

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

**OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN FUNCIONAL DE UN AISLADO PROTEICO DE
SEMILLAS DE MANGO (*Mangifera indica* L.)**

PRESENTA

MA. DEL ROSARIO PÉREZ SAUCEDO

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

Xalisco, Nayarit; diciembre del 2015.



CBAP/296/15.

Xalisco, Nayarit; 17 de diciembre de 2015.

ING. ALFREDO GONZÁLEZ JÁUREGUI
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 19 de noviembre del presente, enviado por los CC. Dr. José Armando Ulloa, M.C. Yessica Silva Carrillo, M.C. Petra Rosas Ulloa, Dr. José Carmen Ramírez Ramírez y Dr. Liborio González Torres, 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. Ma. Del Rosario Pérez Saucedo**, 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

Acépto

Xalisco, Nayarit., 19 de noviembre de 2015

DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)
PRESENTE

Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: "Obtención y evaluación funcional de un aislado proteico de semillas de mango (*Mangifera indica* L.)", que presenta la **C. Ma. Del Rosario Pérez Saucedo** 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.

ATENTAMENTE


Dr. José Armando Ullón
Director


M. en C. Yessica Silva Carrillo
Co-directora


M. en C. Petra Rosas Ullón
Asesor


Dr. José Carmen Ramírez Ramírez
Asesor


Dr. Liborio González Torres
Asesor

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Armando Ulloa.

Por su apoyo, dirección y enseñanzas durante el desarrollo de la tesis y sobre todo, por la confianza brindada para la realización de este estudio.

A la M. en C. Petra Rosas Ulloa.

Por compartir sus experiencias, su amistad y su apoyo moral otorgado en todo momento.

A la M. en C. Yessica Silva Carrillo.

Por la amistad otorgada, sus atinadas correcciones, sus conocimientos transmitidos durante estos dos años y su atenta revisión al presente trabajo.

Al Dr. José Carmen Ramírez Ramírez.

Por su amistad, por el tiempo que me brindó para la corrección y sugerencias que enriquecieron el escrito de la tesis.

Al Dr. Liborio González Torres.

Por su apoyo, sus experiencias compartidas, las asesorías recibidas, por formar parte del comité evaluador y las facilidades brindadas para la realización del presente estudio.

Al Dr. Pedro Ulises Bautista Rosales.

Por brindarme su amistad, sugerencias y facilidades para la realización del presente trabajo de investigación.

La presente tesis se realizó en el Centro de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit, bajo la dirección del Dr. José Armado Ulloa.

Durante el desarrollo de la tesis, se contó con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con número de becario 294232.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos particulares	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Origen del mango y su historia en México	4
4.2. Morfología del árbol y el fruto	4
4.3. Taxonomía y cultivares	5
4.4. Composición nutricional del mango	7
4.5. Composición química de la semilla de mango	8
4.6. Producción	9
4.7. Industrialización del mango	11
4.8. Usos de los subproductos agroindustriales del fruto	11
4.9. Definición y usos de los aislados proteicos	12
4.10. Evaluación del valor nutritivo de las proteínas	13
4.11. Propiedades funcionales de las proteínas	13
4.12. Etapas del proceso de producción de un aislado proteico	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1. Obtención y pre-tratamiento de la materia prima	16
5.2. Solubilidad de las proteínas presentes en la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD)	16
5.3. Preparación del aislado proteico de semillas de mango (APSM)	17

5.4.	Caracterización fisicoquímica	20
5.4.1.	Análisis proximal	20
5.4.2.	Análisis de color	20
5.4.3.	Densidad aparente	21
5.5.	Caracterización funcional	21
5.5.1.	Capacidad de absorción de agua (CAA)	21
5.5.2.	Capacidad de absorción de aceite (CAAc)	22
5.5.3.	Solubilidad	22
5.5.4.	Propiedades espumantes	22
5.5.5.	Capacidad emulsificante (CE)	23
5.5.6.	Actividad emulsificante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE)	23
5.5.7.	Concentración mínima gelificante (CMG)	24
5.6.	Análisis estadístico	24
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
6.1	Análisis proximal de la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD)	25
6.2.	Solubilidad de las proteínas presentes en la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD)	26
6.3.	Caracterización fisicoquímica de los aislados proteicos	27
6.4	Evaluación funcional	29
6.4.1.	Solubilidad	29
6.4.2.	Capacidad de absorción de agua (CAA)	31
6.4.3.	Capacidad de absorción de aceite (CAAc)	32
6.4.4.	Capacidad emulsificante (CE)	33
6.4.5.	Actividad emulsificante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE)	33
6.4.6.	Capacidad espumante (CEs) y estabilidad de la espuma (EEs)	36
6.4.7.	Concentración mínima gelificante (CMG)	38
7.	CONCLUSIONES	41
	LITERATURA CITADA	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título	Página
1	Clasificación taxonómica del mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	6
2	Especies de mango con frutos comestibles	6
3	Principales características de los grupos de frutos de mango	7
4	Contenido nutricional del mango (<i>Mangifera indica</i> L.) por cada 100 g de pulpa fresca	8
5	Análisis proximal de la semilla de cinco cultivares de mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	9
6	Perfil de aminoácidos de la semilla de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) de tres orígenes	9
7	Volumen de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en Nayarit requeridos por la industria intermedia (2013)	11
8	Composición química proximal de la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD) cultivar Keitt (% b.s.)	25
9	Caracterización fisicoquímica del aislado proteico de soya (APS) y del aislado proteico de semillas de mango (APSM) a escala laboratorio y planta piloto (% b.s.)	29
10	Algunas propiedades funcionales del aislado proteico de semillas de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS)	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Morfología del fruto de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	5
2	Principales estados productores de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) en México en el año 2014	10
3	Proceso para la producción del aislado proteico de semillas de mango (APSM) a escala planta piloto.....	19
4	Solubilidad de las proteínas presentes en la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD).....	27
5	Perfil de solubilidad del aislado proteico de semillas de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS) en función del pH.....	31
6	Efecto del pH sobre la actividad emulsificante (AE) del aislado proteico de semillas de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS).....	34
7	Efecto del pH sobre la estabilidad de la emulsión (EE) del aislado proteico de semillas de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS).....	35
8	Efecto del pH sobre la capacidad espumante (CEs) del aislado proteico de semillas de mango (APSM) y el aislado proteico de soya (APS).....	37
9	Efecto del pH sobre la estabilidad de la espuma (EEs) del aislado proteico de semillas de mango (APSM) y el aislado proteico de soya (APS) después de transcurridos 30 min.....	38
10	Efecto del pH sobre la concentración mínima gelificante (CMG) del aislado proteico de semillas de mango (APSM) y el aislado proteico de soya (APS).....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

Ácido clorhídrico	HCl
Actividad emulsionante	AE
Aislado proteico	AP
Aislado proteico de semillas de mango	APSM
Aislado proteico de soya	APS
Amarillo-azul	b*
Análisis de varianza	ANOVA
Base seca	b. s.
Capacidad de absorción de aceite	CAAc
Capacidad de absorción de agua	CAA
Capacidad espumante	CEs
Centímetro	cm
Comisión Internacional de la Iluminación	CIE
Concentración mínima gelificante	CMG
Cromaticidad del color	C*
Desviación estándar	DE
Diferencia mínima significativa	LSD
Diferencia total de color	ΔE
Estabilidad emulsionante	EE
Estabilidad espumante	EEs
Grados centígrados	°C
Gramos	g
Harina de semilla de mago desgrasada	HSMD
Hectárea	ha
Hidróxido de sodio	NaOH
Kilogramos	kg
Matiz	H*
Mililitros	mL

Nitrógeno	Nt
Normalidad	N
Litro	L
Luminosidad	ℓ*
Peso	p
Porcentaje	%
Potencial de hidrógeno	pH
Punto isoelectrico	PI
Revoluciones por minuto	rpm
Rojo-verde	a*
Tonelada	ton
Unidad Internacional	UI
Volumen	v

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la preocupación por el aprovechamiento de residuos o subproductos ha tomado gran fuerza entre la comunidad científica y sobre todo a nivel industrial, en donde los procesos de transformación generan subproductos que pueden ser útiles en otras actividades (Saval, 2012). La agroindustria es una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semi-elaboradas destinadas al mercado. Entre los productos que se industrializan están: frutas, verduras, raíces, semillas, hojas, tubérculos y vainas, algunos se comercializan en fresco y otros son transformados en néctares, jugos, mermeladas, ensaladas, harinas, aceites, vinos, concentrados en polvo, conservas y otros.

Los subproductos agroindustriales son materiales que se generan a partir de la industrialización de productos primarios y que no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y social. Al buscar una oportunidad de aprovechamiento de los subproductos agroindustriales, se hace necesaria su caracterización para conocer su composición, la calidad de sus componentes y la cantidad que se genera. Estos parámetros pueden definir las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento y posterior tratamiento (Saval, 2012).

La investigación realizada sobre subproductos generados por la industria de alimentos para el desarrollo de productos reutilizables, se ha vuelto muy importante. Los subproductos de materias primas están siendo estudiados con mayor interés debido a que se crea la posibilidad de obtener beneficios económicos y proteger al ambiente en lugar de generar un costo por su eliminación. Las industrias procesadoras de frutos y hortalizas se ven forzadas de acuerdo con la legislación ambiental a encontrar alternativas de uso o disposición de los residuos que se generan en sus procesos. En

ese sentido, los residuos de origen vegetal contienen importantes cantidades de compuestos potencialmente aprovechables (Chan *et al.*, 2008).

El mango (*Mangifera indica* L.), uno de los frutos tropicales más finos e importantes en el mundo actual por su agradable sabor, aroma y color, es tan apreciado, que algunos lo llaman "la reina de las frutas" y se considera altamente nutritivo. Los principales subproductos de la industria procesadora de mango son la cáscara y la semilla, las cuales corresponden aproximadamente al 40% del peso total del fruto (Alzate *et al.*, 2011). Uno de los principales factores que no permiten que aumente la competitividad económica del mango es la falta de innovación enfocada a la generación de productos de valor agregado, tanto para diversificar el mercado del mango industrializado como para valorizar los subproductos generados en la cadena productiva de este fruto. Los subproductos del mango son una fuente muy importante de compuestos bioactivos de alto valor agregado tales como pectina, polifenoles, manguiferina, ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos esenciales y compuestos con actividad antioxidante y antimicrobiana (Ribeiro *et al.*, 2008; Engels *et al.*, 2009; Nzikou *et al.*, 2010).

Estudios realizados por Basilio (2009) demostraron que la semilla de mango cultivar Keitt deshidratada presenta 6.53% de grasa, 3.37% de fibra cruda y 8.10% de proteína cruda. Sin embargo, Pascual-Bustamante *et al.* (2008) reportaron para esa misma variedad un contenido de 12.74% de grasa y 11.57% de proteína cruda. Mientras que, en la investigación realizada por Nzikou *et al.* (2010) se mencionan que la semilla de mango cultivar Congo contiene 13% de grasa, 2.02% de fibra cruda y 6.36% de proteína cruda, datos similares a los reportados por Acuña *et al.* (2015) para el cultivar Tommy Atkins con 10.70% de grasa, 2.38% de fibra cruda y 6.39% de proteína cruda.

