

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



“Evaluación de las propiedades funcionales de las fracciones proteicas del cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus*”

TESIS

Para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Biológicas

PRESENTA

Bióloga Jennifer López Sánchez

Director de tesis

Dr. Gerardo Diaz Godínez

Co-directora

Dra. Ma. Del Carmen Sánchez Hernández

Tlaxcala, Tlax.

Febrero 2010

Posgrado CTBC



Maestría en
Ciencias Biológicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**“Evaluación de las propiedades funcionales de las
fracciones proteicas del cuerpo fructífero de las
Pleurotus ostreatus”**

TESIS

**Para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Biológicas**

PRESENTA

Bióloga Jennifer López Sánchez

Comité Tutorial

Dr. Gerardo Diaz Godínez

Dra. Ma. Del Carmen Sánchez Hernández

Dr. Jorge Soriano Santos

Dr. Daniel Méndez Iturbide

Dra. Blanca Rosa Rodríguez Pastrana

Dra. Adriana Montoya Esquivel

Tlaxcala, Tlax.

Febrero 2010

Posgrado CIBG



**Maestría en
Ciencias Biológicas**

El presente proyecto se realizó bajo la dirección del Dr. Gerardo Díaz Godínez en las instalaciones del laboratorio de biotecnología del CICB, Universidad Autónoma de Tlaxcala y contó con financiamiento del otorgado por la UAT para fortalecimiento de Cuerpos Académicos. La alumna Jennifer López Sánchez recibió la beca número 227852 otorgada por el CONACYT para estudios de maestría.

La tesis fue desarrollada en el programa de la Maestría de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, la cual está registrada en el Padrón Nacional de Posgrado (PNP).

COORDINACIÓN DE LA MAESTRÍA
CENTRO TLAXCALA DE BIOLOGÍA DE LA CONDUCTA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
P R E S E N T E

Los firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que la Biol. **Jennifer López Sánchez** realiza para la obtención del grado de Maestra en Ciencias Biológicas, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que esta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevara es "Evaluación de las propiedades funcionales de las fracciones proteicas del cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus*".

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Tlaxcala, Tlax., Enero 18 de 2010

Dra. María del Carmen Sánchez

Hernández

Dr. Daniel Méndez Iturbide

Dra. Adriana Montoya Esquivel

Dr. Gerardo Díaz Godínez

Dr. Jorge Soriano Santos

Dra. Blanca Rosa Rodríguez Pastrana

Dedicada a mis padres (Guadalupe Sánchez Méndez y Javier López Muñoz). Con todo mi corazón los amo y admiro.

Dedicatoria

Agradecimientos

A mis padres, porque en todo momento me han brindado su apoyo, confianza y sobre todo su amor! Gracias por creer en mí! Siempre los llevo en mi mente, pero sobre todo en mi corazón.

A mis hermanos (Samy, Josue y Carito) muchas gracias por cada momento compartido! Si que nos hemos divertido! Por su apoyo siempre que los he necesitado.

A viky, por su apoyo y amistad, además de formar parte de mi familia.

A toda la nueva generación: Lupita, Ricardo, Javier, Ximena, Adrián y Héctorito! Los quiero!

Agradecimientos

Para la familia Mendoza Xochipa (Profesor José Miguel Mendoza Góchez, Profesora Martha Xochipa Pérez, Anthony, Michael y Johnny), por haberme brindado durante todo este tiempo las puertas de su casa. Muchas gracias de corazón por su apoyo incondicional y cariño.

Un agradecimiento muy especial y sincero a Johnny! Por compartir esta aventura! Por su gran apoyo durante todo este tiempo. Muchas gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas! Fue un placer encontrarte en mi camino! T.Q.M.

Agradecimientos

Al doctor Gerardo Díaz Godínez, por su paciencia, apoyo y consejos durante la realización de esta tesis. Pero sobre todo por su amistad.

A la Dra. Ma. Del Carmen Sánchez Hernández por sus acertadas aportaciones y consejos para el mejoramiento en la redacción de esta tesis.

Al Doctor Jorge Soriano Santos, gracias por sus valiosas aportaciones y comentarios al trabajo desarrollado.

Al Dr. Daniel Méndez Iturbide por revisar el manuscrito y sus comentarios para mejorarlo.

A la Dra. Blanca Rosa Rodríguez Pastrana y la Dra. Adriana Montoya Esquivel por la disponibilidad para la revisión del manuscrito

Resumen

En la actualidad, es diversa la información respecto a *Pleurotus ostreatus*, particularmente en lo referente a su composición proximal por lo que se ha propuesto la posibilidad de utilizar su biomasa como suplemento alimenticio o como ingrediente funcional. Sin embargo, deben estudiarse las propiedades funcionales presentes en las fracciones proteicas presentes en *P. ostreatus*.

En este estudio se realizó el fraccionamiento de las proteínas de *P. ostreatus* con base a su solubilidad en diferentes solventes. Se obtuvieron por solubilización cuatro fracciones proteicas: Globulinas (9,24±0,74%), Glutelinas (8,03±0,74%), Albuminas (4,68 ± 0.41%) y prolaminas (1,47±0,18%), a partir de harina desgrasada del cuerpo fructífero de *P. ostreatus*.

Además, se evaluó la capacidad de absorción de aceite y agua, solubilidad, emulsificación y espumado (a pH 2, 4, 6, 8 y 10) de cada una de las fracciones proteicas. Las globulinas mostraron la mayor capacidad de retención de agua (2.3 ml/g), seguida de las glutelinas (1.66 ml/g), las albuminas y prolaminas presentaron los valores menores (aprox. 1 ml/g). Las albuminas tuvieron una capacidad de retención de aceite de aprox. 2.5 ml/g, mientras que las otras tres fracciones mostraron aprox. 2 ml/g. La capacidad y estabilidad de emulsificación, fue elevada en la fracción de globulinas (aprox. 95%). Las albuminas y prolaminas solo presentaron valores de aprox. 50%. La capacidad de espumado de todas las fracciones fue cercano al 100%, y las fracciones de globulinas y glutelinas tuvieron un efecto positivo con el pH. La estabilidad de las espumas fue mayor en todas las fracciones a pH alcalinos. En cuanto a la solubilidad, las prolaminas a pH 8 con valor de 0.096 g/L de proteína, fueron las que obtuvieron el valor más alto.

INDICE

1. Introducción	1
1.1 Características generales de <i>Pleurotus ostreatus</i>	2
1.2 Morfología de los hongos del género <i>Pleurotus</i>	3
1.2.1 Ciclo de vida de <i>Pleurotus</i>	4
1.2.2 Origen de su cultivo	6
1.3 Propiedades funcionales de las proteínas	6
1.3.1 Emulsiones	8
1.3.2 Espumas	10
1.3.3 Capacidad de absorción de agua	11
1.3.4 Capacidad de absorción de aceite	12
1.3.5 Solubilidad	12
1.3.5.1 Factores extrínsecos que afectan la solubilidad	13
1.3.5.2 Estructura y solubilidad de las proteínas globulares	14
1.4 Factores que afectan las propiedades funcionales de las proteínas	17
2. Antecedentes	16
3. Justificación	29
4. Pregunta de investigación	30
5. Objetivos	30
5.1 Objetivo general	30
5.2 Objetivos particulares	30
6. Materiales y métodos	31
6.1 Obtención de harina integral del cuerpo fructífero del hongo	33
6.2 Análisis químico proximal	33
6.2.1 Determinación de proteína	33
6.2.2 Determinación de humedad	33
6.2.3 Determinación de cenizas	34
6.2.4 Determinación de extracto etéreo	34
6.2.5 Determinación de fibra cruda	34
6.2.6 Determinación de carbohidratos	35
6.3 Obtención de fracciones proteicas del cuerpo fructífero de <i>P. ostreatus</i>	35
6.4 Evaluación de propiedades funcionales	36
6.4.1 Retención de agua o aceite	36
6.4.2 Emulsificación	36
6.4.3 Capacidad de emulsificación	37
6.4.4 Estabilidad de emulsificación	37
6.4.5 Espumado	38
6.4.6 Solubilidad	38
7. Resultados y discusiones	40
7.1 Desgrasado	40
7.2 Obtención de las fracciones proteicas	40
7.3 Análisis químico proximal	43
7.4 Evaluación de propiedades funcionales	45
7.4.1 Capacidad de retención de agua y aceite	46
7.4.2 Emulsificación	48
7.4.2.1 Capacidad de emulsificación	48
7.4.2.2 Estabilidad de emulsificación	50

7.4.3 Espumado	51
7.4.3.1 Capacidad de espumado	52
7.4.3.2 Estabilidad de espumado	53
7.4.4 Solubilidad de proteína	55
8. Conclusiones	58
9. Perspectivas	59
10. Referencias	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del cuerpo fructífero de un hongo macroscópico.....	4
Figura 2. Ciclo reproductivo de hongos tipo tetrapolar.....	5
Figura 3. Porcentaje de las fracciones proteicas de la harina desengrasada de <i>Pleurotus ostreatus</i>	42
Figura 4. Capacidad de retención de aceite y agua de las fracciones proteicas de <i>Pleurotus ostreatus</i>	47
Figura 5. Capacidad de emulsificación de las fracciones proteicas de <i>Pleurotus ostreatus</i> a diferentes pHs.....	49
Figura 6. Estabilidad de emulsificación de las fracciones proteicas de <i>Pleurotus ostreatus</i> a diferentes pHs.....	51
Figura 7. Capacidad de espumado de las fracciones proteicas de <i>Pleurotus ostreatus</i> a diferentes pHs.....	52
Figura 8. Estabilidad de espumado de las fracciones proteicas de <i>Pleurotus ostreatus</i> a diferentes pHs.....	54
Figura 9. Proteína soluble de las fracciones proteicas de <i>Pleurotus ostreatus</i> a diferentes pHs.....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento obtenido por cada método de solubilización.....	40
Tabla 2. Composición proximal del cuerpo fructífero de <i>P. ostreatus</i>	43

1. Introducción

Las proteínas son parte fundamental en los sistemas biológicos al realizar los diversos procesos químicos y bioquímicos encargados de mantener la vida de la célula y de los organismos. Además, son los componentes estructurales y funcionales de mayor importancia en la célula viviente. Estas moléculas conservan su actividad biológica solamente en un intervalo relativamente limitado de pH y temperatura. Cada tipo de célula contiene miles de proteínas diversas, así como cada especie de organismo contiene un conjunto característico de proteínas químicamente diferentes de las de otros organismos (Mejía 2003).

La visión bioquímica sobre la estructura y función de las proteínas proviene del estudio de muchas proteínas individuales, para esto es necesario separarlas del resto de proteínas de la célula, al tiempo que deben existir técnicas que permitan determinar sus propiedades. Los métodos necesarios provienen de la química de proteínas, disciplina tan antigua como la bioquímica y que retiene una posición central en la investigación bioquímica. Las técnicas modernas proporcionan siempre nuevos conocimientos acerca de la relación crítica entre la estructura de una proteína y su función (Martínez 2006).

Han sido necesarias dos generaciones de investigaciones de investigación fisicoquímica para poder afirmar la teoría de que las proteínas son macromoléculas de peso molecular bien definido, que forman verdaderas disoluciones moleculares y que son electrolitos cuyo comportamiento se rige por los mismos principios físicos que los de los electrolitos pequeños. El estudio del comportamiento de las proteínas en disolución y la separación de proteínas se ha transformado en una ciencia casi exacta (Badui 2006).

La característica más notable de las proteínas es su gran tamaño, el cual permite el uso de métodos sencillos para la separación de las proteínas de moléculas de pequeño tamaño, así como los métodos para la resolución de mezclas de proteínas (Mejía 2003).

