína a ese mismo valor de pH para las proteínas de los aislados de soya y semilla de melón amargo.

Por otra parte, la mínima solubilidad de proteína del APSJU que fue de 5.25% (a pH de 4), resultó inferior al de las proteínas del aislado de semillas de sandía con un 9% (a pH de 5) según Lakshmi y Kaul (2011), pero superior al de las proteínas del aislado de semillas de zapote mamey de 3.0% (a un pH de 4), según Bernardino-Nicanor et al. (2014).

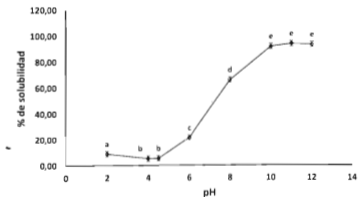


Figura 3. Curva de solubilidad de proteína del aislado de semilla de jaca tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$).

concentración mínima de gelificación del APSJU se muestra en la figura 4. La gelificación no es una agregación de moléculas desnaturalizadas, lo que es diferente a la coagulación, a la cual la agregación es aleatoria. La gelificación implica la formación de una red que exhibe cierto grado de orden. La concentración mínima o más baja de proteína para la gelificación a pH del APSJU fue de 9% a un pH 6 (figura 4), la cual se encuentra dentro del rango reportado a diversas proteínas vegetales como las del aislado proteínico de garbanzo, concentrado proteínico de frijol, caupi, aislado proteínico de frijol mungo y proteínas de semillas de lupino, con concentraciones de 14-18%, 8%, 12%, 10% y 14%, respectivamente (Kaur y Sing, 2007).

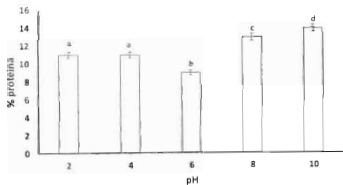


Figura 4. Efecto del pH sobre la concentración mínima de gelificación, del aislado proteínico de harina de semillas de jaca, tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indica diferencias estadística ($P < 0.05$).

Las emulsiones alimenticias son mezclas termodinámicamente inestables de líquidos miscibles (por ejemplo agua y aceite). La formación y estabilidad de emulsiones son muy importantes en sistemas alimenticios como en el caso de los aderezos para ensaladas. La

proteínas están compuestas de aminoácidos cargados, polares sin carga y no polares, los cuales hacen a las proteínas emulsificadores y surfactantes potenciales que poseen propiedades tanto hidrófilicas como hidrofóbicas y son capaces de interactuar tanto con agua como con aceite en sistemas alimenticios (Yu et al., 2007). Las propiedades emulsificantes del APSJU se muestran en la figura 5. En este estudio los valores más bajos de actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión ocurrieron a pH de 2 y 4, respectivamente, lo cual puede atribuirse a la baja solubilidad de proteínas a esos valores de pH. Por otra parte, la actividad emulsificante (126%) y estabilidad de la emulsión (126%) del APSJU fue máxima a los valores de pH 10 y 4-10, respectivamente, mientras que la actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión del aislado proteínico de semillas de sandía fueron 60.0% y 44.1%, respectivamente (El-Adawy y Taha, 2001), por lo tanto, dichas propiedades funcionales resultaron superiores para las proteínas del APSJU.

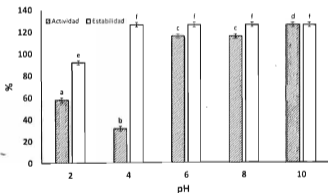


Figura 5. Efecto del pH sobre la actividad emulsificante y estabilidad de la emulsión del aislado proteínico de harina de semillas de jaca, tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indican diferencia estadística ($P < 0.05$).