En este sentido, el presente estudio tuvo como propósito obtener y caracterizar funcionalmente un aislado proteico de semillas de mango con fines alimenticios para el hombre, como propuesta para el aprovechamiento de los subproductos generados por la industria procesadora de mango y la disminución del problema de contaminación ambiental por la exposición a cielo abierto de tales subproductos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Obtener un aislado proteico de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) y caracterizar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales.

2.2. Objetivos particulares

Obtener un aislado proteico de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) por precipitación isoeléctrica.

Caracterizar fisicoquímicamente el aislado proteico de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) mediante análisis proximal (humedad, cenizas, proteína cruda, grasa y carbohidratos), color (L^* , a^* , b^*) y densidad aparente.

Evaluar la capacidad de absorción de agua y aceite, capacidad emulsificante, solubilidad, la concentración mínima de gelificación, capacidad y estabilidad de espumado, así como la actividad emulsificante y la estabilidad de la emulsión del aislado proteico de semilla de mango (*Mangifera indica* L.).

3. HIPÓTESIS

El aislado proteico obtenido a partir de semillas de mango (*Mangifera indica* L.) por precipitación isoeléctrica, posee propiedades fisicoquímicas y funcionales que permiten su recomendación para uso como ingrediente de alimentos para consumo humano.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Origen del mango y su historia en México

El mango se cultiva hace más de 6.000 años. Aparentemente es originario del noroeste de la India y el norte de Birmania. En México fue introducido de tres importantes maneras. A finales del siglo XVII cuando el mango Manila fue traído por los españoles en la Nao de China desde Manila al Puerto de Acapulco, sin embargo se dispersó en el estado de Veracruz. La segunda ocurrió a principios del siglo XIX, desde las Antillas a la Costa del Golfo de México, los que al propagarse por semilla originaron los mangos criollos. En el año de 1950, la tercera introducción del mango la hicieron viveristas de Florida, E.U.A., al estado de Guerrero. Los mangos Haden, Kent, Keitt e Irwing se propagaron por injertos (AMSDA, 2013).

4.2. Morfología del árbol y el fruto

El mango es el fruto del árbol *Mangifera indica* L. Este árbol alcanza alturas superiores a los 25 m y es muy longevo (AMSDA, 2013). Está constituido por las siguientes partes. El tallo es más o menos recto, cilíndrico y de 75 a 100 cm de diámetro, cuya corteza de color gris-café tiene grietas longitudinales o surcos reticulados poco profundos que a veces contienen gotas de resina. La copa es densa y ampliamente oval o globular. Las ramas son gruesas y robustas. Las hojas son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de las ramas, de peciolo largo o corto, oblongo lanceolado, coriáceo, liso en ambas superficies, de color verde oscuro brillante por arriba, verde amarillento por abajo, de 10 a 40 cm de largo, de 2 a 10 cm de ancho y con márgenes delgados transparentes. Las hojas jóvenes son de color violeta rojizo o bronceado, posteriormente se tornan de color verde oscuro. El fruto es una drupa carnosa que puede contener uno o más embriones. Los mangos de tipo indio son monoembrionicos y de ellos derivan la mayoría de los cultivares comerciales. Posee un mesocarpo comestible de diferente grosor según los cultivares y las condiciones de cultivo (Tharanathan *et al.*, 2006).

Su peso varía desde 150 g hasta 2 kg. El patrón de crecimiento de la fruta es sigmoide, aunque su velocidad de crecimiento disminuye en la etapa final. La forma de la fruta varía entre redonda a ovalada con longitudes de 5 a 30 cm. La región exocarpo se convierte en una piel protectora que es suave, verde y cerosa y cuando está madura cambia a un color verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta, lo cual depende de los cultivares. El mesocarpo ofrece la pulpa comestible carnosa y jugosa, que puede ser fibroso o sin fibra y de color amarillo o anaranjado. El endocarpo rodea a la semilla, el cual es una cubierta gruesa, dura y fibrosa en la madurez. La semilla es ovoide, oblonga, alargada o en forma de riñón y está recubierta por el endocarpo (Figura 1), que se puede extender dentro de la carne (Tharanathan *et al.*, 2006).

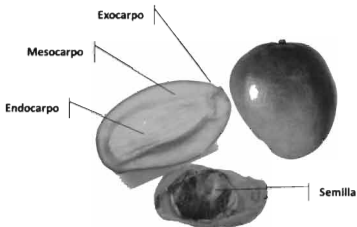


Figura 1. Morfología del fruto de mango (*Mangifera indica* L.).

4.3. Taxonomía y cultivares

El género *Mangifera*, pertenece al orden *Sapindales* en la familia *Anacardiáceas*, la cual incluye principalmente especies tropicales con 73 géneros (Tabla 1). Dentro de este género, todas las especies diferentes a la *M. indica* son monoembrionicos, a

excepción de algunas cultivadas como *M. casturi*, *M. laurina* y *M. odorata* que en ocasiones se comportan como poliembrionicos. De las 73 especies del género, solo son comestibles alrededor de 14 (Tabla 2), siendo la de mayor difusión y consumo la *M. indica*, la cual se siembra a gran escala comercial (Tharanathan *et al.*, 2006). Los cultivares existentes de mango, provienen de dos grandes grupos cuyos orígenes son: India (monoembrionicos), Indochina y Filipinas (poliembrionicos). Las características principales de estos dos grupos se resumen en la Tabla 3.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del mango (*Mangifera indica* L.)

División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiospermas</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Superorden	<i>Rosanae</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Mangifera indica</i> L.

Fuente: ITIS (2014)

Tabla 2. Especies de mango con frutos comestibles.

<i>M. altissima</i>	<i>M. longipes</i>
<i>M. caesia</i>	<i>M. macrocarpa</i>
<i>M. foetida</i>	<i>M. odorata</i>
<i>M. griffithii</i>	<i>M. pajang</i>
<i>M. indica</i>	<i>M. pentandra</i>
<i>M. lagenifera</i>	<i>M. cochinchinensis</i>
<i>M. sylvatica</i>	<i>M. zeylanica</i>

Fuente: Iyer (1991)

Tabla 3. Principales características de los grupos de frutos de mango.

Carácter	Hindú (Monoembrionicos)	Indochino y Filipino (Poliembrionicos)
Número de embriones	Uno	Varios
Contenido de fibra	Poco	Mucho
Trementina	Poco	Mucho
Agrupación en el árbol	Solitarios	En racimos
Color	Rojizos o amarillentos	Amarillo verdoso
Forma	Redondeados	Achatado o alargados

Fuente: Cartagena y Vega, (1982).

En la actualidad la mayor cantidad de cultivares se encuentran en la India. Botánicamente se reconocen alrededor de 350 y desde el punto de vista hortícola entre 500 y 1000 (Cartagena y Vega, 1992).

En México de los cultivares que se producen destacan el Manila, Ataulfo, Haden, Kent, Tommy Atkins, Keitt, Sensation, Zill e Irwing y los cultivares más importantes en el mercado nacional, sobre todo en el centro y sur del país, son el Manila y los tipo Criollos (CONASPROMANGO, 2012). El cultivar Ataulfo es de origen mexicano con más aceptación en el mercado internacional, y aunque su genealogía se desconoce, se dice que posiblemente provenga de una mutación o hibridación natural (Infante *et al.*, 2011).

4.4. Composición nutricional del mango

La composición nutricional del mango (Tabla 4) es diferente según el cultivar del que se trate, pero todos ellos tienen en común su elevado contenido de agua, además aportan una cantidad importante de hidratos de carbono por lo que su valor calórico es elevado. Es rico en potasio, fósforo, calcio y magnesio, y en lo que a vitaminas se refiere, en provitamina A y C. Asimismo, aporta fibra la cual mejora el tránsito intestinal (Chan *et al.*, 2008; Kittiphoom, 2012).

Tabla 4. Contenido nutricional del mango (*Mangifera indica* L.) por cada 100 g de pulpa fresca.

Componente	Contenido	Unidad
Agua	81.70	g
Grasa	0.45	g
Proteína	0.51	g
Hidratos de carbono	17.00	g
Fibra	1.80	g
Potasio	156.00	mg
Fósforo	11.00	mg
Hierro	0.13	mg
Magnesio	9.00	mg
Calcio	16.00	mg
Cobre	0.11	mg
Zinc	0.04	mg
Selenio	0.60	µg
Vitamina C	27.70	mg
Vitamina A	3894.00	Uf
Vitamina B ₁ (tiamina)	0.058	mg
Vitamina B ₂ (riboflavina)	0.06	mg
Vitamina B ₃ (niacina)	0.580	mg
Vitamina B ₆ (piridoxina)	0.13	mg
Vitamina E	100.00	mg
Ácido fólico	14.00	µg

Fuente: USDA (2008)

4.5. Composición química de la semilla de mango

La cáscara (8%) y semilla (32%) de mango son los principales subproductos de la industria procesadora de mango, las cuales representan aproximadamente el 40% del peso total del fruto, esto dependiendo de la variedad de la que se trate (Alzate *et al.*, 2011). La Tabla 5 muestra el análisis proximal reportado por diferentes investigadores para la semilla de mango de algunos cultivares. La información muestra que la semilla contiene proteína cruda, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos. La variación en su composición puede ser debido a los diferentes cultivares, el clima, el cultivo, la etapa de maduración y el tiempo de cosecha (Kittiphoom, 2012).

Tabla 5. Análisis proximal de la semilla de cinco cultivares de mango (*Mangifera indica* L.)

Componente (%)	Congo ^a	Kaew ^a	Keitt ^c	Keitt ^d	Tommy ^e Atkins
Humedad	45.20	40.50	10.72	-	44.85
Proteína cruda	6.36	1.43	8.10	11.57	6.39
Grasa	13.00	4.92	6.53	12.74	10.70
Fibra cruda	2.02	3.96	3.37	-	2.38
Cenizas	3.20	0.83	2.26	4.81	2.46
Carbohidratos totales	32.24	48.19	69.02	69.85	33.00

^aNzokou et al., 2010. ^bChangro, 2006. ^cBasilio, 2009. ^dPascual-Bustamante et al., 2005. ^eAcuña et al., 2015.

El contenido de proteína cruda de la semilla de mango es bajo comparado con el de trigo, maíz y cebada. A pesar de que la semilla contiene una pequeña cantidad de proteína, la calidad de esta es alta por ser rica en todos los aminoácidos esenciales (Jahurul et al., 2015). Algunos investigadores (Arogba, 1997; Abdalla et al., 2007) informaron que la mayoría de los aminoácidos esenciales en la semilla de mango están en niveles más altos que en las referencias para proteínas de la FAO/WHO (FAO, 1993). La Tabla 6 muestra los aminoácidos de la semilla de mango según tres orígenes.