La especie *P. ostreatus* ha sido comúnmente llamada seta u ostra por su parecido a la ostra y por su forma de concha. Crece de forma cespitosa, formando racimos, sobre troncos de troncosas y otras especies arbóreas. Es una seta bastante variable tanto en sus dimensiones como en su aspecto. Su tamaño varía en función de la edad y de la cantidad de sustrato que la alimenta, encontrándose ejemplares que llegan a medir hasta 20 o 30 cm de diámetro; la forma depende también de la edad, primero es abombada y finalmente llega a ser plana. En cuanto al color puede variar desde el gris claro a gris pizarra oscuro de tono violáceo o azulado y desde

1.1 Características generales de *Pleurotus ostreatus*

En los últimos años la extracción, identificación de concentrados y aislados proteicos, así como su caracterización físico-química se ha incrementado y actualmente se obtiene una gran cantidad de estos de distintas fuentes: levaduras, leguminosas, oleaginosas, cereales, diversas plantas y hongos, usándose estas sustancias en la elaboración de muchos alimentos, explotando sus propiedades funcionales (Soriano-Santos y cols. 1993). Así, tenemos que uno de los hongos que podría ser fuente de extracción es *Pleurotus ostreatus*. Producir hongos comestibles de esta especie para utilizar su biomasa como alimento y fuente comercial de suplementos alimenticios por su contenido proteico resulta ser una alternativa prometedora (Bermúdez 2003). Además, el proceso biotecnológico empleado es relativamente sencillo y su técnica de cultivo es fácil, ya que no requiere de grandes inversiones mismas que se amortizan rápidamente, con la ventaja de ser una producción ecológica, ya que constituye un alimento humano y animal a partir de residuos agrícolas.

Las características de las proteínas en sí mismas, varían considerablemente, pero aquellas que son usadas para su fraccionamiento, son más bien limitadas en número. Estas características principales son solubilidad, tamaño molecular, carga de superficie, estabilidad, densidad, actividad biológica y antigenicidad. Así, las proteínas de acuerdo a su solubilidad se clasifican en albuminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones salinas), glutelinas (solubles en disoluciones acidas a pH 2 y alcalinas a pH 12) y prolaminas (solubles en etanol al 70 %) (Martínez 2006, Molina-Tizo 2008).

color café con leche a pardo; algunas variedades pueden presentar tonos verdosos o azul-verdoso muy llamativos (Sierra-Fernández 2002).

En las setas de cultivo se puede cambiar la tonalidad de esta especie a voluntad simplemente variando la iluminación en el local de producción. Las láminas son de color blanco o ligeramente crema, muy decurrentes en la parte superior del pie. El pie es corto, algo peloso en la base y siempre lateral. La carne del sombrero es blanca, bastante sabrosa, algo elástica, tierna en los bordes y más corrosa a medida que se aproxima al pie. La carne del pie es muy fibrosa y consistente, desechable, aunque algunos cultivadores la aprovechan para hacer paté. Esta especie es bastante común en España, y en México representa el segundo hongo con mayor producción (Sierra-Fernández 2002, Sales-Campos 2009).

1.2 Morfología de los hongos del género *Pleurotus*

El hongo tiene una apariencia de masa algodonosa, generalmente blanca, que técnicamente se llama micelio y la cual crece sobre el sustrato elegido para el desarrollo del hongo. La unidad microscópica fundamental de un hongo se denomina hifa, la cual es un filamento tabicado. El micelio es el que se cultiva en el laboratorio sobre medios sintéticos en cajas petri para obtener una cepa. Esta crece en forma radial y por ello se forman masas discoidales sobre la superficie en donde crecen (Martínez-Carrera 2002).

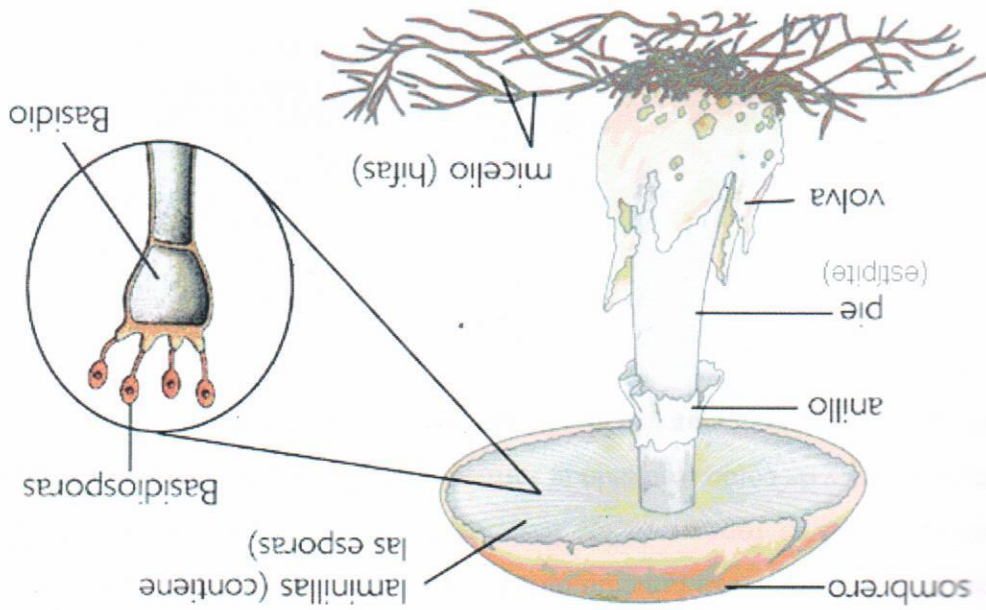
En la figura 1 se muestra el esquema del cuerpo fructífero de un hongo microscópico, las cuales son el sombrero o plio, que protege a las laminitas o el himenio, este último es la parte fértil del hongo en donde se producen las esporas. El sombrero es sostenido por el tallo o estípite (Martínez-Carrera 2002).

Las esporas de *Pleurotus* (basidioesporas) al caer sobre un sustrato adecuado, germinan produciendo hifas y éstas, un micelio que tienen la particularidad de ser uninucleado. Un micelio uninucleado, también llamado micelio primario, se fusiona con otro individuo para producir un micelio binucleado o secundario (sin fusión nuclear). Esta unión sexual se llama plasmogamia y constituye el primer paso en la reproducción sexual del hongo.

Las fructificaciones de los hongos constituyen los cuerpos reproductores en los que el hongo forma sus esporas, la células de dispersión del hongo para perpetuar la especie. Las esporas pueden ser sexuales o asexuales. En la figura 2 se representa la estructura de un hongo donde la fructificación es el resultado de un proceso sexual y formará las esporas en su parte fértil, el himenio, que es la cara inferior del sombrero.

12.1 Ciclo de vida de *Pleurotus*

Figura 1. Esquema del cuerpo fructífero de un hongo macroscópico (Starr 2008).



más hifas formando un nuevo micelio. El método vegetativo es el más empleado en el laboratorio para reproducir a los hongos. (Martínez-Carrera 2002).

1.2.2 Origen de su cultivo

Su cultivo se inició sobre madera en 1970 en Hungría, Alemania y Checoslovaquia. A partir de la década de los 70's comenzó su producción industrial sobre paja de cereales. En España actualmente muchos cultivadores de champiñón han modificado sus instalaciones para cultivar *P. ostreatus* pues es más fácil y resulta más rentable que otros géneros, como *Agaricus*.

En México este hongo recibe el nombre de oreja, oreja de cazahuate, ostra o seta. Puede ser cultivado sobre sustratos preparados con materiales celulósicos, como fragmentos de papel, aserrín de pino y encino, o con paja de gramíneas y harina de frijol, al que se le adicionan algunas sales minerales como carbonato y sulfato de calcio; también es cultivado en tocones o troncos de árboles muertos y en una variedad de desperdicios agrícolas lignocelulósicos como rastrojo de maíz o de sorgo, oletes de maíz y bagazo de caña de azúcar o de café, los cuales contienen aproximadamente 60-70 % de celulosa y 15 % de lignina. Esto sucede debido a que tienen la capacidad de desdoblarse a la lignina y celulosa sin que sea necesario efectuar una fermentación previa u otro tipo de complicada preparación química o biológica. Esta característica ubica a *Pleurotus* como un hongo de pudrición blanca (Herrera y Ulloa 1998).

1.3 Propiedades funcionales de las proteínas

La funcionalidad de una sustancia se define como toda propiedad, nutricional o no, que interviene en su utilización. Este comportamiento depende de las propiedades físicas y químicas que se afectan durante el procesamiento, almacenamiento, preparación y consumo del alimento. Las propiedades funcionales permiten el uso de las proteínas como ingredientes en alimentos, aunque generalmente se incorporan en mezclas complejas entre los ingredientes (Mathews 2005).

La industria alimentaria esta en continua búsqueda de proteínas alternativas que puedan competir con las que actualmente dominan el mercado y que poseen características nutritivas, funcionales y sensoriales adecuadas para utilizarse en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. La forma de comercializar las fuentes proteicas es mediante la producción de aislados proteicos que tienen diversas aplicaciones como ingredientes y aditivos alimentarios y cuyas propiedades dependen del número y tipo de proteínas presentes, así como de su pureza (Pszczola 2004).

La funcionalidad de una proteína no está del todo comprendida y hasta ahora no ha sido posible predecir su comportamiento en sistemas modelo, aunque se trabaja activamente en este sentido. La relación entre la composición de aminoácidos y las propiedades funcionales, así como las propiedades fisico-químicas se puede visualizar como una serie de eventos que están interrelacionados. No obstante, los modelos de predicción de propiedades funcionales a partir de información sobre sus aminoácidos son todavía limitados (Damodaran y Paraf 1997).

Las propiedades funcionales de las proteínas, pueden clasificarse en tres grupos principales:

- 1) Aquellas que son dependientes de las interacciones proteína-agua, también llamadas propiedades de hidratación, la cuales incluyen: absorción y retención de agua, solubilidad entre otras.
- 2) Aquellas que dependen de las interacciones proteína-proteína o hidrodinámicas: viscosidad, gelificación, texturización, por mencionar algunas.

- 3) Propiedades de superficie, se refieren a la tensión superficial: emulsificación, retención de aceite y características espumantes de las proteínas (Molina-Tizo 2008).

1.3.1 Emulsiones

Una emulsión es una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles. Los diámetros de las gotas líquidas que se encuentran dispersas se encuentran en el rango de 0.1 y 20 µm. Aunque se traten de dispersiones termodinámicamente inestables, las emulsiones pueden convertirse en cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensioactivos que presentan la capacidad de absorción en las superficies de las gotas. En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra un aceite no polar. Las emulsiones con el aceite como fase dispersa se conocen como emulsiones de aceite en agua (*oil-in-water*, o/w) y las emulsiones con agua como fase dispersa se conocen como emulsiones de agua en aceite (*water-in-oil*, w/o). El tipo de emulsión que se tiende a formar depende del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del agente emulsificante (Aranberri 2006).

El proceso de ruptura de las emulsiones puede ocurrir mediante cuatro mecanismos de inestabilidad diferentes:

1. "Creaming"/sedimentación. Se trata de un proceso causado por la acción de la gravedad y produce un gradiente vertical de concentración de las gotas sin variar la distribución del tamaño de las mismas. Para las emulsiones o/w las gotas de aceite son menos densas que la fase continua y acuosa y por lo tanto principalmente ocurre el "creaming".

2. La floculación es la adhesión de las gotas sin fusionarse y una vez más no existe una variación en la distribución de tamaño de gotas. El proceso de la floculación está controlado por un equilibrio global entre las fuerzas de atracción electrostáticas de Van der Waals, y repulsivas de tipo estéricas y de hidratación.

3. La coalescencia es la fusión de gotas para crear unas gotas más grandes con la eliminación de la interfase líquido/líquido. Este cambio irreversible requeriría un aporte extra de energía para restablecer la distribución de tamaño de partícula original.

Las proteínas actúan como surfactantes en muchas emulsiones de alimentos. En la formación de la emulsión, las moléculas de la proteína se difunden y son adsorbidas en la interfase aceite/agua. La migración de la solución a la interfase termodinámicamente favorable, debido a que una parte de la energía conformacional e hidratación de la proteína es perdida en la interfase. Una vez en la interfase, la mayoría de las proteínas se desarrollan en diferente grado, se reorientan y acomodan para formar una película continua adhesiva, donde los segmentos hidrofóbicos se orientan en la fase no polar (aceite), mientras los segmentos polares, lo hacen en la fase acuosa, además de que la mayor parte de la proteína ocupa la interfase, interactúa con moléculas vecinas, impartiendo firmeza y viscosidad a la película. Las propiedades reológicas y mecánicas de tales películas son importantes en la formación y estabilización de las emulsiones en alimento y varían con el tipo de proteína, concentración, pH, fuerza iónica, temperatura, por lo que, la información concerniente a las

1993).