La figura 6 muestra el efecto del pH sobre las propiedades espumantes del APSJU. La máxima capacidad espumante (254%) y estabilidad de la espuma (164%) se observaron a pH de 10, mientras que la mínima capacidad espumante (13%) y estabilidad espumante (68%) ocurrió a valores de pH de 4 y 8, respectivamente. La alta estabilidad de espumas a ciertos valores de pH puede deberse a la formación de capas moleculares estables en la interface aire-agua, lo cual imparte textura, estabilidad y elasticidad a las espumas (Richter, 1979). La capacidad espumante a pH de 10 del APSJU (254%) resultó mucho más grande que la del aislado proteínico obtenido de la semilla de sapote mamey (79.79%), de acuerdo a los resultados reportados por Bernardino-Nicanor et al. (2014). Por otra parte, la capacidad espumante de aislado proteico de semilla de melón amargo fue tan sólo de 39.6% (Bikram et al., 2011), mientras que la del aislado proteínico de semillas de sandía fue tan sólo del 32% (Lakshmi y Kaul, 2011).

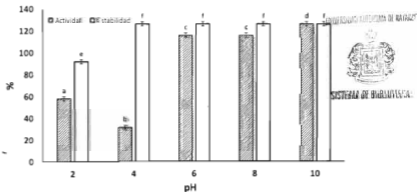


Figura 6. Efecto del pH sobre la capacidad espumante y estabilidad de la espuma del aislado proteínico de harina semillas de jaca, tratado con ultrasonido. Los valores son el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Las barras con distintas letras indican diferencia estadística ($P < 0.05$).

CONCLUSIONES

Las semillas de jaca, derivadas del aprovechamiento y procesamiento de la fruta, las cuales generalmente son descartadas como basura, pueden utilizarse para la producción de aislados proteínicos. El aislado proteínico de harina desengrasada de semillas de jaca, obtenido por precipitación isoelectrica y posterior tratamiento con ultrasonido, posee propiedades funcionales adecuadas para su uso como ingrediente en la elaboración de alimentos para consumo humano. En especial, dado que la capacidad de retención de agua y aceite del aislado obtenido en este estudio, resultaron superiores a las de otros aislados de semillas de frutas como el del sandía y también superiores a las de aislados obtenidos de pastas de oleaginosas como los de cártamo, soya y cacahuate, resulta apropiado su recomendación para su uso en alimentos viscosos como sopas, pastas, flanes, productos horneados, así como extensor en formulaciones de carne molida.

LITERATURA CITADA

- Abbey, B.W. and Ibeh, G.O. 1988. Functional properties of raw and heat processed cowpea flour. *Journal of Food Science* 53:1775-1791.
- Achouri, A., Nail, V., and Boye, J.I. 2012. Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. *Food Research International* 46:360-369.
- Adetolu, A.I. (2008) Comparative study of the chemical composition and mineral element content of *Artocarpus heterophyllus* and *Treculia africana* seeds and seed oils. *Bioresource Technology* 99: 5125-5129
- Aguedo, M., Kohnen, S., Rabetafika, N., Bossche, S.V., Sterckx, J., Blecker, C., Beauve, C., and Paquot, M. 2012. Composition of by-products from cooked fruit processing and potential use in food products. *Journal of Food Composition and Analysis* 27: 61-69.
- Ahmedna, M., Prinyawiwatkul, W., and Rao, R.M. 1999. Solubilized wheat protein isolate: functional properties and potential food applications. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 47:1340-1345.
- Ajila, C. M., Bhat, S. G., and Prasada Rao, U. J. S. 2007. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102: 1006-1011.
- Alu'datta, M.H., Al-Rabadi, G.J., Alli, I., Ercifej, K., Rababah, T., Alhamad, M.N., and Torley, P.J. 2013. Protein co-precipitates: A review of their preparation and functional properties. *Food and Bioproducts Processing* 91: 327-335.
- Angulo, J., Mahecha, L., Yepes, S. A., Yepes, A.M., Bustamante, G., Jaramillo, H., Valencia, E., Villamil, T., and Gallo, J. 2012. Quantitative and nutritional characterization of fruit and vegetable waste from marketplace: A potential use as bovine feedstuff? *Journal of Environmental Management* 95: S203-S209.
- AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 16th ed; Arlington, USA.
- Ayala-Zavala, J. F., Rosas-Dominguez, C., Vega-Vega, V., and Gonzalez-Aguilar, G. A. 2010. Antioxidant enrichment and antimicrobial protection of fresh-cut fruits using their own byproducts: Looking for integral exploitation. *Journal of Food Science* 25:175-181.