4.6. Producción

El mango ocupa el décimo lugar en importancia dentro de las frutas tropicales frescas producidas en el mundo. México se ubica como el séptimo país productor a nivel mundial (FAOSTAT, 2014). El cultivo del mango es una actividad que se ha extendido en gran parte del territorio nacional alcanzando una producción de 1'451,890 ton anuales en el 2014. Los estados de Veracruz, Michoacán, Guerrero, Nayarit, Sinaloa, Oaxaca y Chiapas concentraron el 85% de la producción nacional con un total de 1'245,512 ton cosechadas (Figura 2). En Nayarit, actualmente existen 25,491 ha cultivadas con mango, alcanzando una producción de 175,210 ton en el año 2014. Los principales municipios productores son, San Blas, Compostela, Tecuala, Tepic, Bahía de Banderas, Acapulco, Santiago, Rosamorada y Ruiz. Los cultivares producidos en el estado son Tommy Atkins, Ataulfo, Kent, Haden, Keitt, Manila y criollos (SIAP, 2015; AMSDA, 2013).

Tabla 6. Perfil de aminoácidos de la semilla de mango (*Mangifera indica* L.) de tres orígenes.

Aminoácidos (g/100 g proteína)	Africano ^a	Árabe ^b	Egipcio ^c
Isoleucina	3.23	2.68	4.40
Lisina	3.13	3.94	6.90
Metionina	1.04	0.38	1.20
Fenilalanina	4.46	2.75	3.40
Treonina	2.04	3.46	3.40
Tirosina	3.17	2.74	2.70
Valina	3.80	6.07	5.80
Arginina	5.17	14.27	7.30
Alanina	6.40	4.86	4.20
Aspartato	6.33	8.66	6.50
Cisteína	2.30	-	-
Glutamato	13.00	15.66	18.20
Glicina	3.50	2.81	4.00
Histidina	2.31	2.19	5.50
Leucina	8.40	-	6.90
Prolina	3.00	4.50	3.50
Serina	2.93	3.94	3.30

^aFowomola, 2010. ^bOm El-Saad et al., 2011; ^cAbdalla et al., 2007.

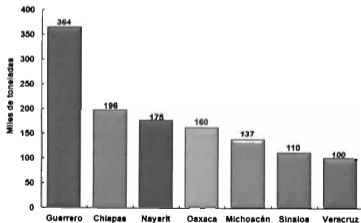


Figura 2. Principales estados productores de mango (*Mangifera indica* L.) en México en el año 2014 (SIAP, 2015).

4.7 Industrialización del mango

La cadena agroindustrial del mango en nuestro país está dirigida en dos terceras partes al sector primario o venta en fresco y una tercera parte al sector secundario o preparación y envasado de frutas, del cual el 80% se dirige a la producción de pulpas, jugos y néctares. Los volúmenes de mango industrializados en Nayarit durante el 2013, por empresas consumidoras de pulpa, se muestran en la Tabla 7 (INEGI, 2007; AMSDA, 2013).

Tabla 7. Volumen de mango (*Mangifera indica* L.) en Nayarit requeridos por la industria intermedia (2013).

Empresa	Producto final	Toneladas
Casa Nayar	Cachets de mango congelado	250
Grupo Orgánico de México	Mango deshidratado	2,000
Citrofrut	Concentrado de mango	7,241
Prinsa	Concentrado y mango en almibar	5,000
Agrocomercializadora de Nayarit	Mango deshidratado	3,500
Mexifrutas	Concentrado aséptico de mango	6,500

Fuente: AMSA (2013).

4.8 Usos de los subproductos agroindustriales del fruto

Estudios recientes han demostrado que los subproductos del mango pueden ser una fuente importante de compuestos bioactivos tales como la pectina, polifenoles y mangiferina en la cáscara, mientras que en la semilla se encuentran ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos esenciales y compuestos de naturaleza fenólica con actividad antioxidante y antiinflamatoria. Además, se ha reportado una importante actividad antimicrobiana en extractos de la semilla de mango (Ribeiro *et al.*, 2008; Ajila *et al.*, 2007; Ajila *et al.*, 2006; Engels *et al.*, 2009; Nzikou *et al.*, 2010).

Es importante resaltar que la cantidad de nutrientes y compuestos que le dan funcionalidad a los subproductos del mango está influenciado por factores físicos, químicos y biológicos, tales como la variedad, especie, estado de madurez, factores pre cosecha y poscosecha (Mahattanatawee *et al.*, 2006; Sirisakulwat *et al.*, 2008).

Algunos autores (Pascual-Bustamante *et al.*, 2008) han propuesto utilizar el aceite extraído de las semillas del mango como sustituto parcial de la manteca de cacao, debido a su composición química y a algunas propiedades físicas. La obtención del sustituto de la manteca de cacao a partir de semillas de mango ha despertado gran interés en los últimos años, debido al alto costo de esta variedad de grasa, además de la importancia de darle un valor agregado a un residuo poco utilizado.

Sin embargo, los subproductos generados en las transformaciones agroindustriales aún no han sido aprovechados eficientemente, debido a que su valor es aun desconocido y por la falta de métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias con la suficiente calidad e inocuidad como para ser usadas en los procesos de mayor valor agregado.

4.9. Definición y usos de los aislados proteicos

Las proteínas son macromoléculas que resultan de la polimerización de aminoácidos mediante enlaces peptídicos. Sus propiedades nutritivas y características fisicoquímicas dependen del tipo, la concentración y de la secuencia de unión de los monómeros constituyentes (Badui, 2006). Los aislados proteicos son la forma comercial más pura de las proteínas, y se obtienen mediante la eliminación de polisacáridos, oligosacáridos y algunos otros componentes mediante hidrólisis y posterior precipitación, adición de ácidos minerales, controlando parámetros como: pH, temperatura, solubilidad entre otros, que permiten la purificación de las proteínas (Badui, 2006). Los aislados proteicos más utilizados son los de soya, debido a que ofrecen ventajas económicas, nutricionales y funcionales manteniendo las cualidades sensoriales deseables necesarias para la aceptación por el consumidor (Wagner *et al.*, 1990).

Los aislados proteicos se utilizan en la alimentación humana para fortalecer el nivel proteico de la dieta. De esta manera muchos países en el mundo desarrollan procesos para disminuir notoriamente los problemas de malnutrición y desnutrición en la población. Los aislados proteicos al ser incorporados en los alimentos, elevan su

calidad proteica, mejoran la textura, les confieren mayor vida de almacenamiento y retienen la humedad del producto (Vega-Turizo, 2004).

4.10. Evaluación del valor nutritivo de las proteínas

Como la calidad nutricional de las proteínas puede variar de un modo considerable y se puede afectar por numerosos factores, es conveniente y necesario disponer de métodos que permitan valorar su calidad. Uno de los aspectos relacionado con la calidad nutritiva de las proteínas tiene que ver con su digestibilidad, esto es con su capacidad de asimilación. La calidad nutritiva de las proteínas puede valorarse por métodos biológicos (ensayos con animales experimentales como las ratas albinas), químicos (a través de análisis químicos) y enzimáticos (Fennema, 2000; Ulloa *et al.*, 2012).

4.11. Propiedades funcionales de las proteínas

Las propiedades funcionales de las proteínas son aquellas propiedades fisicoquímicas que determinan su comportamiento en los alimentos durante su procesamiento, almacenamiento o consumo (Kinsella y Melachouris, 1976). Esas propiedades y la forma en la cual las proteínas actúan con otros componentes de forma directa o indirecta afectan sus aplicaciones, calidad y aceptación de los alimentos. Algunas de las propiedades funcionales más importantes de las proteínas son la retención de agua/aceite, emulsificación, formación de espuma y gelificación (formación de gel). La importancia de estas propiedades varía con el tipo de producto alimenticio en el cual se pretende utilizar la proteína (Ulloa *et al.*, 2012).

Las propiedades funcionales que pueden presentar las proteínas son sumamente complejas y dependen de varios factores, por ejemplo del origen de las proteínas, de las propiedades fisicoquímicas y estructurales de las proteínas, de las características del medio, de la metodología de extracción y otros. Es conocido que las proteínas vegetales, por lo general, poseen una funcionalidad más limitada que las de origen animal (Moure *et al.*, 2006).

4.12. Etapas del proceso de producción de un aislado proteico

Las etapas del proceso de producción de un aislado proteico son (Ulloa *et al.*, 2012):

- a) **Extracción de proteínas.** La etapa de extracción es determinante para definir la eficiencia del proceso de recuperación de las proteínas y consiste en generar las condiciones para maximizar la solubilidad de estos polímeros. Los factores que intervienen son generalmente: la proporción entre solvente y la fuente de proteínas, la temperatura de extracción y el pH del medio. Después de haber realizado la extracción de las proteínas la mezcla se centrifuga para separar y obtener propiamente el extracto y desechar el residuo que es una pasta agotada.

- b) **Concentración o purificación.** En esta etapa se pueden aplicar tres procedimientos, de los cuales dos son de tipo fisicoquímico (precipitación isoeléctrica o precipitación por salado) y uno de tipo físico (ultrafiltración), todos ellos derivados de la manipulación de propiedades de las proteínas. En el caso de la precipitación isoeléctrica, el extracto proteico se ajusta a un valor de pH definido (punto isoeléctrico, PI) para favorecer la precipitación de proteínas con lo que se generan dos fases, un suero y un coágulo. A continuación el coágulo se resuspende en agua ajustando el valor de pH a 7 y el extracto de proteínas concentrado y purificado queda listo para incorporarse a la tercera etapa del proceso.

- c) **Deshidratación del extracto concentrado.** Para obtener un aislado proteico en polvo, se debe eliminar la mayor cantidad de agua posible. El método utilizado para la eliminación de agua es la deshidratación, en la cual se utilizan dos procesos: liofilización o secado por aspersión. En el proceso de liofilización el producto se congela e introduce en una cámara de vacío donde se realiza la separación del agua por sublimación. En el secado por aspersión, los extractos proteicos son expuestos en forma de 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 partícula

de polvo del aislado proteico, polvos que son separados de la corriente del aire del secado ya húmedo y parcialmente frío a través de separadores de partículas llamados ciclones.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Obtención y pre-tratamiento de la materia prima

Las semillas de mango cultivar Keitt fueron proporcionadas por la empresa Mexifrutas S.A. de C.V. ubicada en la Carretera Internacional Tepic-Guadalajara km 240+0.86 en la localidad de El Refugio, municipio de Tepic, Nayarit, México. Las semillas se limpiaron manualmente y se segmentaron en trozos pequeños utilizando un procesador de alimentos Moulinex Multichef. Enseguida, los trozos de semilla se secaron en un horno de convección forzada marca Memmert ULM-600 (Wisconsin Oven Distributors, Inc., Wisconsin, USA), a temperatura de 40 °C por un tiempo de 24 h. Después, el producto deshidratado fue pulverizado en un molino manual helicoidal. La harina de semillas de mango fue desgrasada (HSMD) en un equipo de extracción sólido-líquido QVF (QVF Process Systems, Inc., New York, USA) de escala planta piloto.