El término estabilizador se usa para denotar a aquellos compuestos que no son surfactantes activos, pero imparten estabilidad a las emulsiones por la restricción de las interacciones interfaciales, por lo tanto las proteínas, debido a que forman películas interfaciales, deberán clasificarse como emulsificadores, mientras que los polisacáridos, son estabilizadores, aunque algunas proteínas pueden desarrollar ambas funciones (Fennema

macromoléculas (Badui 2006).

Las emulsiones para su uso en alimentos deben ser estables en su conformación por periodos razonablemente largos de tiempo, esta estabilidad se puede proporcionar utilizando emulsificadores o estabilizadores, los cuales pueden ser divididos en moléculas pequeñas y

(Aranberti 2006).

4.- Engrosamiento de gotas. Se debe al crecimiento de las gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen. Este proceso ocurre a una velocidad que es función de la solubilidad de la fase dispersa en la fase continua y se debe a que la presión interna de las gotas (presión de Laplace) es mayor en las gotas más pequeñas

propiedades de formación de estas películas es útil para entender las propiedades emulsificantes de las proteínas en alimentos (Das y Kinsella 1990, Badui 2006).

1.3.2 Espumas

El espumado puede ser definido como la capacidad de las proteínas para formar espumas estables, debido a la formación de una película impenetrable conformada por proteínas que mantienen atrapadas moléculas de gas. Las proteínas aptas para desarrollar espumado son solubles en la fase acuosa, deberán concentrarse en la interfase, desarrollarse para formar capas cohesivas de proteína y circundar las burbujas de aire. Así mismos, deberán poseer la suficiente viscosidad y fuerza mecánica para prevenir la ruptura y la coalescencia de las burbujas (Das y Kinsella, 1990, Badui 2006).

Las espumas tienen un amplio campo de aplicación en la industria alimentaria, en productos como merengues, crema batida, algunas pastas, helados, soufflés, la espuma de cerveza o incluso el pan. Las espumas en batidos alimenticios son dispersiones de gas, que se encuentran como burbujas o celdas de aire, en una fase continua líquida o semisólida.

La interfase gas/líquido creada mecánicamente, al igual que en las emulsiones está formada por delgadas capas líquidas llamadas laminitas, las cuales constituyen una película, formando así, las paredes de las burbujas.

Existen básicamente tres mecanismos de desestabilización:

1. Drenado o pérdida del líquido de la lámina líquida por gravedad. Por la diferencia de presión y/o evaporación. En las espumas de baja densidad, las burbujas tienden a presionarse estrechamente las unas contra las otras, lo que aumenta la pérdida de líquido de las laminitas. Tensiones interfaciales bajas y diámetros de burbujas grandes disminuyen la presión interna y pérdida de líquidos.

2. Difusión de gas de las burbujas pequeñas hacia las burbujas grandes, difusión que es posible por la disolución de gas en la fase acuosa.

3. Ruptura de la laminita líquida que separa las burbujas de gas, esta ruptura provoca un aumento del tamaño de las burbujas por coalescencia y conduce a un derrumbe de la espuma. Existe una interdependencia entre pérdida de líquidos y la ruptura. Porque esta última aumenta la salida de líquidos y esto puede reducir el espesor y la resistencia de las laminitas (Aranberri 2006).

Muchos alimentos procesados son productos tipo espumas entre estos encontramos a la crema batida, helados de crema, pasteles, merengues, pan, soufflés, mousses, y malvaviscos. Las propiedades de textura son únicas debido a la dispersión de numerosas burbujas de aire y a la formación de una película delgada en la interfase líquido-gas llamada frecuentemente lamela. En la mayoría de estos productos, las proteínas son los principales agentes con actividad superficial que ayudan en la formación y estabilización de la fase gaseosa dispersa. Generalmente, las espumas estabilizadas por proteínas se forman por burbujeo, batido o agitación de una solución protéica (Das y Kinsella 1990).

La estabilidad de la espuma se refiere a la capacidad de la proteína para estabilizar la espuma contra la gravitación y el estrés mecánico y se expresa como el tiempo necesario para que se drene el 50 % de líquido de una espuma o para la reducción del 50 % del volumen de la espuma (Aranberri 2006).

1.3.3 Capacidad de absorción de agua

Es la propiedad que indica la capacidad de la proteína para retener su contenido en agua, así como su capacidad para embeber agua adicional a elevadas concentraciones de sales durante su tratamiento. Diversos factores tales como la concentración, pH, temperatura, tiempo, fuerza iónica y presencia de otros constituyentes afectan la absorción de agua. La absorción total del agua aumenta con la concentración protéica (Huidobro y Tejeda 1993).

1.3.4 Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de retención de aceite de una proteína esta determinada por la estructura de la matriz proteínica, así como por el tipo de grasa y su distribución, las interacciones entre las proteínas y la grasa también son importantes, ya que estas pueden afectar la estructura del gel (propiedades gelificantes), así como la distribución y/o emulsificación de la grasa.

Una formulación que resulte pobre en la capacidad de retención de agua y aceite puede traducirse directamente a pérdidas de líquidos durante el procesado (cocción, congelamiento, etc.).

1.3.5 Solubilidad

La solubilidad es una de las propiedades fisicoquímicas más importantes de una proteína debido a la influencia directa que tiene en otras propiedades funcionales. Se define termodinámicamente como la concentración de proteína en un disolvente en el punto de equilibrio, ya sea en un sistema monofásico o bifásico (solución de proteína en un sistema líquido-líquido o líquido-sólido) (Vojdani 1996, Carrillo-Nava 2002).

La solubilidad esta determinada principalmente por la actividad superficial de una proteína, la cual esta relacionada con el número y tipo de interacciones que puede tener con el medio, con ella misma o con otros componentes de la matriz. Esto va a depender, entre otras cosas, de factores intrínsecos como son la composición y distribución de aminoácidos en la proteína, cobrando gran importancia la proporción de residuos hidrofóbicos e hidrofílicos y su distribución. Dado que el medio es generalmente acuoso los residuos hidrofílicos estarán orientados al exterior (interacciones proteína-solvente) mientras que los residuos hidrofóbicos se acomodaran al interior de la molécula (interacciones proteína-proteína) (Vojdani 1996, Carrillo-Nava 2002).

2. La solubilidad de una proteína aumenta al incrementar la temperatura en un intervalo de 0 a 40-50 °C. Esto ocurre debido a que al aumentar la temperatura se rompen los enlaces que estabilizan las estructuras secundarias y terciarias. Esto provoca el desdoblamiento de la proteína (cambio conformacional) y por consiguiente la posibilidad de mayores interacciones hidrofóbicas lo que da lugar a la agregación, coagulación y por último precipitación. Cuando

La proporción de proteína soluble en el punto isoeléctrico dependerá de las características de la proteína. Algunas proteínas son completamente insolubles en su punto isoeléctrico mientras que otras permanecen en solución casi en su totalidad. La curva típica de solubilidad de proteínas en función del pH tiene forma de "U", observándose en general la menor en el pH isoeléctrico. Esto tiene sus excepciones por ejemplo en el caso de proteínas complejas o mezclas de proteínas (Suárez-Brito 2008).

1. El pH es uno de los factores que más inciden en el comportamiento de una proteína en solución. Este comportamiento está dado por los cambios en la carga al aumentar o disminuir la concentración de iones H^+ en el medio. El punto isoeléctrico es el valor de pH en el cual una proteína posee carga neta igual a cero. Por arriba de éste valor aumenta el número de cargas negativas y por abajo en número de cargas positivas. Si la carga neta disminuye disminuirán entonces las repulsiones electrostáticas en la molécula y por lo tanto aumentarán el número de interacciones hidrofóbicas (proteína-proteína) disminuyendo las interacciones con el medio y la solubilidad provocando la agregación de las moléculas y su posterior precipitación. Si por el contrario aumenta la carga neta, la proteína será capaz de interactuar con el medio acuoso (proteína-solvente) aumentando así su solubilidad (Suárez-Brito 2008).

continúan a continuación:

Las características superficiales de la proteína y por consiguiente, su capacidad de permanecer en solución, se ven afectadas a su vez por los otros factores mencionados como son las condiciones ambientales y condiciones de proceso la influencia de algunos de estos factores se

Los factores extrínsecos que afectan la solubilidad

la temperatura de la solución aumenta lo suficiente en un tiempo determinado se puede lograr la desnaturación completa lo suficiente en un tiempo determinado se puede lograr la desnaturación completa de la proteína la cual puede ser irreversible. Una vez más se requieren diferentes condiciones de tiempo-temperatura para desnaturar una determinada proteína. Así mismo, estas condiciones dependen del pH y la fuerza iónica utilizada (Molina-Tizo 2008).

3. En los sistemas biológicos las proteínas no se encuentran solubles en agua pura, sino en soluciones salinas de baja concentración. En general, la solubilidad de las proteínas aumenta (salting-in), al aumentar la concentración de sales neutras, sin embargo como sucede con la temperatura, la solubilidad alcanza un máximo después del cual al seguir aumentando la concentración de sales, la solubilidad disminuye (salting-out). Esto se debe a que en este punto se presenta la competencia de los iones de la sal con la proteína por los sitios de unión con el agua. El incremento en la solubilidad se da en concentraciones de sal de 0.1-1 M.

4. La solubilidad está influida también por la concentración de proteína presente. En determinadas condiciones una proteína puede ser soluble en agua. Al aumentar su concentración por arriba de la constante del producto de solubilidad, una parte de esa proteína puede insolubilizarse y sedimentar por centrifugación. Termodinámicamente existe un equilibrio entre fases, en donde la proteína en estado sólido está en equilibrio con la que está en solución.

Se puede describir en general una secuencia de pasos que involucran las interacciones progresivas proteína-agua, a partir de la proteína seca hasta llegar a la proteína en solución (Suárez-Brito 2008).

1.3.5.2 Estructura y solubilidad de las proteínas globulares

La estabilidad de la estructura nativa de la proteína y el plegamiento de las cadenas polipeptídicas, han sido estudiadas de manera intensa. Actualmente, se reconoce que las

Debido a la dificultad experimental que presenta el determinar con precisión el coeficiente de partición o solubilidad de los α -aminoácidos en los medios acuosos, otros compuestos considerados como modelo han sido empleados para estimar la solubilidad de los α -aminoácidos. Estos resultados son relevantes para el estudio del plegamiento de las proteínas, pues permiten representar la transferencia de un residuo de α -aminoácido desde el interior de la proteína hacia el agua. Se han determinado los valores de la energía de Gibbs de

Para cuantificar la contribución de cada residuo de aminoácidos en el plegamiento de las proteínas, se puede medir de manera explícita la partición de las moléculas entre el agua y algún disolvente orgánico. Los aminoácidos hidrofóbicos tienen cadenas laterales aromáticas, las cuales son voluminosas. Cuando las cadenas laterales aromáticas se encuentran en el interior de la proteína globular o en la región hidrofóbica en el caso de proteínas membrana, al interactuar con otro anillo aromático se orientan de manera perpendicular de las moléculas de benceno en solución.

interacciones hidrofóbicas constituyen un factor importante para la estabilidad de la estructura plegada (estado nativo) de las proteínas solubles en agua. Para obtener un mayor conocimiento del proceso de hidratación de las proteínas y las interacciones no covalentes que estabilizan la estructura nativa de las mismas, es necesario estudiar la hidratación de las unidades primarias que las conforman: los α -aminoácidos. Los 20 tipos de α -aminoácidos que se encuentran en la estructura de las proteínas, difieren entre sí por el grupo sustituyente R en el átomo de carbono α . De acuerdo a las características de estos grupos laterales, los α -aminoácidos pueden ser clasificados en diferentes categorías: alifáticos, aromáticos, hidrofóbicos, polares o con carga. En general, las proteínas son anfipáticas, pero en promedio la mayoría de los aminoácidos hidrofóbicos se encuentran en el interior de las proteínas globulares y en el exterior de las proteínas membranales, que interactúan con las membranas celulares constituidas de lípidos, por lo que evitan el contacto con el agua del medio. Los aminoácidos hidrofílicos se encuentran en su mayoría entre los medios acuosos y no acuosos juega un papel muy importante en el proceso de plegamiento de las proteínas, donde es claro que está involucrado el efecto hidrofóbico.

transferencia de algunos α -aminoácidos y moléculas modelo desde soluciones acuosas de urea, metilglicol, cloruro de guanidina, etanol y dioxano al agua, con lo que se ha logrado constituir una escala de hidrofobicidad para los α -aminoácidos. Aunque, en estos estudios no se ha incluido a los 20 distintos α -aminoácidos y su escala de hidrofobicidad es específica para el disolvente que se emplea, estos han servido para entender mejor el proceso de transferencia de estos solutos.