- Ayala-Zavala, J.F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., and Villa-Rodríguez, J.A. 2011. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International* 44:1866-1874.
- Badui, S. 2006. Proteínas. En: *Química de los Alimentos*. Pearson Editorial. México, D.F. pp 199-224.
- Baliga, M.S., Shivashankara, A.R., Haniadka, R., Dsouza, J., and Bhat, P. 2011. Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam (jackfruit): a review. *Food Research International* 44:1800-1811
- Barille, D., Tao, N., Lebrilla, C.B., Coisson, J.-D., Arlorio, M., and German, J.B. 2009. Permeate from cheese whey ultrafiltration is a source of milk oligosaccharides. *International Dairy Journal* 19:524-530.
- Beuchat, L.R. 1977. Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 25:258-261.
- Bernardino-Nicanor, A., Bravo-Delgado, C.H., Vivar-Vera, G., Martínez-Sánchez, C.E., Pérez-Silva, A., Rodríguez-Miranda, J., and Vivar-Vera, M.A. 2014. Preparation, composition, and functional properties of a protein isolate from a defatted mamey sapote (*Pouteria sapota*) seed meal. *CyTA - Journal of Food* 12:176-182.
- Bhaskar, N., Modi, V.K., Govindaraju, K., Radha, C., and Lalitha, R.G., 2007. Utilization of meat industry by products: protein hydrolysate from sheep visceral mass. *Bioresource Technology* 98:388-394.
- Boye, J.I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., and Rajamohamed, S.H. 2010a. 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.
- Boye, J., Zare, F., and Pletch, A. 2010b. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International* 43:414-431.
- Cameán, A.M, y Repetto M. 2012. *Toxicología Alimentaria*. Ediciones Diaz de Santos. S.A., Madrid, España. p. 507.

- Cheirsilp, B. and Radchabut, S. 2011. Use of whey lactose from dairy industry for economical kefir production by *Lactobacillus kefirifaciens* in mixed cultures with yeasts. *New Biotechnology* 28:574-580.
- El-Adawy, T.A., Rahma, E.H., El-Bedawey, A.A., and Gafar, A.F. 2001. Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates. *Food Chemistry* 74:455-462.
- Falade, K. O. and Akingbala, J. O. 2011. Utilization of cassava for food. *Food Reviews International* 27:51-83.
- Galanakis, C. M., Tornberg, E., and Gekas, V. 2010. A study of the recovery of the dietary fibres from olive mill wastewater and the gelling ability of the soluble fibre fraction. *LWT-Food Science and Technology*, 43:1009-1017.
- Gao, L., Nguyen, K.D., and Utioh, A.C. 2001. Pilot scale recovery of proteins from a pea whey discharge by ultrafiltration. *Lebensmittel Wissenschaft Technologie* 34:149-158.
- Garcia, Y. D., Valles, B. S., and Lobo, A. P. 2009. Phenolic and antioxidant composition of by-products from the cider industry: Apple pomace. *Food Chemistry*, 117:731-738.
- Ghanbari, R., Anwar, F., Alkharfy, K.M., Gilani, A.-H., and Saari, N. 2012. Valuable nutrients and functional bioactives in different parts of olive (*Olea europaea* L.) –a review. *International Journal of Molecular Science* 13:3291-340.
- González-Centeno, M. R., Rosselló, C., Simal, S., Garau, M. C., Lopez, F., and Femenia, A. 2010. Physico-chemical properties of cell wall materials obtained from ten grape varieties and their byproducts: Grape pomaces and stems. *LWT- Food Science and Technology*, 43:1580-1586.
- Henríquez C., Escobar B., Figuerola F., Chiffelle I., Speisky H., and Estévez A.M. 2008. Characterization of piñon seed (*Araucaria araucana* (Mol K. Koch) and the isolated starch from the seed. *Food Chemistry* 107: 592-601
- Hettiarachchi, U.P.K., Ekanayake, S., and Welihinda, J. 2011. Nutritional assessment of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) meal. *Ceylon Medical Journal* 56:54-58.
- Horax, R., Hettiarachchy, N., Kannan, A., and Chen, P. 2011. Protein extraction optimisation, characterisation, and functionalities of protein isolate from bitter melon (*Momordica charantia*) seed. *Food Chemistry* 124: 545-550.