5.2. Solubilidad de las proteínas presentes en la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD)

Se realizó un perfil de solubilidad de las proteínas presentes en la HSMD con el fin de conocer el valor de pH de mínima y máxima solubilidad de las proteínas y estos valores fueron utilizados para la preparación del aislado proteico.

El procedimiento se realizó de acuerdo al método descrito por Ulloa *et al* (2011) con modificaciones. Se prepararon ocho suspensiones proteicas utilizando 5 g de HSMD y 100 mL de agua destilada a diferentes valores de pH (2, 4, 4.5, 5, 6, 8, 10 y 11) las cuales fueron mezcladas en una placa magnética con agitación por 30 min, a temperatura ambiente. Después de la extracción, las suspensiones fueron centrifugadas en un equipo Hermet Z326K (Hermet Labortechnik GmbH, Wehingen, Alemania) a una velocidad de 5,500 rpm durante 10 min. Los sobrenadantes fueron recuperados y posteriormente les fue realizado el análisis de nitrógeno por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990). El contenido de proteína cruda se calculó multiplicando el

porcentaje de nitrógeno por el factor de conversión 6.25. Los resultados fueron expresados como porcentaje de solubilidad de las proteínas a cada valor de pH.

5.3. Preparación del aislado proteico de semillas de mango (APSM)

Se elaboró un APSM a escala laboratorio y enseguida, el proceso se llevó a escala planta piloto para posteriormente evaluar las propiedades funcionales del mismo.

Para la preparación del APSM se utilizaron los valores de pH en los cuales las proteínas alcanzaron porcentajes de solubilidad mínima y máxima, identificados en el perfil de solubilidad de la HSMD. Las extracciones de proteínas se realizaron de acuerdo a la metodología citada por Ulloa *et al.* (2011) con modificaciones. Se realizó una suspensión proteica mediante la adición de 60 g de HSMD a 1.2 L de agua destilada, enseguida se agitó durante 30 min a temperatura de 25 °C. Se ajustó el pH de la suspensión a 11 con NaOH 1 N con agitación constante, para obtener una cantidad máxima de proteínas solubles. El residuo insoluble de la suspensión se separó por centrifugación a 4,500 rpm durante 20 min. Enseguida de la extracción alcalina se realizó la precipitación isoelectrónica de las proteínas. Se ajustó la suspensión a un pH de 5 mediante la adición de HCl 0.1 N con agitación durante 15 min. Enseguida, el precipitado proteico se separó del sobrenadante por centrifugación a 4,500 rpm durante 20 min, el cual se sometió a cuatro extracciones consecutivas con alcohol etílico al 96% en relación 1:20 (p/v) para eliminar la mayor parte de carbohidratos presentes. Finalmente el producto obtenido se deshidrató en un liofilizador LABCONCO (Labconco Corporation, Kansas, USA) y se determinó el porcentaje de proteína cruda del APSM a escala laboratorio por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990).

En la Figura 3 se presenta el proceso de obtención del APSM a escala planta piloto. Las condiciones operativas para su producción se fijaron en base a los resultados obtenidos en el proceso descrito anteriormente con modificaciones considerando el equipo disponible.

Para la extracción alcalina de las proteínas se preparó una suspensión proteica relación 1:20 utilizando 13 kg de HSMD y 260 L de agua destilada en la cual las proteínas fueron solubilizadas a pH 11 y separadas del precipitado en una centrifuga continua IEC Chemical Centrifuge (International Equipment Company, USA) a una velocidad promedio de 3,500 rpm durante un tiempo de 15 min. Para aislar las proteínas, éstas fueron llevadas al PI (pH 5) y se separaron del sobrenadante por centrifugación en las mismas condiciones que la extracción. El precipitado que se obtuvo fue sometido a cuatro extracciones consecutivas con alcohol etílico al 96% en relación 1:20 (p/v) para eliminar carbohidratos solubles y enseguida fue deshidratado en un liofilizador LABCONCO. Finalmente, se determinó el porcentaje de proteína cruda por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990) y debido al bajo porcentaje alcanzado, fue necesario repetir el procedimiento una vez más por lo que el precipitado deshidratado se solubilizó en agua destilada en relación 1:20 (p/v) y se realizó nuevamente la extracción alcalina, el aislamiento de las proteínas y las cuatro extracciones etanólicas en las mismas condiciones del procedimiento descrito anteriormente. A continuación, el precipitado se liofilizó y se determinó el porcentaje de proteína cruda por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990).

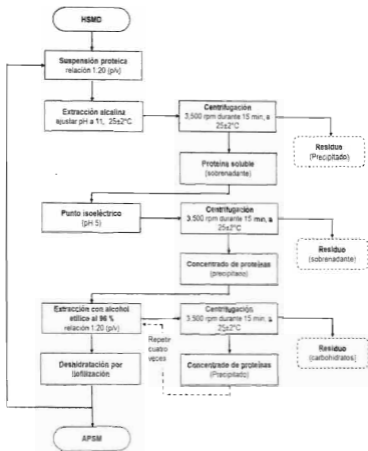


Figura 3. Diagrama del proceso para la producción del aislado proteico de semillas de mango (APSM) a escala planta piloto.

5.4. Caracterización fisicoquímica

5.4.1. Análisis proximal

El contenido de humedad, grasa, proteína cruda (Nt x 6.25), fibra cruda, cenizas y carbohidratos se realizaron de acuerdo a los métodos oficiales de la AOAC (1990). Las determinaciones se realizaron como mínimo por duplicado.

5.4.2. Análisis de color

El color se evaluó utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400 (Sensing Inc., Tokio, Japón). Los valores de las mediciones se expresaron de acuerdo a la escala del espacio de color CIELab a través de L^* (luminosidad, donde $L^*=0$ indica negro y $L^*=100$ indica blanco), a^* (donde valores negativos indican verde mientras que valores positivos indican rojo) y b^* (donde valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo). El equipo fue calibrado usando una placa blanca provista por el fabricante. Los valores de la placa de calibración estándar utilizados como referencia fueron $L_s^*=86.3$, $a_s^*=0.3193$ y $b_s^*=0.3364$. La diferencia total de color (ΔE) fue calculada mediante la Ecuación 1. Se realizaron nueve determinaciones sobre la muestra analizada.

$$\Delta E = [(L_s^* - L^*)^2 + (a_s^* - a^*)^2 + (b_s^* - b^*)^2]^{1/2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Los valores del croma (C^*) y del tono o matiz hue (H^*) se obtuvieron mediante las Ecuaciones 2 y 3.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$H^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad \text{Ecuación (3)}$$

5.4.3. Densidad aparente

La densidad aparente se determinó de acuerdo al método descrito por Chowdhury *et al.* (2012). Para ello se utilizó una probeta graduada de 10 mL la cual se pesó y a la que se agregó la muestra hasta llegar a la marca de graduación proporcionando pequeños golpes hasta que el volumen de la muestra se mantuvo constante. Nuevamente se pesó la probeta con el contenido de la muestra y por diferencia de peso se obtuvo la masa de la muestra en gramos (g). Finalmente, la masa se dividió entre el volumen total de la muestra para así obtener la densidad aparente expresada en gramos por mililitros (g/mL).

5.5. Caracterización funcional

En esta metodología se analizaron las propiedades funcionales del APSM y las de un aislado proteico de soya (APS), marca GNC Natural Brand (Optimum Nutrition, Inc., Aurora IL, USA) como control.

5.5.1. Capacidad de absorción de agua (CAA)

La capacidad de absorción de agua (CAA) se determinó mediante el método descrito por Sosulski (Sosulski, 1962; Octio *et al.*, 2010) con modificaciones. Para tal fin se preparó una suspensión utilizando 0.5 g de APSM y 5 mL de agua destilada, los cuales se depositaron en un tubo de centrifuga con capacidad de 15 mL para generar una mezcla homogénea mediante un agitador tipo vórtex marca Thermolyne modelo M16715 (IOWA, USA). La suspensión se dejó reposar a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) durante 15 min. Posteriormente, se centrifugó a 3,000 rpm en un equipo Hermlet Z300 (Hermlet Labor Technik GmbH, Wehingen, Alemania) por un tiempo de 10 min a temperatura ambiente, para después decantar el sobrenadante y pesar el residuo. La capacidad de absorción de agua se expresó como g de agua absorbida/g de proteína. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

5.5.2. Capacidad de absorción de aceite (CAAc)

La capacidad de absorción de aceite (CAAc) fue determinada siguiendo el mismo procedimiento para la evaluación de la CAA. Se utilizó aceite vegetal marca Cristal (Aceites, Grasas y Derivados, S.A., Zapopan, Jalisco, México) y el resultado se expresó como g de aceite absorbido/g de proteína. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

5.5.3. Solubilidad

La solubilidad de las proteínas del APSM se determinó de acuerdo al método descrito por Wang y Kinsella (1976). Se prepararon ocho suspensiones utilizando 0.250 g de APSM y 5 mL de agua destilada (1:20 p/v) y se ajustó el pH a diferentes valores (2, 4, 4.5, 5, 6, 8, 10 y 11) con HCl o NaOH 1 N. Enseguida, las suspensiones se agitaron en un vortex por 30 min y fueron centrifugadas a 4,500 rpm durante 20 min a temperatura ambiente. Las proteínas solubles obtenidas en el sobrenadante se analizaron utilizando el método de Kjeldahl (AOAC, 1990). El contenido de proteína cruda se calculó multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor de conversión 6.25. Los resultados fueron expresados como porcentaje de proteínas a cada valor de pH.

5.5.4. Propiedades espumantes

La capacidad de la espuma (CEs) y la estabilidad de la espuma (EEs) se evaluaron por el método reportado por Kabirullah y Wills con modificaciones (Kabirullah y Wills, 1982; Ulloa *et al.*, 2011). Se prepararon 5 suspensiones proteicas con 0.5 g de APSM y 25 mL de agua destilada, y se ajustó el pH a 2, 4, 6, 8 y 10 con HCl o NaOH 1 N, respectivamente. Las suspensiones se mezclaron en una licuadora Osterizer modelo 6630 (México, D.F.) a velocidad media durante 1 min a temperatura de 25 °C. La espuma que se obtuvo después del mezclado se depositó en una probeta de vidrio graduada de 250 mL. La CEs se registró como el volumen total de la espuma y la EEs se expresó como el volumen final al transcurrir 30 min, de acuerdo con la Ecuación 4. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$\% \text{ EEs} = \left(\frac{\text{Volumen de espuma al transcurso de 30 min}}{\text{Volumen inicial de espuma}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (4)}$$

5.5.5. Capacidad emulsificante (CE)

La capacidad de emulsión (CE) se evaluó de acuerdo al método reportado por Beuchat (1977). Se preparó una mezcla con 1 g de aislado en 50 mL de agua destilada, la cual se licuó a alta velocidad por 30 s, para enseguida añadir aceite vegetal de maíz Marca Cristal por medio de una probeta. La calda en la consistencia (desde un máximo), a juzgar por la resistencia del mezclado, fue considerado el punto de interrupción de la adición del aceite. La cantidad del aceite añadido hasta este punto fue interpretado como la capacidad emulsificante de un 1 g de proteína. El resultado se expresó como mL de aceite emulsificado/g de proteína. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