En general, en base a diversas observaciones experimentales, se acepta que el plegamiento de las proteínas es promovido por las interacciones hidrofóbicas entre los residuos no polares de la cadena lateral de los α -aminoácidos. Las interacciones intramoleculares no covalentes son responsables de la estructura tridimensional única que presentan las proteínas cuando se encuentran plegadas (estado nativo). Las interacciones no covalentes que contribuyen a la estabilidad de las proteínas, incluyen los puentes de hidrógeno entre los grupos peptídicos que estabilizan a las estructuras secundarias (hélices α y hoja β), los puentes salinos entre los residuos con carga y las fuerzas de dispersión de London entre los residuos no polares. La estabilidad de la proteína plegada sin embargo es solo marginal, ya que el estado nativo de la proteína es solo de 20 a 80 kJ mol^{-1} más estable que el estado plegado. En comparación, los puentes de hidrógeno tienen una estabilidad que oscila entre 8 a 40 kJ mol^{-1} . La pequeña diferencia en energía que separa al estado nativo de las proteínas del desnaturalizado, no es mas que el producto de la compensación entre las grandes contribuciones entrópicas y entálpicas. A pesar de que el comportamiento termodinámico de las proteínas ha sido ampliamente discutido, aun falta información experimental sobre las magnitudes de las contribuciones de las distintas interacciones no covalentes en la estabilidad de las proteínas (Carrillo-Nava 2002).

1.4 Factores que afectan las propiedades funcionales de las proteínas

Son tres los factores que afectan las propiedades funcionales de las proteínas:

1. Factores intrínsecos de las proteínas.- Son aquellas características inherentes a la proteína como: la conformación, el tamaño, la forma, la composición y la secuencia de aminoácidos, la carga y distribución de esta, la proporción hidrofílica/hidrofóbica de los residuos de aminoácidos, el contenido de estructura secundaria y su distribución, los arreglos terciarios y cuaternarios de las macromoléculas, las interacciones inter e intra subunidades y la razón de la rigidez/flexibilidad de la proteína en respuesta a condiciones externas. Estos factores determinarán las posibles interacciones que la proteína pueda tener con el medio y con otras moléculas presentes en la matriz del alimento.

2. Condiciones de procesamiento.- En muchas ocasiones las proteínas no se aplican a los alimentos en la forma en que se encuentran en la naturaleza, sino después de un proceso de extracción y separación a partir de una fuente vegetal o animal (en forma de aislado o concentrados proteicos). Estos procesos se llevan a cabo en condiciones que pueden afectar las características estructurales originales de la proteína. Por ejemplo la adición de solventes para extracción de grasa, los cambios de pH y temperatura para lograr la precipitación de las proteínas, el secado, la molienda o las modificaciones enzimáticas o químicas, afectan directamente a los diferentes niveles estructurales de las proteínas (conformación y polaridad de aminoácidos) y por lo tanto a las interacciones que puedan tener con el medio o con otros componentes de los alimentos.

3. Condiciones de aplicación.- Se refiere a aquellas que se utilizan en el proceso de elaboración de los productos en los que se aplica la proteína. Las de mayor relevancia son la fuerza iónica, pH, concentración de proteína, temperatura, métodos y tiempo de mezclado, centrifugado, equipo utilizado, entre otros.

La mayoría de las propiedades funcionales de las proteínas, afectan la calidad de textura de un alimento y juegan un importante papel en la determinación de su comportamiento físico durante la preparación, procesamiento y almacenamiento (Molina-Tizo

2. Antecedentes

El paso inicial para la caracterización química de las proteínas comienza en su aislamiento. Estas tradicionalmente se han aislado fraccionado por extracciones secuenciales utilizando diferentes solventes (Myers 1988, Gallegos-Tintoré y cols. 2004).

Las principales proteínas de almacenamiento de los cereales son las prolaminas (solubles en alcohol). En el trigo, la cebada y el centeno se encuentran en un 40-50%, en tanto que las glutelinas comprenden alrededor del 30-40%, en el maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*) y mijo (*Pennisetum americanum*) las prolaminas se encuentran entre un 50-60%, en tanto que las glutelinas en un 35-40% de las proteínas totales. La avena (*Avena sativa*) y el arroz (*Oryza sativa*) presentan globulinas y glutelinas respectivamente, como principales proteínas, aunque también presentan bajas cantidades de prolaminas (Gorstein y cols. 1991).

La composición de las proteínas de la semilla de amaranto (*Amaranthus* sp) la constituyen las globulinas y albuminas principalmente. Las glutelinas conforman aproximadamente 30% de los cuerpos protéicos, en tanto las prolaminas a diferencia de los cereales solo se presentan en pequeñas cantidades (Barba de la Rosa y cols. 1992, Arcila y Mendoza 2006). Sin embargo, Segura-Nieto y cols. (1994) reportaron un contenido de glutelinas que va de un 14-18%.

Las especies del género *Amaranthus* se han descrito como fuentes proteicas no tradicionales, señalándose entre un 12 y 16% valores superiores al trigo (10%), maíz (10%) y con un 7% el arroz (Arcila y Mendoza 2006).

La evaluación de la pureza de las fracciones proteicas de la chíca realizada por Olivos (2005), demuestra que la clase de proteínas más abundantes es la de las glutelinas (86%) y que las prolaminas representan un menor porcentaje (38%). La composición química y su valor nutricional le confieren a esta semilla un gran potencial para usarla dentro de los mercados alimenticios e industriales (Hernández-Jardón 2007).

En cuanto a estudios realizados con las proteínas de maca, estos son escasos. Existe un estudio en el cual se comunica la composición química de los ecotipos amarillo, rojo y negro de *Lepidium meyenii*. Se señala un contenido de proteínas totales para el ecotipo amarillo de 17.9 g, el ecotipo rojo 17.2 g y el ecotipo negro 16.3 g. En otro estudio, encuentran un contenido de 13 g para el ecotipo amarillo y 12.8 g para el ecotipo morado. La fluctuación del contenido de proteína depende de la variedad y de la fertilidad del suelo (Monteghirfo y col. 2007).

Otra fuente de proteína es la especie *Cicer arietinum* (Garbanzo) en la cual se ha reportado un contenido de proteína de 16.3 %, ceniza (2.3 %), lípidos (6.4 %), hidratos de carbono (61.3 %) y fibra de 3.3 % (Morales-León y cols. 2006).

En el caso particular de *Pleurotus ostreatus*, se han realizado diversos estudios bromatológicos reportándolo como fuente de proteína. En estos mencionan que *P. ostreatus* esta compuesto químicamente por la mayoría de los aminoácidos esenciales, un 57 % de carbohidratos y 14 % de fibra cruda (Breene 1990, Burns y cols. 1994). La fracción de lípidos es poco significativa, sin embargo, los ácidos grasos son predominantemente insaturados (Mikhailova y cols. 1993). También han identificado, algunas sustancias aromáticas responsables en gran parte del aroma y sabor característico de este tipo de hongos (Rajaratnam y Bano 1991, Beltran y cols. 1997).

Bautista y cols. (1999) determinaron la composición química de tres cepas mexicanas de *P. ostreatus*. El análisis, expresado en g/100 g en peso seco, reveló los siguientes valores de proteína (28.50 %), lípidos (1.85 %), cenizas (8.79 %), fibra dietética total (36.81 %) y carbohidratos (30.46 %). También encontraron cantidades significativas de riboflavina, niacina, niacina y ácido ascórbico en peso seco; los contenidos de calcio y fósforo fueron menos significativos. Se concluyó que las setas pueden proporcionar a la dieta algunas vitaminas del complejo B, fibra dietética, proteína y ácido linoleico.

Hernández-González (2000) evaluó el contenido nutricional de *P. ostryatus* producido en diferentes tratamientos empleando bagazo de agave y corazones de col como sustrato. Encontró que el mayor contenido de proteínas (30.41 %) así, como el mayor contenido de ceniza 8.45 % lo obtuvo *P. ostryatus* cultivado en agave enriquecido con col. La mayor digestibilidad *in vitro* fue de 72.88 % en *P. ostryatus* cultivado en agave tratado con $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ y la mayor cantidad de triptofano fue encontrada en *P. ostryatus* cultivado solo en agave.

En otros estudios bromatológicos se demostró que *P. ostryatus* contiene en base seca un 57 % de carbohidratos, 7.5 % de fibra cruda y 33.1 % de fibra dietética. Lelley en 2004, reportó un 4.95 % de quitina y de lípidos 1.56 %. En cuanto al contenido de glucosa, Yang y cols. (2001) reportaron un 10.6 %, así como un 2.73 % de trehalosa.

Bermúdez y cols. (2003) determinaron el contenido de proteína en diferentes periodos de tiempo de exposición a la luz durante el periodo de fructificación (4, 8 y 12 hrs.) en *P. ostryatus*. Se demostró que la luz no afecta el contenido de proteína bruta ni los niveles de aminoácidos en la biomasa fúngica obtenida. Los contenidos de proteína bruta en los tres grupos experimentales resultaron similares a los referidos para el mismo hongo cultivado sobre pulpa de café (28.90 %). Este porcentaje es superior al de *Agaricus bisporus*, especie más comercializada a escala internacional, los niveles de proteína bruta fueron de 26.3%.

Cruz y cols. (2004) reportaron para *P. ostryatus* (cultivado sobre residuos azucareros) un contenido de proteína bruta de 24.20 %, así como 13.90 % de fibra bruta, 85.89 % de humedad y 10.00 % de ceniza.

Lelley (2004) reportó un 21.7 % de proteína en peso fresco de *P. ostryatus*. También reportó los siguientes aminoácidos (mg/100gr hongo fresco): cisteína 28, isoleucina 82, leucina 139, lisina 126, metionina 35, tirosina 219, treonina 219 y valina.

Cortés y cols. (2007) realizaron el análisis bromatológico en peso fresco de *P. ostreatus* obteniendo los siguientes resultados: cloruros 2.63 %, ceniza 6.93 % y de proteína un 23.05 % por cada 100g de peso fresco.

Si bien este hongo contiene los restantes aminoácidos considerados como esenciales, estos aparecen en concentraciones relativamente inferiores a las de la proteína de referencia de la FAO. No obstante, esos niveles resultan ser superiores o equivalentes a los de alimentos convencionales como el trigo, particularmente en el caso de la lisina, aminoácido que aparece como limitante de muchos cereales, por lo que *P. ostreatus* podría constituir una fuente apropiada para mejorar la calidad de los alimentos (Bermúdez 2003). Además, la lisina y metionina en *A. bisporus* se encuentran en trazas, lo que realza el valor de *P. ostreatus* en adición a ventajas ya conocidas como son simplicidad de la tecnología de producción, la posibilidad de utilizar una amplia gama de sustratos orgánicos y el hecho de poder ser cultivado en climas de temperaturas tropicales (Marroquín-Corona 2009).

Beltrán-Orjuela (2006) menciona que *Lentinula edodes* (shitake) presenta un 36.2 % de proteína en base seca. Además, posee un 11.8 % de fibra, la cual se considera un componente esencial para los procesos digestivos. Finalmente el contenido de lípidos fue de 1.15 %.

Belewu (2005) realizó la comparación del contenido de proteína en *Volvaria* *volvaca* cultivado sin/sobre hojas de plátano. El efecto observado fue el siguiente el hongo cultivado en ausencia de banana obtuvo un contenido de proteína cruda de 6.81 %, el cual es menor al 10.25 % presente en los hongos cultivados utilizando como sustrato hojas de banana.