- Joshi, M., Adhikari, B., Aldred, P., Panozzo, J.F., and Kasapis, S. 2011. Physicochemical and functional properties of lentil protein isolates prepared by different drying methods. *Food Chemistry* 129:1513-1522.
- Kabirullah, M. and Wills, R.B.H. 1982. Functional properties of acetylated and succinylated sunflower protein isolate. *Journal of Food Technology* 17:235-239.
- Kaur, M. and Singh, N. 2007. Characterization of protein isolate from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry* 102:366-374.
- Khalid, E.K., Babiker, E.E., and El Tinay, A.H. 2003. Solubility functional properties of sesame seed proteins influenced by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry* 82:361-366.
- Lakshmi, A.J. and Kaul, P. 2011. Nutritional potential, bioaccessibility of minerals and functionality of watermelon (*Citrullus vulgaris*) seeds. *LWT-Food Science and Technology* 44: 1821-1826
- Lampart-Szczapa, E., Konieczny, P., Nogala-Kaucka, M., Walczak, S., Kossowska, I., and Malinowska, M. 2006. Some functional properties of lupin proteins modified by lactic fermentation and extrusion. *Food Chemistry* 96:290-296.
- Liadakis, G.N., Tzia C., Oreopoulou, V., and Thomopoulos, C. 1998. Isolation of tomato seed meal proteins with salt solutions. *Journal of Food Science* 63:450-453
- Lima, B.N.B., Lima, F.F., Tavares, M.I.B., Costa, A.M.M., and Pierucci, A.P.T.R. 2014. Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. *Food Chemistry* 151:293-299.
- Lqari, H., Vioque, J., Pedroche, J., and Millán, F. 2002. *Lupinus angustifolius* protein isolates: chemical composition, functional properties and protein characterization. *Food Chemistry* 76:349-356.
- Manak, L.J., Lawhon, J.T., and Lusas, E.W. 1980. Functioning potential of soy, cottonseed, and peanuts produced by industrial membranesystems. *Journal of Food Science* 45:236-238, 245 (1980).
- Martinez, J.J., Medina J.O., and Zambrano, R. 2011. Estudio fisicoquímico funcional de los aislados proteicos en semillas de maracuyá (*Passiflora edulis f.*) Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas 9:70-76.

- Mirabella, N., Castellani, V., and Sala, S. 2013. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*. Doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.051.
- Monteiro, P.V. and Prakash, V. 1994. Functional properties of homogeneous protein fractions from peanut (*Arachi hypogaea* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 42:274-278.
- Mukprasirt, A. and Sajjaanantakul, K. 2010. Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. *International Journal of Food Science and Technology* 39: 271–276
- Obon, J. M., Diaz-Garcia, M. C., and Castellar, M. R. 2011. Red fruit juice quality and authenticity control by HPLC. *Journal of Food Composition and Analysis* 6:760-771.
- Omale, J. and Friday, E. 2010. Phytochemical composition, bioactivity and wound healing potential of *Euphorbia Heterophylla* (Euphorbiaceae) leaf extract. *International Journal of Pharmaceutical and Biomedical Research* 1:54–63.
- Oreopoulou, V. and Tzia, C. 2007. Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants, and colorants. In Oreopoulou, V. and Russ, W. (Eds.), *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry*. New York: Springer Science+Business Media. p. 209-232.
- O'Shea, N., Arendt, E. K., and Gallagher, E. 2012. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16:1-10.
- Paredes-López, O. and Ordorica-Falomir, C. 1986. Functional properties of safflower protein isolate: water absorption, whipping and emulsifying characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 37:1104-1108.
- Patsioura, A., Galanakis, C. M., and Gekas, V. 2011. Ultrafiltration optimization for the recovery of β-glucan from oat mill waste. *Journal of Membrane Science*, 373:53-63.
- Peleg, M., and Bagley, E. B. 1983. *Physical properties of foods*. Westport, Conn.: AVI Pub. Co.