5.5.6. Actividad emulsificante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE)

La actividad emulsificante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE) se realizó conforme a la metodología señalada por Ulloa *et al.* (2011). En un tubo para centrifuga se pesó 0.5 g del aislado y se añadieron 7.5 mL de agua destilada hasta obtener una suspensión. Bajo ese procedimiento se prepararon 5 suspensiones, a las cuales se les ajustó el pH a 2, 4, 6, 8 y 10 con HCl o NaOH 1 N, respectivamente. Posteriormente, se adicionó 7.5 mL de aceite vegetal (Marca Cristal) a cada suspensión y se agitaron con un homogenizador eléctrico TissueTearor modelo 985370 (Biospec Products Inc., USA) por 1 min. Enseguida, los tubos con la emulsión se centrifugaron en un equipo Solbat modelo 2774 (México, D.F.), a 1,200 rpm durante 5 min. La AE fue determinada de acuerdo a la Ecuación 5. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$\text{AE (\%)} = \left(\frac{\text{Volumen de fase emulsionada (mL)}}{\text{Volumen del contenido total en el tubo (mL)}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Para la EE, las muestras fueron calentadas a 80 °C por 30 min a baño maría y enfriadas a 25 °C con agua del grifo. A continuación, los tubos con la emulsión se centrifugaron a 1,200 rpm durante 5 min. La EE se calculó conforme la Ecuación 6.

$$EE (\%) = \left(\frac{\text{Volumen de emulsión después del calentamiento y centrifugado (mL)}}{\text{Volumen del contenido total en el tubo (mL)}} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (6)}$$

5.5.7. Concentración mínima gelificante (CMG)

Se realizó de acuerdo al método propuesto por Abbey y Ibeh (1988). Las muestras de aislado proteico de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0 g se dispersaron con 5 ml de agua en tubos de plástico con capacidad de 15 mL. Para cada una de las suspensiones proteicas de las concentraciones anteriores, se realizó un ajuste de pH a 2, 4, 6, 8 y 10 con HCl o NaOH 1 N. Los tubos con las suspensiones proteicas se calentaron por 1 h en baño maría a 85 °C y enseguida, se enfriaron con agua del grifo y finalmente se almacenaron por un lapso de 2 h en refrigeración a 4 °C. La CMG fue considerada como aquella en la que la muestra dentro del tubo invertido no se desprendió.

Es importante señalar que para la evaluación de las propiedades funcionales del APSM se utilizó como control un APS de marca GNC Natural Brand.

5.6. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de las propiedades funcionales del APSM y del APS fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA). Las medias fueron comparadas por el método de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con un nivel de significancia de $P < 0.05$. Para realizar los análisis se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurion versión 15.2 (Statpoint Technologies, Inc. Warrenton, Virginia, USA).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis proximal de la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD)

Los resultados del análisis proximal de la HSMS se presentan en la Tabla 8, en la cual se observa que el contenido de carbohidratos fue el componente mayoritario, seguido de la proteína cruda, grasa, cenizas y fibra cruda.

El contenido de proteína cruda en la HSMD fue de 8.22%, cuyo valor resultó más alto que el reportado por Muchiti et al. (2012) para el cultivar Kent (6.70%), menor al registrado por Pascual-Bustamante et al. (2008) para el cultivar Keitt (11.57%) y similar al reportado por Basilio (2009) para el cultivar Keitt (8.10%). Las variaciones encontradas en el análisis proximal pueden ser causadas por la diferencia del cultivar, el clima o el estado de madurez del fruto. Las semillas de mango tienen una cantidad baja de proteínas, pero contienen la mayoría de los aminoácidos esenciales, destacándose los altos valores de leucina, valina y lisina (Rittiphoom; 2012).

Tabla 8. Composición química proximal de la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD) cultivar Keitt, (% h.s.)

Componente	Valor (%)
Grasa	2.69 ± 0.55
Cenizas	2.40 ± 0.06
Proteína cruda (N x 6.25)	8.22 ± 0.49
Fibra cruda	2.14 ± 0.10
Carbohidratos*	84.55 ± 0.00

Los valores representan el promedio de tres determinaciones ± DE.

*Los Carbohidratos fueron calculados por diferencia.

En comparación con otras semillas de frutas, el porcentaje de proteína cruda en la HSMD es mayor al de harinas de semillas de naranjas (*Citrus sinensis*) con 3.06% y al de guayaba (*Psidium guajava*) con 7.90% y menor al de semillas de papaya (*Carica papaya* L.) con 31.26%, al de manzana (*Malus sylvestris*) con 33.79%, al de sandía (*Citrullus vulgaris*) con 30.11%, al de tuna (*Opuntia ficus*) con 16.60%, al de chabacano (*Prunus armeniaca*) con 26.78%, al de guanábana (*Annona muricata*) con 15.26% y al

de zapote mamey (*Pouteria sapota*) con 26% (Kimbongula *et al.*, 2010; El-Safy *et al.*, 2012; Bernardino *et al.*, 2014; Chaparro *et al.*, 2014).

6.2. Solubilidad de las proteínas presentes en la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD)

La solubilidad de las proteínas se ve influenciada por el balance hidrofílico/hidrofóbico, el cual depende de la composición de aminoácidos. Dado que la mayoría de las proteínas alimentarias son ácidas, exhiben una solubilidad mínima a valores de pH de 4 a 5 debido a la ausencia de repulsiones electrostáticas, lo que promueve la agregación y precipitación via interacciones hidrofóbicas (Moure *et al.*, 2006). Esto sugiere que los grupos hidrófilos de las proteínas sean expuestos, formando de este modo enlaces de hidrógeno con el agua y facilitando su solubilidad.

En la Figura 4 se muestra el perfil de solubilidad de las proteínas de la HSMD por efecto del pH. Como se puede observar, a valores de pH entre 2 y 6 se obtuvieron porcentajes de solubilidad proteica muy bajos (aproximadamente de 7 a 8%), mismos que fueron incrementándose a medida que el medio se tomó alcalino, alcanzando un valor de solubilidad máximo a pH 11, correspondiente al 53.38% de las proteínas totales. De lo anterior, el PI de las proteínas de la HSMD fue de pH 5, similar al reportado por Horax *et al.* (2011) para las proteínas de semilla de melón (*Momordica charantia*).

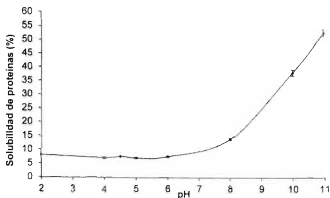


Figura 4. Solubilidad de las proteínas presentes en la harina de semillas de mango desgrasada (HSMD). Los valores representan el promedio de tres determinaciones \pm DE.

6.3. Caracterización fisicoquímica de los aislados proteicos

Los resultados del análisis proximal del APSM a escala laboratorio y a planta piloto así como también del APS se muestran en la Tabla 9. El contenido de proteína cruda del APSM a escala planta piloto fue de 70.04% el cual disminuyó en un 16.88% con respecto al obtenido a escala laboratorio, debido probablemente a los cambios en las condiciones de centrifugado en el proceso de obtención. También se observa que la concentración de proteína cruda es menor al presentado por el APS, cuyo proceso de obtención es desconocido.

El contenido de proteína cruda del APSM a escala planta piloto fue superior al reportado por otros autores para aislados proteicos (AP) de semillas de frutas como lo son los de chabacano y guanábana con 68.8% y 63.3%, respectivamente (Sharma *et al.*, 2010; Chaparro *et al.*, 2014) sin embargo, es inferior al de los AP de semillas de sandía con 83.79% (Wani *et al.*, 2011), al de tomate con 77.1% (Liadakis *et al.*, 1998), al de melón con 90.2% (Horax *et al.*, 2011) y 91.83% (Siddeeg *et al.*, 2014), al de

guayaba con 94.2% (Fontanari *et al.*, 2006) y al de zapote mamey con 95% (Bernardino *et al.*, 2014). Los datos anteriores muestran que el contenido de proteína cruda de los AP es muy variable y está determinado por la materia prima usada, las condiciones del proceso y el método de obtención, el cual va encaminado a eliminar o disminuir los componentes no proteicos (Mulvihill y Kinsella, 1987; Boye *et al.*, 2010b)

La densidad aparente se determina por la densidad de las partículas sólidas, la porosidad interna, y por la disposición espacial de las partículas en el recipiente, así como también de los efectos combinados de factores interrelacionados como las fuerzas de atracción entre las partículas, el tamaño de las partículas y el número de puntos de contacto entre ellas (Peleg, 1983). La densidad aparente es un parámetro importante porque permite definir el tipo de envase a ocupar. De acuerdo con este estudio la densidad aparente del APSM fue de 0.50 g/mL y del APS fue de 0.43 g/mL (Tabla 9) lo que denota que el APSM ocupa menor volumen al ser envasado. Los AP de semillas de sandía y tomate presentaron valores semejantes al APSM cuyos valores son 0.45 g/mL y de 0.42 g/mL, respectivamente (Wani *et al.*, 2011; Liadakis *et al.*, 1998).

Los valores de color se muestran en la Tabla 9. Para el APSM fueron $L^* = 46.35$, $a^* = 7.26$, $b^* = 17.58$, $C^* = 19.02$ y $H^* = 67.55$. En los valores de color para el APS se muestra diferencia significativa ($p < 0.05$) en el grado de claridad, observándose mayor luminosidad ($L^* = 84.63$) que en el APSM, de igual forma en el matiz o tono ($H^* = 84.22$). Esta disminución de luminosidad del APSM se relaciona directamente con el aumento del oscurecimiento no enzimático (Reis *et al.*, 2006). El color que se obtuvo para el APSM fue más oscuro que el obtenido por Ulloa *et al.* (2011) en el AP de cártamo ($L^* = 78.12$, $a^* = -0.63$, $b^* = 20.01$). El valor de la ΔE fue de 56.76 mientras que en el AP de cártamo fue de 26. Algunas reacciones oxidativas también pueden contribuir para la reducción de la luminosidad. De acuerdo a Bolin y Steele (1987), del 60% al 70% del oscurecimiento no enzimático ocurre debido a esas reacciones y solamente del 20% al 30% se debe a las reacciones no oxidativas. La polimerización de compuestos fenólicos también es un factor que promueve el oscurecimiento y por

consecuencia, la disminución en el valor de la coordenada L^* (Beveridge y Weintraub 1995).

Tabla 9. Caracterización fisicoquímica del aislado proteico de semillas de soya (APS) y del Aislado proteico de semillas de mango (APSM) a escala laboratorio y a planta piloto (% b. s.)