Se han realizado diversos estudios referente al contenido de proteína en diversas especies de hongos comestibles como *Agaricus campestris* (3.2 g), *Boletus edulis* (3.8 g), *Cantharellus cibarius* (1.9 g), *Lactarius deliciosus* (1.1 g), *Lepista personata* (4.0 g) y *Macrolepiota procera* con un 4.5 g (Paraskevi 2009).

Paraskevi (2009) realizó un análisis del contenido de proteína en hongos colectados en el este de Macedonia y Epiro de Grecia. Los datos obtenidos fueron los siguientes: *Cantharellus cibarius* 21.57 %, *Rusula delicata* 26.10 %, *Ramaria largentii* 28.80 %, *Higrophorus russula* 32.47 %, *Amanita caesaria* 34.77 %, *Fistulina hepatica* 22.60 %, *Boletus annuus* 27.17 %, *Armillaria tabescens* 22.90 %, *Armillaria mellea* 24.47 % y *Lepista nuda* 34.57 % referidos a peso seco.

Ahora bien, se sabe que existe una relación entre la estructura y las propiedades funcionales de una proteína dada, las cuales pueden ser empleadas como ingredientes que impartan características deseadas a un alimento (Martínez 1997, Damodaran 1989, Badui 2006).

La disponibilidad en grandes cantidades de fuentes proteicas vegetales como la harina desengrasada de oleaginosas, junto con la tendencia a reducir la ingesta de proteínas animales, hace que en los últimos años se este produciendo un gran desarrollo en los procesos de extracción y mejora de estas proteínas vegetales para uso en la alimentación humana. En este sentido, en los próximos años se va a producir un incremento en la disponibilidad de nuevas fuentes proteicas vegetales y en la transformación de estas para su aplicación con fines alimenticios muy concretos conformes a las demandas del mercado en alimentación especializada (Badui 2006).

Ahora bien, es posible extraer fracciones específicas de proteínas, las cuales pueden ser utilizadas como ingredientes funcionales en los alimentos (Bora 2006). En cuanto a las propiedades funcionales existen reportes en su mayoría en relación a las fuentes de origen vegetal.

El uso exitoso de fuentes de proteínas vegetales en la formulación de alimentos depende de las propiedades funcionales de la materia prima vegetal. Propiedades tales como la capacidad de retención de aceite y agua, la capacidad emulsificante y espumante, la estabilidad de la espuma y la emulsión, la capacidad de gelificación y la solubilidad proteica

En el altramuza azul (*Lupinus angustifolius*) se obtuvieron hidrolizados de proteína, los cuales, mostraron una mayor eficiencia en cuanto a propiedades funcionales en comparación con las proteínas originales. En lo que respecta a la capacidad de absorción de grasa obtuvo

La mayoría de los granos exhiben una capacidad de absorción de aceite inferior a 5 g de aceite/g con un alto margen de variación (Sathé 2002). Nagmani y Prakash (1997) encontraron valores de absorción de grasa entre 2.46 y 2.72 g de aceite para harinas de leguminosas crudas. Esta capacidad de las proteínas de enlazar lípidos es muy importante para la formulación de productos para freír y para la retención de los sabores. Así mismo, disminuye el desarrollo de la rancidez oxidativa y en consecuencia aumenta la estabilidad durante el almacenamiento (Sathé 2002).

Chavan y cols. (2001) estudiaron en *Lathyrus maritimus* la emulsificación, espumado, solubilidad, así como la capacidad de retención de agua (2.5 ml/g- 2.8 ml/g) y aceite (6.4 ml/g- 8.2 ml/g) en la fracción de las gluteínas. Tanto la capacidad de emulsificación como la estabilidad de la emulsión, incrementaban con el aumento de pH y la concentración de sal. Los porcentajes de espumado en este estudio fueron de 151-175 %. En cuanto a la solubilización esta fue mínima a pH 4.5, sin embargo, esta solubilidad aumentaba conforme se alejaba de este pH.

En lo que se refiere a la capacidad para retener agua, esta es una propiedad funcional considerada fundamental en alimentos viscosos (sopas, salsas, masas y productos horneados), productos donde se requiere una buena interacción proteína agua. En el caso de la capacidad emulsionante esta es particularmente importante en la elaboración de productos batidos y salsas emulsionadas tales como la mayonesa, postres congelados y embutidos (Granito 2009). Las interacciones entre las proteínas y lípidos son comunes en muchos sistemas alimentarios, y así las capacidades de las proteínas para formar emulsiones estables es importante (Lyari 2005).

han sido estudiadas en diferentes especies de leguminosas (Makri y Doxastakis 2006, Granito y cols. 2009).

Asimismo, otro de los cereales en los cuales se han evaluado propiedades funcionales y sus aislados proteicos han sido estudiados en la soya. El papel de la proteína de soya en diferentes sistemas alimentarios y su uso como ingrediente funcional, depende, principalmente de sus propiedades físico-químicas, las cuales están relacionadas por sus atributos estructurales y de conformación. Una de las propiedades más importantes es la solubilidad de las proteínas, la cual es deseable para una funcionalidad óptima. La solubilidad de la proteína de soya es afectada por el pH, el calor y otros factores. Se reduce al mínimo en la región de su punto isoeléctrico a pH 4.2 a 4.6, e incrementa ligeramente arriba y debajo de este rango (Luna-Jiménez 2006). En otro trabajo realizado por Taha y Ibrahim (2002) en *Glycine max*, encontró 3 ml/g en cuanto a la capacidad de absorción de agua, en la capacidad de emulsificación 28.8 ml de aceite /100 g de muestra, también reportó para *Sesamum indicum* un 3.2 ml/g en la

Por un lado, Silva-Sánchez (2004) determinó las propiedades funcionales (absorción de agua y aceite, solubilidad, capacidad emulsificante y de espumado, así como su estabilidad) en la fracción albúmina de dos variedades mexicanas de amaranto. En este estudio se observó la solubilidad, en la cual los valores más altos fueron encontrados por encima de pH 6. Sin embargo, en el caso del espumado y estabilidad del espumado a pH 5 se obtuvo la mayor eficiencia sugiriendo que esta proteína podría ser utilizada como agente separador como lo es la albúmina de huevo. Por otro lado, Avanza y Añón (2006) analizaron en granos de amaranto, el efecto térmico sobre dos fracciones: globulina y albúmina observando que ambas fracciones experimentan un proceso de desnaturalización seguido por agregación, ya que el calentamiento provoca el desdoblamiento de la estructura secundaria. En general, la desnaturalización de las proteínas va a acompañada de un descenso de la solubilidad, debido a la exposición de los grupos hidrófobos hacia la fase acuosa y a la agregación de las moléculas proteicas desplegadas mediante interacciones hidrofóbicas (Avanza y Añón 2006).

valores de 359.9 %, en la capacidad de espumado se obtuvo un resultado de 120.5 % y en la estabilidad de emulsión (57.9 %). Se reportó que esta planta puede ser utilizada en la elaboración de pan, dulces, salsas y cremas (Lgari y cols. 2005).

capacidad de retención de agua y 62.2 ml de aceite /100 g de muestra, respecto a la emulsificación.

Ferreira y cols. (2007) estudiaron la influencia del pH y la solubilidad sobre las propiedades espumantes y emulsionantes en *Arachis hypogaea* (Cacahuate). La harina de cacahuate (HC) presentó valores menores de solubilidad entre los valores de pH 3 y 5, los cuales coinciden con la región donde se encuentra el punto isoeléctrico de las proteínas. La mayor solubilidad fue observada a pH ácidos. Las propiedades emulsificantes de las proteínas de la HC son fuertemente afectadas por el pH. Las proteínas mostraron una alta estabilidad de la emulsión en relación a la variación de la temperatura. Los mejores resultados se obtuvieron en el espumado, encontrándose entre los valores a pH extremos, siendo máxima a pH 2. Cuando la estabilidad de la espuma a este pH fue elevada, se observó una estabilidad de 50 %, ya que a valores de pH distantes del punto isoeléctrico ocurre una gran formación de espuma, pero con baja estabilidad y que a valores de pH próximos al punto isoeléctrico se favorece la interacción proteína-proteína y la consecuente absorción en la interfase (Fenemma 2006).

Ahora bien, en un estudio realizado sobre proteínas agroalimentarias (cangrejo, gluten y soja) determinando la capacidad de emulsificación concluyeron que a pH 10 existe una disminución de las propiedades viscoelásticas. La influencia del pH sobre las emulsiones de aislados de cangrejo se encuentran disminuidas por la cercanía al punto isoeléctrico, ya que en este las interacciones electrostáticas tienden a desaparecer así, a pHs alejados del punto isoeléctrico se obtienen por lo general menores tamaños de gota y mayores propiedades viscoelásticas (Bengoechea 2008).

Las globulinas son la segunda fracción de proteínas solubles más abundantes extraídas de la semilla Chia (Olivos 2005).

Molina-Tizo (2008) reporta la solubilidad en la fracción de globulinas y el concentrado de *Salvia hispanica* (Chia), en la cual se registran los valores más altos en los pH de 2, 3, 10, y 11, los cuales concuerdan con los realizados para la soya. En lo que respecta a la capacidad de

Intención de agua el valor más alto fue a pH 7 (3.5 ml/g) y el valor más bajo a pH 4 (1.9 ml/g). Sin embargo, en la capacidad de aceite el valor más alto fue a pH 4 (2.73 ml/g). También determinó la capacidad de espumado, la cual fue mínima a pH 4. Observó que conforme pasaba el tiempo, la estabilidad de la espuma disminuyó drásticamente hasta llegar a un 4%.

El alto contenido de aminoácidos hidrofílicos (55 %) en las globulinas de Chia, así como el contenido de aminoácidos hidrofóbicos (45 %), generan cambios en el comportamiento de estas proteínas influenciadas por el pH, generando a su vez cambios en las propiedades funcionales estudiadas (Molina-Tizo 2008).

La solubilidad del concentrado de globulinas de Chia es bajo a pH 4 (42 %) y pH 7 (11.7 %), sin embargo, los resultados mostraron que no es necesaria una alta solubilidad de estas proteínas para obtener buenos resultados en pruebas como capacidad de retención de aceite y formación y estabilidad de emulsiones y espumas, mientras que el aumento de la capacidad de retención de agua si esta directamente relacionada con el aumento de la solubilidad (Molina-Tizo 2008).

Estudios han mostrado que a pHs cercanos al punto isoeléctrico de las proteínas se obtiene una mejor estabilidad que al resto de los pHs. Esto se debe a que en estos pHs las repulsiones electrostáticas son mínimas en la interfase y las proteínas que se encuentran estructuralmente más compactas (interacciones proteína-proteína) genera capas proteínicas más fuertes y viscosas, lo que imparte estabilidad a la espuma (Bora 2006). Diversos autores coinciden en que la tracción de globulinas, generalmente presenta poca capacidad de espumado y estabilidad de la espuma (Lawal y cols. 2005, Ching-Yang 2006).

Por un lado, Granito (2009) reportó que el procesamiento altera las características químicas y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris*; disminuye componentes hidrosolubles como proteínas, minerales, algunos carbohidratos, taninos y polifenoles. Por otro lado, se analizaron las fracciones proteicas en *Phaseolus lunatus*. El contenido de proteína en la harina de *P. lunatus* fue de 20.8 %. La cantidad de proteína extraída para las cuatro

Fracciones presentes: albúminas 26.4 %, globulinas 14.8 %, prolaminas 0.6 % y glutelinas 0.6 % (Gallegos-Tintoré y cols. 2004).

La búsqueda de nuevos alimentos con alto contenido nutritivo y bajo costo de producción, además que puedan ser utilizados para diferentes propósitos, es uno de los retos más grandes y urgentes para la biotecnología.

Dentro de los productos con las características anteriores encontramos a los hongos y dentro de estos un ejemplo claro son los que pertenecen al género *Pleurotus*, particularmente la especie *Pleurotus ostreatus*, pues ésta, tiene bajo costo de producción y presenta una eficiencia en la producción de proteína por unidad de área y por unidad de tiempo mayor que las fuentes de proteína animal (Rodríguez y Zuluagan 1994), lo cual le confiere un valor nutritivo, aunado a esto posee una gran cantidad de usos útiles para el hombre, pues es empleado como modificador, detoxificador, para controlar poblaciones de nemátodos, fitoparásitos, bacterias fitopatógenas, además ha sido utilizado con fines medicinales (Chang 2001).