- Rangel, A., Saraiva, K., Schwengber, P., Narciso, M.S., Domont, G.B., Ferreira, S.T., and Pedrosa, C. 2004. Biological evaluation of a protein isolate from cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. *Food Chemistry* 87:491-499.
- Reis, I.A.O., Santos, S. B., Santos, L. A., Oliveira, N., Freire, M.G., Pereira, J.F.B., Ventura, S.P.M., Coutinho, J.A.P., Soares, C.M.F., and Lima, A.S. 2012. Increased significance of food wastes: Selective recovery of added-value compounds. *Food Chemistry* 135:2453-2461.
- Ribeiro da Silva, L.M., Teixeira de Figueiredo, E.A., Silva Ricardo, N.M.P., Pinto Vieira, I.G., Wilane de Figueiredo, R., Montenegro Brasil, I., and Gomes, C.L. 2014. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry* 143:398-404. *Meat Science* 89:166-173.
- Richter, S.H. 1979. Physico-chemical properties of whey foams. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 27:665-668-1979.
- Savadkoobi, S. and Farahnaky, A. 2012. Dynamic rheological and thermal study of the heat-induced gelation of tomato-seed proteins. *Journal of Food Engineering* 113:479-485
- Sathe, S.K., Deshpande, S.S. and Salunkhe, D.K. 1982. Functional properties of lupin seed (*Lupinus mutabilis*) proteins and protein concentrates. *Journal of Food Science* 47:491-497, 502.
- Seená, S. and Sridhar, K.R. 2005. Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, *Canavalia* of the southwest coast of India. *Food Research International* 38:803-814.
- Sharma, P.C., Tilakratne, B.M., and Gupta, A. 2010. Utilization of wild apricot kernel press cake for extraction of protein isolate. *Journal of Food Science and Technology* 47:682-685.
- Sosulski, F.W. 1962. The centrifuge method for determination of water absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemistry*: 344-351.
- Subagio, A. 2006. Characterization of hyacinth bean (*Labiab purpurea*(L.) sweet) seeds from Indonesia and their protein isolate. *Food Chemistry* 95:65-70.

- Swami, S.B., Thakor, N.J., Haldankar, P.M., and Kalse, S.B. 2012. Jackfruit and its many functional components as related to human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11:565-576.
- Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa P., Flores, J. R., Ulloa-Rangel, B.E., and Escalona, H. 2007. Comportamiento del color en bulbos del fruto de la jaca (*Artocarpus heterophyllus*) auto estabilizados en frascos de vidrio por la tecnología de obstáculos. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5:372-370.
- 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., Ramírez-Ramírez J.C., and Ulloa-Rangel B.E. 2012. Producción de aislados proteicos a partir de subproductos industriales. *Revista Fuente Nueva* (11): 9-15.
- Wang, J.C. and Kinsella, J.A. 1976. Functional properties of novel protein: alfalfa leaf protein. *Journal of Food Science* 41:286-292.
- Wang, C.R. and Zayas, J.F. 1992. Emulsifying capacity and emulsion stability of soy proteins compared with corn germ protein flour. *Journal of Food Science* 57:726-731.
- Wani, A.A., Sogi, D.S., Singh, P., and Shivhare, U.S. 2011. Characterization and functional properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed protein isolates and salt assisted protein concentrates. *Food Science and Biotechnology* 20:877-887.
- Yasamatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., and Wada, T. 1972. Whipping and emulsifying properties of the soy products. *Agricultural and Biological Chemistry* 39:719-728.
- Yu, J., Ahmedna, M. and Goktepe, I. 2007. Peanut protein concentrate: production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry* 103:121-129.