Componente	Unidad	APS	APSM	
			Laboratorio	Planta piloto
Grasa	g/100 g	3.29 ± 0.55 ^b	4.76 ± 0.31 ^a	4.03 ± 0.52 ^a
Cenizas	g/100 g	3.90 ± 0.04 ^b	1.23 ± 0.04 ^c	3.82 ± 0.05 ^b
Proteína cruda	g/100 g	92.51 ± 0.75 ^a	86.92 ± 0.07 ^b	70.04 ± 0.97 ^c
Carbohidratos**	g/100 g	0.30 ± 0.00 ^c	7.08 ± 0.00 ^b	22.11 ± 0.00 ^a
Densidad aparente	g/mL	0.43 ± 0.01 ^b	-	0.50 ± 0.08 ^a
Color				
L^* (Luminosidad)		84.63 ± 0.02 ^a	-	46.35 ± 0.64 ^b
a^* (rojo-verde)		1.73 ± 0.01 ^b	-	7.26 ± 0.15 ^a
b^* (amarillo-azul)		17.08 ± 0.04 ^b	-	17.58 ± 0.61 ^a
ΔE (diferencia total)		0.04 ± 0.04 ^b	-	25.01 ± 0.71 ^a
C^* (croma)		17.17 ± 0.04 ^b	-	19.02 ± 0.62 ^a
H^* (matiz)		84.22 ± 0.05 ^a	-	67.55 ± 0.32 ^b

Los valores representan el promedio de tres determinaciones ± DE.

Superíndices diferentes a lo largo de las filas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

**Los carbohidratos fueron calculados por diferencia.

6.4. Evaluación funcional

Se evaluaron las propiedades funcionales del APSM a escala planta piloto y se compararon con las del APS.

6.4.1. Solubilidad

La solubilidad de las proteínas es considerada como una característica funcional importante de los AP porque influye en otras propiedades funcionales, además es un indicador de las condiciones en que se encuentran las proteínas, lo cual proporciona una relación sobre sus posibles aplicaciones tecnológicas (Lampart-Szczapa *et al.*, 2006).

El perfil de solubilidad del APSM y del APS se muestra en la Figura 5 en un rango de pH de 2 a 11. Para el APSM se puede observar que a valores de pH entre 2 y 5 se obtuvieron porcentajes de solubilidad proteica muy bajos (aproximadamente de 1 al 3%), y que los mismos fueron incrementándose a medida que el medio se tornó alcalino, alcanzando un valor de solubilidad máximo a pH 10, correspondiente al 20% de proteína soluble. Este hecho indica que las proteínas presentes en el AP perdieron solubilidad lo que provocó una alteración en la relación hidrofílico/hidrofóbico en la superficie de la proteína (Moure *et al.*, 2006). El APS presentó un comportamiento de solubilidad de proteínas similar al del APSM pero con mayores porcentajes de solubilidad (con un mínimo de 18% a pH 4.5 y un máximo de 72% a pH 11). En general, el APS presentó un perfil de solubilidad de proteínas mayor que el APSM, debido probablemente a la materia de origen y al método de obtención del aislado.

En el APSM a pH ácidos la solubilidad fue similar a lo reportado para aislados de lenteja verde con 2% (Boye *et al.*, 2010b), girasol con 3.10% (Moure *et al.*, 2006) y cacahuete con 2% (Wu *et al.*, 2009), esto es debido a que en el intervalo de pH de 4 a 5 las proteínas vegetales tienen un mínimo de solubilidad por la formación de agregados en pH cercanos a su PI (Agboola y Aluko, 2009; Boye *et al.*, 2010b). Sin embargo esta propiedad se puede mejorar a través de la adición de conjugados de caseinato de sodio con maltodextrina (O'Reagan y Mulvihill, 2009).

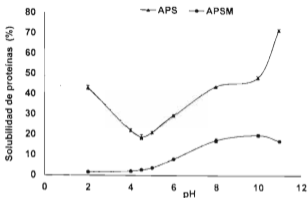


Figura 5. Perfil de solubilidad del aislado proteico de semillas de soya (APS) y del Aislado proteico de semillas de mango (APSM) en función del pH. Los valores representan el promedio \pm DE de tres determinaciones.

6.4.2. Capacidad de absorción de agua (CAA)

Los resultados de la capacidad de absorción de agua del APSM y del APS se muestran en la Tabla 10. El APSM en esta investigación presentó una capacidad de absorción de agua de 11.54 ± 0.13 g de agua/g de proteína, este valor fue 413.6% más alto al obtenido en el APS (2.79 ± 0.24 g de agua/g de proteína). Además, el APSM posee mayor CAA que otros AP de semillas de fruta como el de sandía con 3.57 g de agua/g proteína (Wani *et al.*, 2011), el de zapote mamey con 1.27 g agua/g proteína (Bernardino *et al.*, 2014) y el de melón con 3.02 g agua/g proteína (Siddeeg *et al.*, 2014).

En aplicaciones alimentarias la CAA está relacionada con la capacidad de retener el agua contra la gravedad, incluyendo el agua ligada, agua hidrodinámica, agua capilar y el agua atrapada físicamente (Moure *et al.*, 2006). Esta propiedad funcional es importante porque les proporciona cuerpo y engrosamiento a los alimentos viscosos

tales como, sopas, salsas, masas y alimentos horneados (Seena *et al.*, 2005; Pednekar *et al.*, 2010).

Tabla 10. Algunas propiedades funcionales del aislado proteico de semillas de soya (APS) y del aislado proteico de semillas de mango (APSM).

Propiedad	APSM	APS
Capacidad de absorción de agua (g agua/g proteína)	11.54 ± 0.13 ^a	2.79 ± 0.24 ^b
Capacidad de absorción de aceite (g aceite/g proteína)	3.20 ± 0.12 ^a	1.83 ± 0.04 ^b
Capacidad emulsificante (mL de aceite/g proteína)	169.70 ± 1.77 ^a	184.06 ± 1.61 ^a

Los valores representan el promedio de tres determinaciones ± DE. Superíndices diferentes a lo largo de las filas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

6.4.3. Capacidad de absorción de aceite (CAAc)

La capacidad de absorción de aceite del APSM fue de 3.20 ± 0.12 g de aceite/g de proteína (Tabla 10), el cual es superior al valor presentado por el APS (1.83 ± 0.04 g de aceite/g de proteína) ($p < 0.05$). En comparación con otros AP de semillas de frutas, el APSM presentó una mayor CAAc como por ejemplo, el AP de semilla de sandía reportado por Wani *et al.* (2011) que fue de 2.37 g de aceite/g de proteína, mientras que AP de semilla de zapote mamey presentó un valor de 1.93 g de aceite/g de proteína (Bernardino *et al.*, 2014).

De acuerdo con Kinsella y Melachouris (1976) el mecanismo de absorción de aceite puede ser atribuido al atrapamiento físico de aceite, probablemente relacionado con la disociación de oligómeros y el despliegue de las subunidades individuales. Esta propiedad funcional es importante en productos congelados recocidos listos para freír, en galletas y en algunos platos a base de cereal debido al incremento en la retención del sabor y aroma, además de mejorar la sensación en la boca cuando se consume el producto, por lo cual, se puede sugerir el uso de aislados vegetales, en este tipo de productos (Ogunwolu *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2009).

6.4.4. Capacidad emulsificante (CE)

Las proteínas poseen una buena capacidad emulsificante, pero las emulsiones son sensibles a las condiciones ambientales, tales como pH, fuerza iónica, y el procesamiento térmico. Una emulsión tiende a desestabilizarse por diferentes mecanismos como el cremado, coalescencia, floculación e inversión de fases, resultando en la separación parcial o total de las fases inmiscibles (Yu *et al.*, 2007; Boye *et al.*, 2010a).

En la Tabla 10 se muestra la CE para el APSM cuyo valor fue de 169.70 ± 1.77 mL de aceite/g de proteína mientras que para el APS fue de 184.06 ± 1.61 mL de aceite/g de proteína ($p < 0.05$). La CE del APSM fue mayor al compararse con lo reportado por Sharma *et al.* (2010) en el AP de semillas de chabacano (5.5 mL de aceite/g de proteína). La baja solubilidad de algunas proteínas en la región isoelectrónica puede disminuir la CE, pues éstas adoptan una estructura compacta que impide el desdoblamiento y absorción en la interfase, lo que no es deseable en una emulsión (Ferreira *et al.*, 2007). Sin embargo, de acuerdo con Fennema (2000), la CE se atribuye a la actividad de superficie de las proteínas y no a su solubilidad, por lo que están primordialmente relacionadas con la conformación proteica.

Los parámetros usados para medir las propiedades de emulsificación son la actividad de emulsión, que expresa la cantidad emulsionada por unidad de muestra y la estabilidad de emulsión, que mide la habilidad de la emulsión para resistir cambios en su estructura en un periodo definido (Mohamed *et al.*, 2009).

6.4.5. Actividad emulsificante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE)

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de la actividad emulsificante (AE) del APSM y del APS en función del pH. En el APSM se observó una AE mínima a pH 4 con 6.97% y una AE máxima a pH 10 con 90.82%, siendo 1,7 veces mayor que la presentada por el APS a pH 10 (52.50%) siendo, significativamente diferentes ($p < 0.05$). La AE del APSM fue mayor a lo reportado por Chaparro *et al.* (2014) para AP de semillas de guanábana con 37.41%. Este comportamiento puede ser debido a

que se genera una mayor AE en AP con menor concentración de proteínas, lo que facilita la asociación hidrofoba de las cadenas de péptidos con gotas de aceite, lo cual incrementa el área de superficie de las proteínas y mejora su eficiencia emulsionante (Ogunwolu *et al.*, 2009). El incremento de esta propiedad conforme el pH se aleja del PI de las proteínas, es debido al cambio que existe en la superficie de los glóbulos grasos, los cuales causan una mutua repulsión y forman una capa hidratada alrededor del material interfacial, lo que reduce su energía y retarda el colapso de las gotas (Wu *et al.*, 2009).

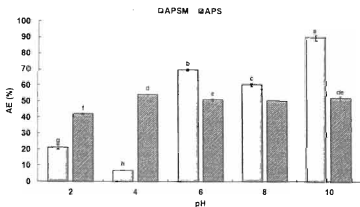


Figura 6. Efecto del pH sobre la actividad emulsificante (AE) del aislado proteico de semilla de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS). Los valores representan el promedio \pm DE de tres determinaciones. Letras diferentes entre los valores de pH indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

En la Figura 7 se observa la estabilidad de emulsión (EE) mínima del APSM a un valor de pH 4 con 6.97%, siendo mayor por arriba de su PI. La EE máxima fue a pH 10 con 88.46%. Los valores obtenidos a diferente pH para este AP fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$). La EE mínima y máxima del APS fue a pH 4 con 6.78% y a pH 10

con 51.65%, respectivamente. La EE que presentó el APSM fue 1.71 veces mayor que la del APS. Los resultados de EE del APSM y APS fueron mayores en comparación con lo reportado por Chaparro *et al.* (2014) para el AP de semillas de guanábana (45.68%).

Generalmente, las propiedades de emulsión de las proteínas son afectadas por su hidrofobicidad, estabilidad conformacional y por factores fisicoquímicos tales como pH, fuerza iónica y temperatura (Tang y Ma, 2009). De acuerdo con Ogunwolu *et al.* (2009), estas propiedades emulsificantes mejoran en la medida que se alejan de la región isoeléctrica, lo que puede ser atribuido a un incremento en la carga eléctrica que aumenta la solubilidad.