En el caso particular de *P. ostreatus* existe diversa información. Sin embargo, aun se desconoce su composición en fracciones proteicas, así como de la proporción en que estas están presentes, por ende, se desconocen sus propiedades funcionales. Por lo que esta investigación contribuirá al conocimiento de las fracciones proteicas, así como de algunas de sus propiedades funcionales.

4. Pregunta de investigación

¿Que fracciones proteicas se encuentran en el cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus* y que propiedades funcionales presentarán?

5. Objetivos

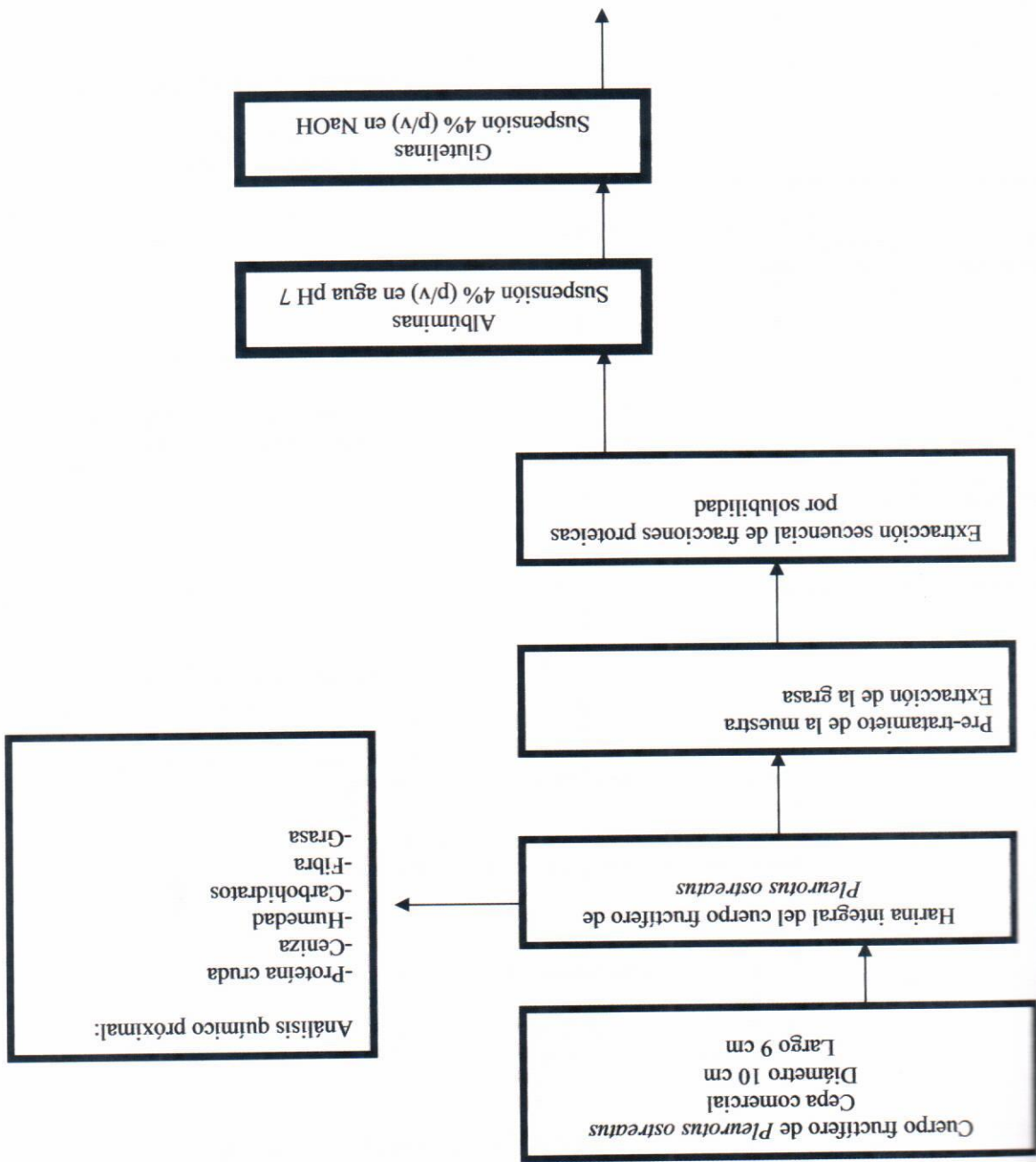
5.1 Objetivo general

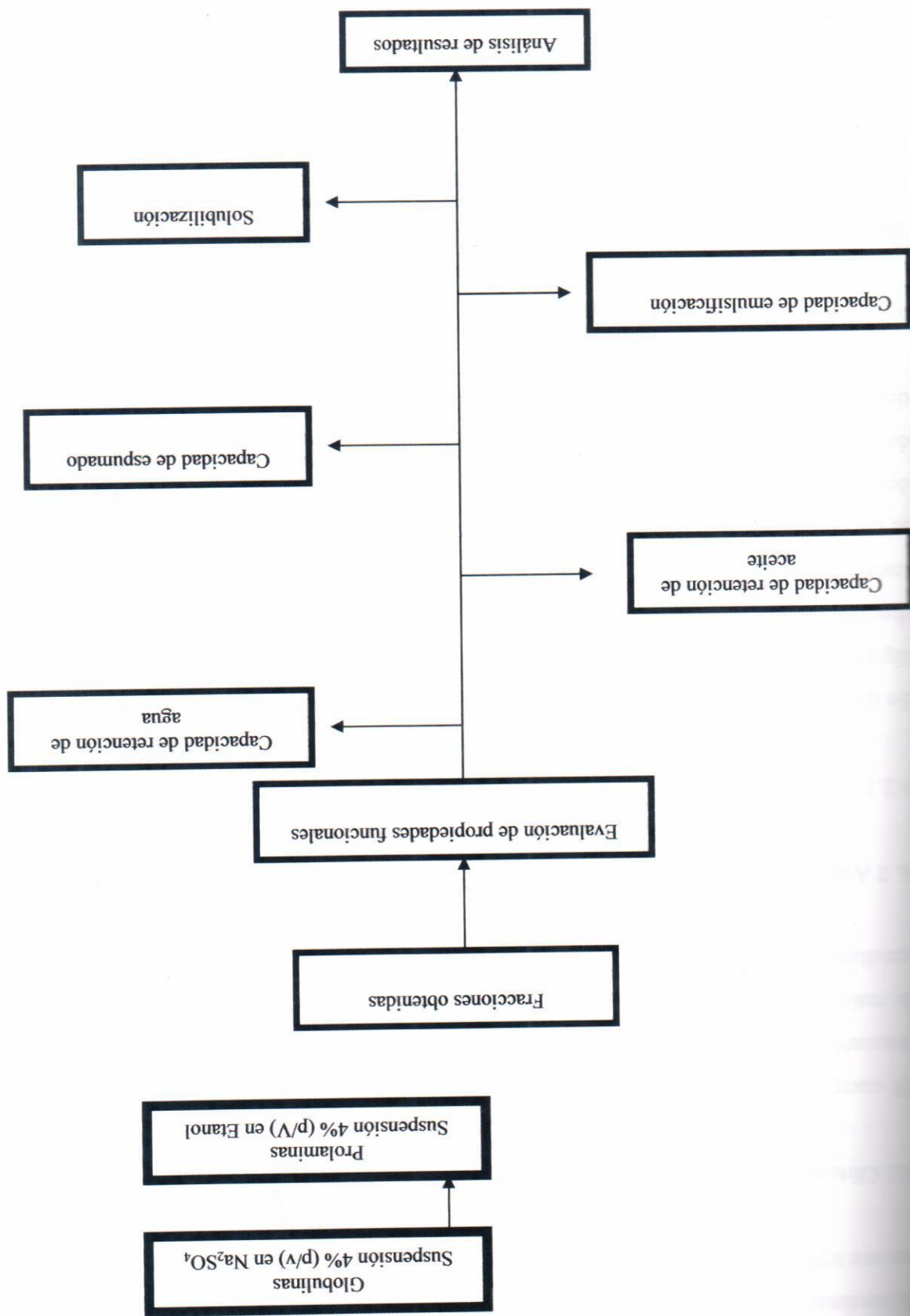
- Establecer la composición de fracciones proteicas del cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus*, y evaluar sus propiedades funcionales.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar el contenido de proteína cruda en el cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus*
- Obtener las fracciones proteicas del cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus* con base a su solubilidad.
- Evaluar las propiedades funcionales (retención de agua y aceite, solubilidad, capacidad y estabilidad de emulsificación, así como de espumado) de cada fracción proteica.

Se presenta un diagrama general que muestra los experimentos realizados en esta investigación.





continuación se describe a detalle cada una de las actividades de investigación desarrolladas en este trabajo.

6.1 Obtención de harina integral del cuerpo fructífero del hongo

El cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus* se deshidrató en un horno a 45° C hasta peso constante, posteriormente se pulverizó. Esta harina obtenida se consideró integral, por lo que se le realizó un desgrasado con acetona. Al finalizar este proceso, se secó y pulverizó la pasta resultante.

6.2 Análisis químico proximal

6.2.1 Determinación de proteína cruda

Se utilizó el método de Kjeldahl (AOAC 1980). La mezcla totalmente homogénea (0.12 g) se digirió en matraces (30-35 ml) usando 0.8 g de catalizador (CuSO_4 y K_2SO_4 , 1:9) para digestión Kjeldahl y 2 ml de ácido sulfúrico concentrado, la solución digerida se diluyó y se transfirió al aparato microkjeldahl, usando un mínimo de agua, se alcalinizó la solución que ya se encontraba en el evaporador del aparato con 15 ml de NaOH 40% y el amoniaco liberado se destiló con 10 ml de ácido bórico al 2% con 4 gotas de indicador (solución alcohólica de rojo de metilo 0.2% y solución acuosa de azul de metileno 0.1% en partes iguales) por 5-10 min, el destilado se tituló con HCl 0.1N.

6.2.2 Determinación de la humedad

Se utilizó el método indirecto de secado en horno. La muestra se secó en horno a 100° C hasta tener un peso constante, se reportó el contenido de humedad por diferencia en el peso en % (AOAC 1980).

En un matraz se colocaron 20 g de muestra, este se transfirió al aparato de calentamiento a reflujo y se agregaron 300 ml de H_2SO_4 1,25 % p/p y perlas de vidrio. Se mantuvo en ebullición durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente. Se desmontó el equipo y se filtró a presión reducida a través de un embudo Büchner. Después se lavó con 50 ml de agua en ebullición hasta que cesó la reacción ácida. Se retornó el residuo al aparato de calentamiento a reflujo, y se agregó 200 ml de NaOH 1,25 % p/p y se mantuvo en ebullición exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente. Después se filtró a través del embudo Büchner y se lavó con 25 ml de H_2SO_4 1,25 % p/p, con 3 porciones de 50 ml de agua en ebullición y con 25 ml de etanol al 95%. Posteriormente se removió el residuo y se transfirió al crisol. Se secó en una estufa a $130^\circ C$ por 2 horas y se enfrió en un desecador y se pesó.

6.2.5 Determinación de fibra cruda

Se realizó por el método de extracción intermitente (AOAC 1980). La muestra en un cartucho de celulosa se colocó dentro del extractor y una vez ensamblado el sistema se aplicó calor a través de resistencia eléctrica. Se hizo la extracción durante 4-6 h hasta que la prueba en papel filtro indicó la completa extracción de la grasa, se recuperó el disolvente en el extractor sin el cartucho, hasta que el contenido del matraz estuvo casi seco. Se secó el matraz hasta peso constante y el contenido de grasa se calculó por diferencia de peso del matraz reportando porcentaje.

6.2.4 Determinación de extracto étereo

En un crisol de porcelana previamente puesto a peso constante se colocó una cantidad conocida de muestra, después se carbonizó en una campana de extracción bajo la flama de un mechero, hasta que no hubo desprendimiento de humo, se calcinó en una mufla a $633^\circ C$ hasta que las cenizas se mostraron blancas o ligeramente grises y a peso constante. Se calculó la cantidad de cenizas en % (AOAC 1980).