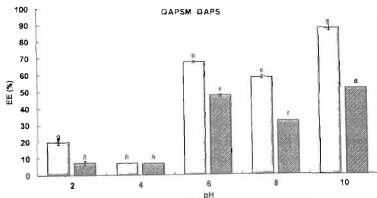


Figura 7. Efecto del pH sobre la estabilidad de emulsión (EE) del aislado proteico de semilla de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS). Los valores representan el promedio \pm DE de tres determinaciones. Letras diferentes entre los valores de pH indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

6.4.6. Capacidad espumante (CEs) y estabilidad de la espuma (EEs)

La formación de espuma es importante en aplicaciones alimentarias tales como productos de panadería, pasteles, galletas, bebidas, merengues, coberturas y helados (Knattab *et al.*, 2009; Boye *et al.*, 2010a).

En la Figura 8 se muestra el efecto del pH sobre la capacidad espumante (CEs) del APSM y del APS. Para el APSM se observó un incremento en la CEs a valores de pH 2, 8 y 10 siendo el valor máximo a pH 10 con 37%; cabe mencionar que a pH 4 y 6 no se observó formación de espuma. Este comportamiento concuerda con estudios que indican que la actividad superficial está determinada por factores tales como el pH (Moure *et al.*, 2006), donde a valores de pH por encima o por debajo del PI la CEs aumenta debido a una mayor solubilidad de las proteínas (Ogunwolu *et al.*, 2009).

El APS presentó CEs en todos los pH evaluados, siendo 6.02 veces mayor a pH 4, en comparación con el valor máximo obtenido para el APSM (37%) ($p < 0.05$). Por otra parte, la CEs del APSM a pH 10 fue mayor comparado con otros AP de semillas de frutas tales como los de guanábana con 2.9% (Chaparro *et al.*, 2014), de chabacano con 21% (Sharma *et al.*, 2010) y de melón con 18.56% (Siddeeg *et al.*, 2014), sin embargo, fue menor al que presentó un AP de semilla de zapote mamey con un valor de 76.79% (Bernardino *et al.*, 2014). Estas discrepancias surgen debido a que la CEs también se ve afectada por factores moleculares tales como de conformación, configuración y flexibilidad, junto con la distribución de los grupos hidrófilos e hidrófobos en la estructura primaria de las proteínas (Moure *et al.*, 2006).

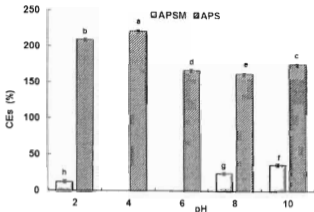


Figura 8. Efecto del pH sobre la capacidad espumante (CEs) del aislado proteico de semilla de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS). Los valores representan el promedio \pm DE de tres determinaciones. Letras diferentes entre los valores de pH indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

En la Figura 9 se muestra como la estabilidad de la espuma (EEs) del APSM y del APS es afectada por el pH después de transcurridos 30 min. En el APSM no se observó EEs a pH 2, mientras que a valores de pH 4 y 6 no se generó espuma. Por otra parte, el APSM presentó resultados de EEs relativamente altos a valores de pH de 8 y 10 siendo de 50% y 100%, respectivamente. El APS mostró una EEs máxima a pH 4 con 48% y una mínima a pH 2 con 17%. Karayannidou *et al.* (2007) en su estudio con proteínas de girasol, determinaron que para mejorar la capacidad y estabilidad de la espuma es necesario la adición de sustancias como el NaCl, compuesto que incrementa la habilidad de las proteínas para formar espuma y la incorporación de goma xantana, la cual contribuye a la estabilidad de la espuma.

Las propiedades espumantes del APSM mostraron un comportamiento similar al de las propiedades de emulsión cuando se modificó el pH y por consecuencia la

solubilidad de las proteínas. Esta relación podría indicar que la presencia de proteína soluble es un factor importante para desarrollar la CEs y EEs de los AP (Pincioli *et al.*, 2009), en donde el carácter anfílico de las proteínas, les otorga la propiedad de formar una película en la interface aire-agua y la capacidad de prevenir el colapso de las burbujas (Yu *et al.*, 2007).

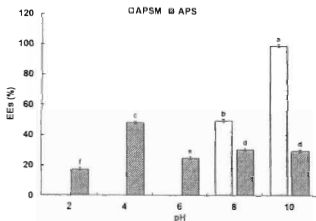


Figura 9. Efecto del pH sobre la estabilidad de la espuma (EEs) del aislado proteico de semilla de mango (APSM) y del aislado proteico de soja (APS). Los valores representan el promedio \pm DE de tres determinaciones. Letras diferentes entre los valores de pH indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

6.4.7. Concentración mínima gelificante (CMG)

La gelificación implica la formación de una red que exhibe un cierto grado de orden. Un gel se puede definir como un estado intermedio entre sólido y líquido. En los sistemas de alimentos el líquido es agua y la red molecular está formada por proteínas, polisacáridos o por una mezcla de ambos (Moure *et al.*, 2006). Esta propiedad es de

utilidad en la preparación de diversos productos como budín, jalea, postres, productos lácteos y en aplicaciones cármicas (Boye *et al.*, 2010b)

UNIVERSIDAD



SISTEMA DE BIBLIOTECA

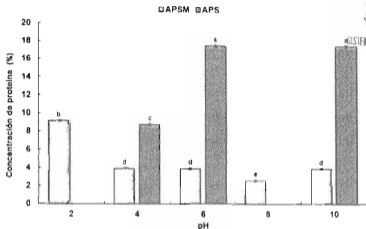


Figura 10. Efecto del pH sobre la concentración mínima gelificante (CMG) del aislado proteico de semilla de mango (APSM) y del aislado proteico de soya (APS). Letras diferentes entre los valores de pH indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

En la Figura 10 se muestra la concentración mínima gelificante (CMG) del APSM y del APS, por efecto del pH y después del calentamiento. La CMG del APSM fue a una concentración de proteína del 2.81% y a un valor de pH 8, mientras que la CMG del APS se observó a pH 4 y a una concentración mayor de proteínas (8.80%) que la del APSM ($p < 0.05$). Cabe mencionar que para el APSM se presentó gelificación en todos los pH estudiados a diferentes concentraciones, mientras que para el APS no se observó formación de gel a valores de pH 2 y 8. La concentración mínima requerida para la formación de geles del APSM fue menor que la de otros AP tales como el de

nuez de la india la cual fue de 13.5% (Ogunwolu *et al.*, 2009) y el de lenteja verde con 12% (Boye *et al.*, 2010b). La CMG en este estudio podría estar relacionada con la presencia de componentes no proteicos (Boye *et al.*, 2010b), con el efecto del pH, la concentración de proteínas, la magnitud y velocidad de calentamiento y enfriamiento, la composición de aminoácidos y la hidrofobicidad de las proteínas (Mulvihill y Kinsella, 1987).

7. CONCLUSIONES

El APSM presentó una CAA y CAAc mayor en comparación con el APS, lo cual indica la posibilidad de emplearlo como ingrediente en la industria de productos cárnicos fríos, en particular para salchichas donde la capacidad de absorción de agua y aceite son propiedades determinantes para desarrollar un alimento de calidad aceptable. Las buenas propiedades emulsionantes del APSM, así como su pobre capacidad de formación de espuma, favorecen su empleo en la elaboración de mayonesas, aderezos y productos cárnicos de pasta fina. La CMG del APSM fue menor que la presentada por el APS, esta propiedad es de utilidad en la preparación de productos como budín, jalea, postres, productos lácteos y en aplicaciones cárnicas.

De acuerdo a las propiedades funcionales estudiadas, el APSM podría emplearse como ingrediente en la elaboración de alimentos (previa evaluación de sus propiedades nutricionales) de la misma manera que actualmente se emplean las proteínas de soya.

LITERATURA CITADA

- Abbey, B., y Ibeh G. (1988). Functional properties of raw and heat processed cowpea (*Vigna unguiculata*, Walp) flour. *Journal of Food Science*, 53(6), 1775-1791.
- Abdalla, A., Darwish, S., Ayad, E., y El-Hamahmy, R. (2007). Egyptian mango by product 1 compositional quality of mango seed kernel. *Food Chemistry*, 103(4), 1134-1140.
- Acuña, S., Sandoval, A., Amador, A., Suarique, S., Zambrano, J., y González, J. (2015). Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.). *Ciencia en Desarrollo*, 6, 67-75.
- Agboola, S., y Aluko, R. (2009). Isolation and structural properties of the major protein fraction in Australian wattle seed (*Acacia victoriae* Benth). *Food Chemistry*, 115(4), 1187-1193.
- Ajila, C., Naidu, K., Bhat S., y Prasada R. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry*, 105(3), 562-568.
- Ajila, C., Leelavathi, K., y Prasada R. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319-326.
- Alzate, L., Jimenez, C., y Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción Más Limpia*, 6, 108-127.
- AMSDA. Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo Agropecuario. (2013) Plan rector del sistema producto mango en el estado de Nayarit. Disponible en: <http://www.amsda.com.mx>.

- AOAC (1990). *Methods of analysis*. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, USA.
- Arogba, S. (1997) Physical, chemical and functional properties of Nigerian mango (*Mangifera indica*) kernel and its processed flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(3), 321-328.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. 4ª edición Pearson educación. México. D.F. p. 736.
- Basilio, J. (2009). Extracción de aceite del hueso de mango. Colección RP. México. p. 7-19.
- Bernardino, N., Bravo, D., Vivar, V., Martínez, S., Pérez, S., Rodríguez, M., y Vivar, V. (2014). Preparation, composition, and functional properties of a protein isolate from a defatted mamey sapote (*Pouteria sapota*) seed meal. *CyTA - Journal of Food*, 12(2), 176-182.
- Beuchat, L. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 25(2), 258-261.
- Beveridge, T., y Weintraub, E. (1995). Effect of blanching pretreatment on color and texture of apples slices at various water activities. *Food Research International*, 28(1), 83-86.
- Bolin, R., y Steele, J. (1987). Nonenzymatic browning in dried apple slices during storage. *Journal of Food Science*, 52, 1654-1657.
- Boye, J., Aksay, S., Roufik, S., Ribèreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., y Rajamohamed, S. (2010a). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537-546.

- Boye, J., Zare, F., y Pletch, A. (2010b). Pulse proteins: processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414-431.
- Cartagena, J. y Vega, D. (1992). Fruticultura colombiana: el mango. Manual de asistencia técnica No. 53. Ministerio de Agricultura, ICA, Bogotá, Colombia. p. 124.
- CONASPROMANGO. Comité Nacional Sistema Producto Mango. (2012). Disponible en: <http://www.mangomexicano.com.mx>.
- Chan, E., Pérez, M., y Obeso, G. (2008). Extracción del aceite de la semilla de mango variedad Tommy Atkins. XX Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria. INIFAP, Villahermosa, Tabasco, México.
- Changso, C. (2008). Study of extraction process, chemical and physical properties of mango seed almond fat CV. Kaew (thesis). Silpakorn University, Bangkok, Thailand.
- Chaparro, S., Tavera, M., Martínez, J., y Gil, J. (2014). Propiedades funcionales de la harina y de los aislados proteicos de la semilla de guanábana (*Annona muricata*). *Rev. U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 17, 151-159.
- Chowdhury, A., Bhattacharyya, A., y Chattopadhyay, P. (2012). Study on functional properties of raw and blended jackfruit seed flour (a non-conventional source) for food application. *Indien Journal of Natural Products and Resources*, 3(3), 347-353.
- El-Safy, F., Salem, R., y El-Ghany, M. (2012). Chemical and nutritional evaluation of different seed flours as novel sources of protein. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 7, 59-65.