6.2.3 Determinación de cenizas

En todos los casos, después de preparar las suspensiones, éstas se mantuvieron en agitación constante durante 60 min. Cada suspensión se centrifugó a 5000 rpm durante 15 min, después de desecar el residuo y recuperar el sobrenadante. El pH se ajustó a 4 con ácido tricloroacético al 10% para precipitar por pl a las proteínas (Paredes-López y cols. 1988; Soriano y cols. 1992), posteriormente se centrifugó a 10000 rpm durante 20 minutos, y se recuperó el

Se preparó una suspensión al 4 % (p/v) en alcohol al 70 % de harina desengrasada.

- Obtención de prolaminas (solubilización alcohólica)

con NaOH 0.1 M de harina desengrasada.

Se preparó una suspensión al 10 % (p/v) en agua y se ajustó el pH de 10 y otra igual a pH de 11

- Obtención de glutelinas (solubilización alcalina)

desengrasada.

Se preparó una suspensión 4 % (p/v) en NaCl 1.0M y otro en Na₂SO₄ 0.4M de harina

- Obtención de globulinas (solubilización salina)

Se preparó una suspensión 4 % (p/v) en agua a pH 7 de harina desengrasada.

- Obtención de albuminas (Extracción acuosa).

Las extracciones se realizaron de forma secuencial.

6.3 Obtención de fracciones proteicas del cuerpo fructífero de *P. ostreatus*

Este componente se determinó por diferencia, sumando los anteriores y completando a 100 %.

6.2.6 Determinación de carbohidratos

Después se incinero por 30 minutos a 600 °C, y se entró en un desecador y se pesó (AOAC

Se utilizó el método de Wang y Kinsella (1976) con las siguientes modificaciones; se preparó una suspensión 2.5 % (p/v) de cada fracción proteica en agua destilada y se mantuvo en agitación magnética durante 10 min. Posteriormente cada una de las suspensiones se ajustó a una serie de pH: 2, 4, 6, 8 y 10 con NaOH 0.1 N ó HCl 0.1 N, según sea el caso. Después, se centrifugó a 3000 rpm durante 5 min el sobrenadante, que contenía la proteína solubilizada se utilizó para la formación de la emulsión. Para la elaboración de la emulsión se tomaron volúmenes iguales del sobrenadante de la suspensión y de aceite de girasol comercial para ser homogenizadas a una velocidad de 20000 rpm, en un homogenizador durante 1 min.

6.4.2 Emulsificación

A 0.5 g de cada fracción proteica, se le añadieron 5 ml de agua destilada o 3 ml de girasol comercial y se homogenizaron por 2 min. Posteriormente se dejaron reposar por 30 min y se centrifugaron a 3500 rpm durante 25 min, en una centrifuga refrigerada. Finalmente, se midió la cantidad de agua o aceite no absorbida por el material y por diferencia con el volumen original agregado, se obtuvo la cantidad de agua o aceite absorbido, la cual se expresó como ml de agua o aceite absorbido por g de fracción proteínica (Wang y Kinsella 1976).

6.4.1 Retención de agua o aceite

6.4 Evaluación de propiedades funcionales

precipitado que es el concentrado proteínico el cual se secó en estufa a 40° C aproximadamente por 30 h. se pulverizó y almacenó a temperatura de refrigeración para su posterior evaluación en propiedades funcionales (Córdoba-Salgado 1995).

$$\% \text{Estabilidad de Emulsificación} = \frac{\text{Altura de la capa remanente de emulsión}}{\text{Altura inicial de la emulsión}} \times 100$$

Se midió la estabilidad de emulsificación en presencia de calor, manteniéndola en baño María durante 30 min a 80 °C. Posteriormente, la emulsión se enfrió a chorro de agua hasta 15 °C. Después, la emulsión se centrifugó a 1300 rpm durante 5 min. Para la evaluación de la estabilidad se midió la altura de la emulsión antes del tratamiento térmico y la altura remanente de la emulsión después de la centrifugación (Wang y Kinsella 1976).

6.4.4 Estabilidad de emulsificación

$$\% \text{Capacidad de emulsificación} = \frac{\text{altura emulsión después de centrifugación}}{\text{altura de la emulsión total formada}} \times 100$$

Una vez formada la emulsión, esta se sometió a centrifugación a 1300 rpm durante 5 min. La cantidad de emulsificación se obtuvo midiendo la altura total de la emulsión y la altura de la capa emulsificada que permanece después de la centrifugación (Wang y Kinsella 1976).

6.4.3 Capacidad de emulsificación

Se midió según Kabirullah y Wills (1982) con algunas modificaciones. Para cada fracción proteica obtenida previamente, se preparó una suspensión al 1 % (p/v) de fracción proteica en agua destilada y se ajustó a una serie de pH de 2, 4, 6, 8 y 10 con NaOH 0.1 N ó HCl 0.1 N, según sea el caso. Para la formación de la espuma, se tomaron 50 ml de la suspensión en el pH deseado, y se sometieron a homogenización a una velocidad de 13500 rpm durante 90 s, posteriormente se midió el volumen de la espuma obtenida.

$$\% \text{Capacidad de Espumado} = \frac{\text{Vol. desp/mezclado} - \text{Vol. antes mezclado}}{\text{Vol. antes mezclado}} \times 100$$

La estabilidad de la espuma se evaluó de la siguiente forma: se dejó reposar durante 30 min la muestra con la espuma obtenida y posteriormente se midió el volumen de la espuma remanente.

$$\text{Estabilidad de Espumado} = \frac{\text{Vol. desp. mezclado} - \text{Vol. Inicial}}{\text{Vol. desp. reposo} - \text{vol. inicial}} \times 100$$

6.4.6 Solubilidad

Se preparó una suspensión al 1 % (p/v) de cada fracción proteica en agua destilada y se ajustó a una serie de pHs: 2, 4, 6, 8 y 10 con NaOH 0.1 N ó HCl 0.1N. La suspensión en el pH deseado

se mantuvo en agitación por 30 min a temperatura ambiente. Las suspensiones se centrifugaron a 5000 rpm durante 15 min. En el sobrenadante se midió el contenido de proteína solubilizada por el método del colorante ligado a la proteína (Bradford 1976).

El método de extracción utilizado mostró diferentes rendimientos, debido a que presentan diferentes capacidades de solubilización. Las fracciones que alcanzaron un mayor

Harina desgrasada	Agua a pH 7	NaOH	$9,24 \pm 0,74$	$1,47 \pm 0,18$
Rendimiento (%)	$4,68 \pm 0,41$	$8,03 \pm 0,74$	$9,24 \pm 0,74$	$1,47 \pm 0,18$

Tabla 1. Rendimiento obtenido por cada método de solubilización

Se obtuvieron cuatro fracciones proteicas del cuerpo fructífero de *P. ostreatus*. La composición de fracciones proteicas de *P. ostreatus* esta dada en su mayoría por globulinas seguida de las glutelinas y en menor porcentaje por las albuminas y finalmente la fracción que presento el rendimiento más bajo fueron las prolaminas (Tabla 1).

Cabe mencionar que la solubilidad depende del tipo de aminoácidos que contenga la proteína, de tal forma que el polipéptido que tenga muchos residuos hidrofóbicos tenderá a ser menos soluble en agua que el que tenga un elevado número de grupos hidrofílicos. El proceso de solubilización implica que las moléculas de proteína estén dispersas en el disolvente y además que ejerzan una máxima interacción con el líquido que las rodea (Natarajan 2005). La solubilidad es una de las más importantes propiedades físicas básicas de las proteínas y un requerimiento primario para poder expresar otros atributos funcionales.

12 Obtención de las fracciones proteicas

Se realizó el desgrasado de 2750 g de harina integral del cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus* de la cual se obtuvo un rendimiento de 95.16 % de harina desgrasada.

12.1 Desgrasado

13 Resultados y discusiones

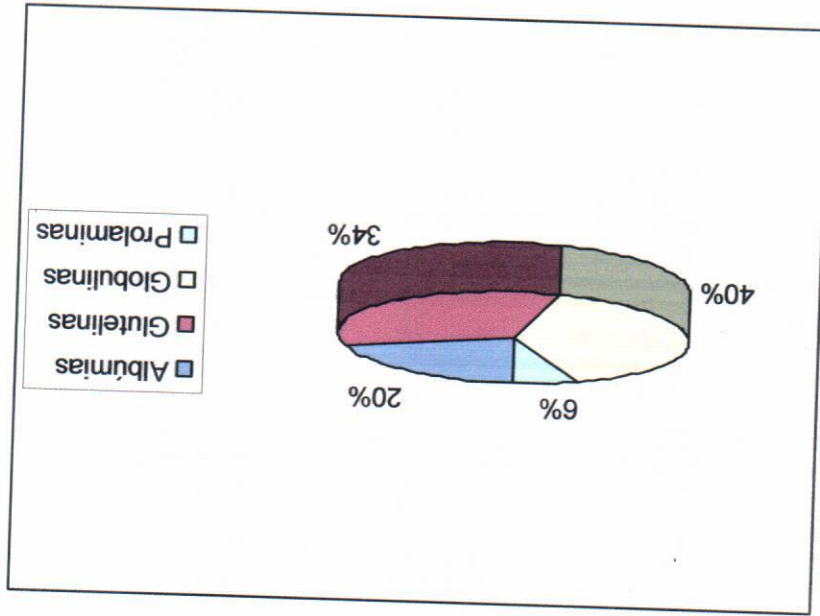
La evaluación de la pureza de las fracciones proteínicas de la chía realizada por Olivos (2005), demuestra que la clase de proteínas más abundantes es la de las glutelinas (86 %) y que las prolaminas representan un menor porcentaje (38 %). Estos resultados son similares a

las fracciones más bajas en *P. lunatus* (Gallegos-Tintore y cols. 2004). Mas alto (40 %), seguidas de las glutelinas (34 %), las cuales fueron junto con las prolaminas patrón dirigió con el reportado en este estudio, ya que las globulinas obtuvieron el porcentaje presentes: albuminas 26.4 %, globulinas 14.8 %, prolaminas 0.6 % y glutelinas 0.6 %. Este el porcentaje de humedad para *P. lunatus*. La cantidad de proteína para las cuatro fracciones fue relativamente bajo al encontrado en *P. ostrya*. Sin embargo, en este caso no se menciona Comparando el resultado de proteína cruda obtenido en la harina de *P. lunatus* (20.8 %) este

se encuentran en mayor concentración y las prolaminas en bajas cantidades. punto mayor con los resultados obtenidos para *P. ostrya*, ya que las globulinas y glutelinas abundantes. (Gorstein y cols. 1991). Por el contrario, el arroz y la avena concuerdan en un %). Asimismo, el sorgo y el maíz contienen de un 50-60 % de prolaminas, por lo tanto, las más En cambio, en *P. ostrya*, las prolaminas, como se menciona son las de menor rendimiento (6 encontramos al trigo, cebada y centeno con un 40-50 % de prolaminas (Gorstein y cols. 1991). ha reportado que las prolaminas son las principales proteínas de almacenamiento; entre éstos cambio, se presentaron en mayor concentración en *P. ostrya*. Con respecto a los cereales se (Alvarez 2003), es decir, no hubo presencia de prolaminas y glutelinas. Estas últimas, en (*Lepidium peruvianum*) que sólo presentan dos fracciones proteicas (albuminas y globulinas) proteicas (albuminas, globulinas, prolaminas y glutelinas) a diferencia de las semillas de Maca En el cuerpo fructífero de *P. ostrya*, se encuentran presentes las cuatro fracciones

P. ostrya la de menor rendimiento fue la solución alcohólica. rendimiento fueron las solubilizadas en soluciones salinas y alcalinas, esto debido a la capacidad que tienen las proteínas de aumentar su solubilidad en estas soluciones, siendo las soluciones acuosas las de menor rendimiento (Soriano-Santos y cols. 1992). Sin embargo, para

Figura 3. Porcentaje de las fracciones proteicas de la harina desengrasada de *Pleuronius ostreatus*.



los encontrados para *P. ostreatus*, ya que de igual forma las glutelinas están presentes en mayor porcentaje, siendo las prolaminas la fracción menos representativa.