- Engels, C., Knodler, M., Zhao, Y., Carle, R., Ganzle, M., y Schieber, A. (2009). Antimicrobial activity of gallotannins isolated from mango (*Mangifera indica* L.) kernels. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57(17), 7712-7718.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (1993). Amino acid content of foods and biological data on proteins. FAO Nutrition Studies No. 28. Available in: <http://www.fao.org/docrep/005/AC854T/AC854T00.htm>.
- FAOSTAT. Estadísticas de producción, superficie, rendimiento y comercio exterior a nivel mundial. (2014). Disponible en: <http://faostat.fao.org>.
- Fennema, O. (2000). Química de los alimentos. 2ª edición. Acribia, España. p. 473-481.
- Ferreira, J., Kuskoski, E., Bordignon, M., Barrera D., y Fett, R. (2007). Propiedades emulsificantes y espumantes de las proteínas de harina de cacahuete (*Arachis hypogaea* Linnaeu). *Grasas y Aceites*, 58(3), 264-269.
- Fowomola, M. (2010). Some nutrients and antinutrients contents of mango (*Mangifera indica*) seed. *African Journal of Food Science*, 4(8), 472-476.
- Fontanari, G., Batistuti, J., Bannach, G., Pastre, I., Iwashiro, E., y Fertonani, F. (2006). Thermal study and physico-chemical characterization of some functional properties of guava seeds protein isolate (*Psidium guajava*). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 83(3), 703-713.
- Horax, R., Hettiarachchy, N., Kannan, A., y Chen, P. (2011). Protein extraction optimization, characterization, and functionalities of protein isolate from bitter melon (*Momordica charantia*) seed. *Food Chemistry*, 124(2), 545-550.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadísticas Geografía e Informática. (2007). Encuesta Industrial Mensual. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>.

- Infante F., Quilantán, J., Rocha, F., Esquinca, H., Castillo, A., Ibarra-Nuñez, G. y Palacio, V. (2011). Mango Ataulfo: orgullo chiapaneco. *Biodiversitas*, 96, 1-5.
- Iyer, C. (1991). Recent advances in varietal improvement in mango. *Acta Horticulturae*, 291, 109-132.
- ITIS. Integrated Taxonomic Information System. (2014). available in: <http://www.itis.gov>.
- Jahurul, M., Zaidul, I., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F., Nyam, K., Norulaini, N., Sahena, F., y Mohd, O. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by products and their valuable components: a review. *Food Chemistry*, 183, 173-180
- Kabirullah, M. y Wills, R. (1982). Functional properties of acetylated and succinylated sunflower protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology*, 17(2), 235-249.
- Karayannidou, A., Makri, E., Papalamprou, E., Doxastakis, G., Vaintraub, I., Lapteva, N., y Artico, G. (2007). Limited proteolysis as a tool for the improvement of the functionality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) protein isolates produced by seeds or industrial by-products (solvent cake). *Food Chemistry*, 104(4), 1728-1733.
- Kimbonguila, A., Nzikou, J., Matos, L., Loumouamou, B., Ndangui, C., Pambou-Tobi, N., Abena, A., Silou, Th., Scher, J., y Desobry, S. (2010). Proximate composition and physicochemical properties of the seeds and oil of *Annona muricata* grown in Congo-Brazzaville. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2, 13-18.
- Kinsella, J., y Melachouris, N. (1976). Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 7(3), 219-280.
- Kittiphoom, S. (2012). Utilization of mango seed. *International Food Research Journal*, 19(4), 1325-1335.

- Knattab, R., y Amtfield, S. (2009). Functional properties of raw and processed canola meal. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6), 1119-1124.
- Lampart-Szczapa, E., Konieczny, P., Nogala-Kalucka, M., Walczak, S., Kossowska, I., y Malinowska, M. (2006). Some functional properties of lupin proteins modified by lactic fermentation and extrusion. *Food Chemistry*, 96(2), 290-296.
- Liadakis, G., Tzia, C., Oreopoulou, V., y Thomopoulos, C. (1998). Isolation of tomato seed meal proteins with salt solutions. *Journal of Food Science*, 63(3), 450-453.
- Mahattanatawee, K., Manthey J., Luzio G., Stephen T., Goodner, K., y Baldwin E. (2006). Total antioxidant activity and fiber content of select Florida-grown tropical fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54(19), 7355-7363.
- Mohamed, A., Biresaw, G., Xu, J., Hojilla-Evangelista, M., y Rayas-Duarte, P. (2009). Oats protein isolate: thermal, rheological, surface and functional properties. *Food Research International*, 42, 107-114.
- Moure, A., Sineiro, J., Domínguez, H., y Parajó, J. (2006). Functionality of oilseed protein products: a review. *Food Research International*, 39(9), 945-963.
- Muchiri, D., Mahungu, S., y Gitunja, S. (2012). Studies on mango (*Mangifera indica*, L.) kernel fat of some Kenyan varieties in Meru. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(9), 1567-1575.
- Mulvihill, D., y Kinsella, J. (1987). Gelation characteristics of whey proteins and β -lactoglobulin. *Food Technology*, 9, 102-111.
- Nzikou, J., Kimbonguila, A., Matos, L., Loumouamou, B., Pambou-Tobi, N., Ndangui, C., Abona, A., Sllou, T., Scher, J., y Desobry, S. (2010). Extraction and characteristics of seed kernel oil from mango (*Mangifera indica*). *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 291, 31-35.

- Doko, F., Banra D., Boatin, R., Adom, T., y Agbemavor W. (2010) Physico-chemical, functional and pasting characteristics of flour produced from Jackfruits (*Artocarpus heterophyllus*) seeds. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1(5), 903-908.
- Ogunwolu, S., Oshinshaw, F., Mock, H., Santos, A., y Awonorin S. (2009). Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale L.*) nut. *Food Chemistry*, 115(3), 852-858.
- Omid-Saad y El-Ghannam. (2011). Chemical and technological studies on mango seed kernels for enhancing the organoleptic and keeping quality of one bakery product.
- O'Reagan, J., Mulvihill, D. (2009). Preparation, characterization and selected functional properties of sodium caseinate-matodextrin conjugates. *Food Chemistry*, 115, 1257-1267.
- Pascual-Bustamante, S., Vilchis-Martínez, G., Álvarez-Toledano, C., y Trejo-Márquez, M. (2010). Caracterización del aceite obtenido de almendras de diferentes variedades de mango y su aplicación como sustituto de manteca de cacao en rellenos y coberturas de chocolate. X Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León, Universidad Autónoma de Guanajuato, Universidad Juárez del Estado de Durango y el ICA Durango, Mexico.
- Pachekar, M., Joshi, A., Rajalakshmi, V. y Sharma A. (2010). Radiation processing and functional properties of soybean (*Glycine max*). *Radiation Physics & Chemistry*, 79(4), 490-494.
- Peleg M. (1981). Physical characteristics of food powders. In *Physical properties of foods*. Eds. M. Peleg y E. B. Bagley. 293-324. Westport, CT: AVI Publishing Co.

- Pincirolì, M., Vidal, A., Añón, C., y Martínez, N. (2009). Comparison between protein functional properties of two rice cultivars. *LWT-Food Science and Technology*, 42(10), 1605-1610.
- Ramírez, A., y Pacheco, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4), 293-298.
- Reis, R., Ramos, A., Regazzi, A., Minim, V., y Stringueta, P. (2006). Almacenamiento de mango secado: análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(3), 214-225.
- Ribeiroa, S., Barbosab, L., Queirozc, J., Knödlerd, M., y Schieber A. (2008). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Food Chemistry*, 110(3), 620-626.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería AC*, 16(2), 14-46.
- Seena, S., y Sridhar, K. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, *Canavalia* of the southwest coast of India. *Food Research International*, 38(7), 803-814.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2015). Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>.
- Siddeeg, A., Xu, Y., Jiang, Q., y Xia, W. (2014). Physicochemical and functional properties of flour and protein isolates extracted from seinat (*Cucumis melo* var, tibish) seeds. *Food Science and Biotechnology*, 23(2), 345-353.
- Sirisakulwat, S., Nagel, A., Suamsiri, P., Carie, R., y Neidhart, S. (2008). Yield and quality of pectins extractable from the peels of Thai mango cultivars depending

- on fruit ripeness. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56(22), 10727-10738.
- Sosulski, F. (1962). The centrifuge method for determination of water absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemistry*, 39, 344-351.
- Sharma, P., Tilakratne, B., y Gupta, A. (2010). Utilization of wild apricot kernel press cake for extraction of protein isolate. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 682-685.
- Tang, C., y Ma, C. (2009). Effect of high pressure treatment on aggregation and structural properties of soy protein isolate. *LWT-Food Science & Technology*, 42(2), 606-611.
- Tharanathan, R., Yashoda, H., y Prabha, T. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.). "The king of fruits"-an overview. *Food Reviews International*, 22(2), 95-123.
- Ulloa, J., Rosas-Ulloa, P., y Ulloa-Rangel, B. (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(3), 572-577.
- Ulloa, J., Rosas-Ulloa, P., Ramirez-Ramirez, J., y Ulloa-Rangel, B. (2012). Producción de aislados proteicos a partir de subproductos industriales. *Revista Fuente nueva época*, 4(11), 9-15.
- USDA, United States Department of Agriculture. (2006). National Nutrient Data Base of Standard Reference, Release 18. Available in: <http://www.ars.usda.gov>.
- Vega-Turizo, A. (2004). Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces. CAB Ciencia y Tecnología. Bogotá, Colombia. p. 38-40.

- Wagner, J., y Añón, M. (1990). Influence of denaturation, hydrophobicity and sulfhydryl content on solubility and water absorbing capacity of soy protein isolates. *Journal of Food Science*, 55(3), 765-770.
- Wang, J., y Kinsella, J. (1976). Functional properties of novel protein: alfalfa leaf proteins. *Journal of Food Science*, 41(2), 286-292.
- Wani, A., Sogi, D., Singh, P., y Shivhare, U. (2011). Characterization and functional properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed protein isolates and salt assisted protein concentrates. *Food Science and Biotechnology*, 20(4), 877-887.
- Wu, H., Wang, Q., Ma, T., y Ren, J. (2009). Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein. *Food Research International*, 42(3), 343-348.
- Yu, J., Ahmedna, M., y Goktepe, I. (2007). Peanut protein concentrate: production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*, 103, 121-129