En 2008 (Suárez-Brito) menciona la composición de fracciones proteicas presentes en la soya. En este caso la fracción de las globulinas (28.22 %) fue la de mayor rendimiento, las cuales fueron en *P. ostreatus* (40 %) de igual manera las de mayor rendimiento. En el caso de *P. ostreatus* las glutelinas (34 %) ocuparon el segundo lugar en rendimiento. No obstante, en la soya la fracción de alúminas (14.16 %) son las que obtuvieron el segundo lugar en rendimiento.

La composición proximal de la harina del cuerpo fructífero de *P. ostreatus* se muestra en la Tabla 2. Como puede observarse, el principal componente obtenido son los carbohidratos (45.67%). El contenido de proteína cruda fue de 27.99 % (referido a base seca), lo cual no permite nombrarlo como aislado o concentrado, ya que los niveles están por debajo del porcentaje requerido.

Tabla 2. Composición proximal del cuerpo fructífero de *P. ostreatus*.

Componente	% (g/100g de materia seca)
Humedad	89.91±0.023
Proteína	27.99±0.01
Ceniza	7.65±0.21
Lípidos	5.31±0.51
Fibra	13.38±0.63
*Carbohidratos	45.67±1.01

*Obtenido por diferencia

Los valores fueron obtenidos mediante el promedio por triplicado.

Los resultados obtenidos en cuanto al contenido de proteína (2.8 % en base húmeda) son bajos en comparación con el contenido de proteína mostrado por cereales convencionales como lo son especies del género *Amaranthus*, en el cual se ha señalado un contenido de

Paraskevi (2009) realizó un análisis del contenido de proteína en diversos hongos que superan a *P. ostreatus* en contenido de proteína cruda como *Amanita cesaria* (34,77%), en el caso de *Kamaria largenti* 28,80% presenta un valor similar a *P. ostreatus*. Siendo *Fistulina hepatica* 22,60% y *Armillaria tabescens* 22,90% de menor contenido proteico.

Comparando los resultados obtenidos en *P. ostreatus* se observa un contenido relativamente bajo en relación a la proteína cuantificada para especies como *Macrolepiota procera* (4,5 g), *Lepista personata* (4,0 g), *Boletus edulis* (3,8 g) y *Agaricus campestris* (3,2 g), sin embargo, el precio en el mercado es superior a *P. ostreatus*. Para el caso de *Cantharellus cibarius* (1,9 g), *Lactarius deliciosus* (1,1 g) los valores son menores de proteína cruda son menores (Paraskevi 2009).

Belew (2005) realizó la comparación del contenido de proteína en *Volvariella volvacea* cultivado sobre/sin hojas de plátano reportando 6,81% y 10,25% en contenido de proteína cruda, respectivamente. Ambos valores son menores a los encontrados para *P. ostreatus*.

En lo que referente al contenido proteico en otras fuentes fungicas: el hongo *Lentinula edodes* (shitake) presenta un 36,2% de proteína en base seca, la cual es superior a la proteína encontrada en la cepa utilizada para este trabajo. Sin embargo, posee un 11,8% de fibra porcentaje menor al encontrado para *P. ostreatus* 13%, esta es importante debido a que se considera un componente esencial para los procesos digestivos. El contenido de lípidos es superior en más de un 50% en *Lentinula edodes* siendo este de 1,15% (Beltran-Orjuela 2006).

En lo que referente al contenido proteico en otras fuentes fungicas: el hongo *Lentinula edodes* (shitake) presenta un 36,2% de proteína en base seca, la cual es superior a la proteína encontrada en la cepa utilizada para este trabajo. Sin embargo, posee un 11,8% de fibra porcentaje menor al encontrado para *P. ostreatus* 13%, esta es importante debido a que se considera un componente esencial para los procesos digestivos. El contenido de lípidos es superior en más de un 50% en *Lentinula edodes* siendo este de 1,15% (Beltran-Orjuela 2006).

Los alimentos son sistemas complejos que están formados por varios componentes como proteínas, grasas, carbohidratos y sales minerales los cuales influyen en las propiedades funcionales. Por lo tanto, la funcionalidad total de un ingrediente no puede ser considerada independiente de otros. Mas bien, los efectos funcionales observados son le resultado de la

Existen diversas propiedades funcionales, todas son importantes, son embargo en este trabajo se analizaron las más comunes.

7.4 Evaluación de propiedades funcionales

Las diferencias entre los valores reportados y los valores obtenidos en este estudio residen, probablemente al tipo de sustrato utilizado para su cultivo, además de la edad celular en la cual fue analizado el cuerpo fructífero de *P. ostreatus*.

En el porcentaje de ceniza (7.65 %) determinada en el presente estudio fue ligeramente menor al reportado por Bautista y cols., siendo este de 7 % (1999) y Hernández-González (2000), con un porcentaje de 8.45 %, pero es mayor al obtenido por Cruz y cols. el cual reportó un 6.6 % (2004). Sin embargo, en cuanto al contenido de fibra cruda, los resultados fueron similares en los valores obtenidos en nuestro trabajo 13.38 %, pero fueron menores a los obtenidos por Leyley (2004) con un 14.53 % y Cortés y cols. (2007) el cual obtuvo 16.34 %. Finalmente, el contenido de carbohidratos 45.67 % fue menor en comparación con los resultados reportados por Leyley (2004) el cual reporta un 57 % de carbohidratos.

Al comparar los resultados de otros estudios realizados a *P. ostreatus*, observamos que nuestros resultados muestran un mayor contenido proteico (24.20 %), al reportado por Cruz y cols. (2004). No obstante, muestra un menor contenido proteico al reportado por Hernández y cols. (2004) que fue de 30.41 %. Sin embargo, en este último estudio se sembró a *P. ostreatus* en bagazo de agave enriquecido con col, lo que aumentó el contenido de proteína en éste. Pero nuestros resultados son similares a los obtenidos por Bautista y cols. (1999), ya que obtuvieron porcentajes en intervalos de 24.6 - 28.50 %.

Los resultados obtenidos, en cuanto a la capacidad de retención de agua, fueron menores a los registrados para *Lathyrus maritimus* (guisante), la cual obtuvo el valor más alto en la fracción de las gluteínas (2.5 ml/g). Sin embargo, en el caso de *P. ostryaeus* el valor más alto se registro en la fracción de las globulinas. Respecto a la capacidad de retención de aceite los valores fueron menores en más de un 50% por *Lathyrus maritimus* (Chavan y cols. 2001).

Como se menciona anteriormente las albúminas mostraron la menor capacidad de retención de agua, lo cual sugiere que las interacciones proteína – proteína son máximas por lo que éstas se asocian y repliegan sobre si mismas manifestando el mínimo de hidratación. No obstante, existe en esta fracción la mayor capacidad de retención de aceite, así se puede inferir que en esta fracción existe un número mayor de aminoácidos no polares lo que le permite solubilizarse en presencia de una fase oleosa.

En la figura 4 se puede observar que las globulinas mostraron la mayor capacidad de retención de agua (2.3 ml/g), seguida de las gluteínas (1.66 ml/g), las albúminas y prolaminas presentaron los valores menores (aprox. 1 ml/g). Las albúminas tuvieron una capacidad de retención de aceite de aprox. 2.5 ml/g, mientras que las otras tres fracciones mostraron aprox. 2 ml/g.

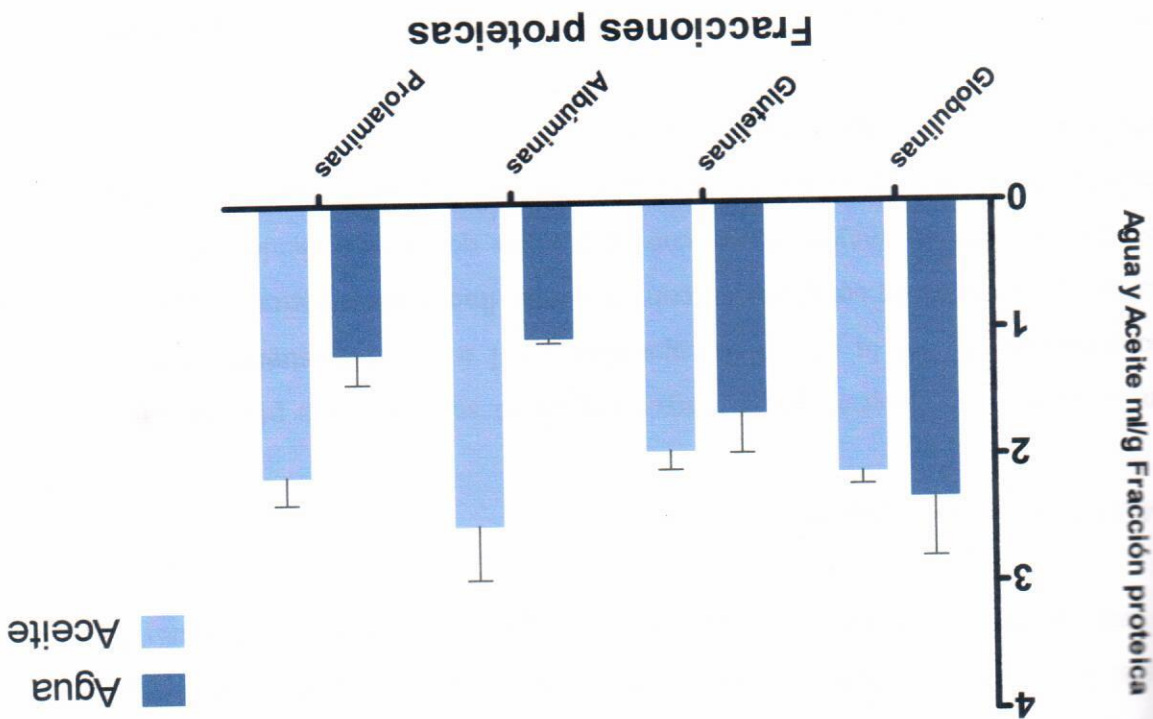
El agua es un ingrediente universal en los sistemas de alimentos. En este caso la solubilidad de las proteínas, y el contenido de numerosas cadenas polares laterales junto con uniones peptídicas, hacen hidrofílica a la proteína. Por lo tanto, las proteínas tienden a absorber y retener agua cuando están presentes en sistemas de alimentos.

7.4.1 Capacidad de retención de agua y aceite

La interacción entre los ingredientes. Esto ha hecho del estudio de la funcionalidad un ejercicio difícil. Sin embargo, los estudios de la funcionalidad de ingredientes individuales en sistemas simples son útiles para predecir, controlar y algunas veces impartir características deseables a sistemas de alimentos reales.

Bora (2000) reporta que la capacidad de retención de aceite para la fracción de globulinas de lentejas es de 2.6 ml/g, dato que como se observa en la figura 2, es similar al encontrado para la fracción de las albuminas de la harina de *P. ostreatus*. En cuanto a las globulinas de esta capacidad de retención de agua fue de 2.13 ml/g, mientras que para la misma fracción encontrada en el trigo sarraceno (Ching-Yung 2006) la capacidad fue de 1.77 ml/g, el cual es menor a la de *P. ostreatus*. Cabe mencionar que en el caso de las globulinas esta fue la fracción que presenta una mayor capacidad de retención de agua con un valor de 2.33 ml/g.

Figura 4. Capacidad de retención de aceite y agua de las fracciones proteicas de *Pleurotus ostreatus*.



También fueron menores a los reportados para la mayoría de los aislados de harinas de leguminosas (Sathe 2002), así como para *Lupinus angustifolius* (Lgari y cols. 2005).

7.4.2 Emulsificación

Debido a las características fisicoquímicas de los diferentes residuos de aminoácidos que conforman a las proteínas, estas son utilizadas como agentes emulsificantes, ya que disminuyen la energía del sistema al adsorberse en la interfase agua/aceite evitando así la separación de las fases. Alteración en factores como el pH, provoca cambios en la estructura de la proteína y por lo tanto, habrá cambios en la formación y estabilidad de las emulsiones (Molina-Tizo 2008).

7.4.2.1 Capacidad de emulsificación

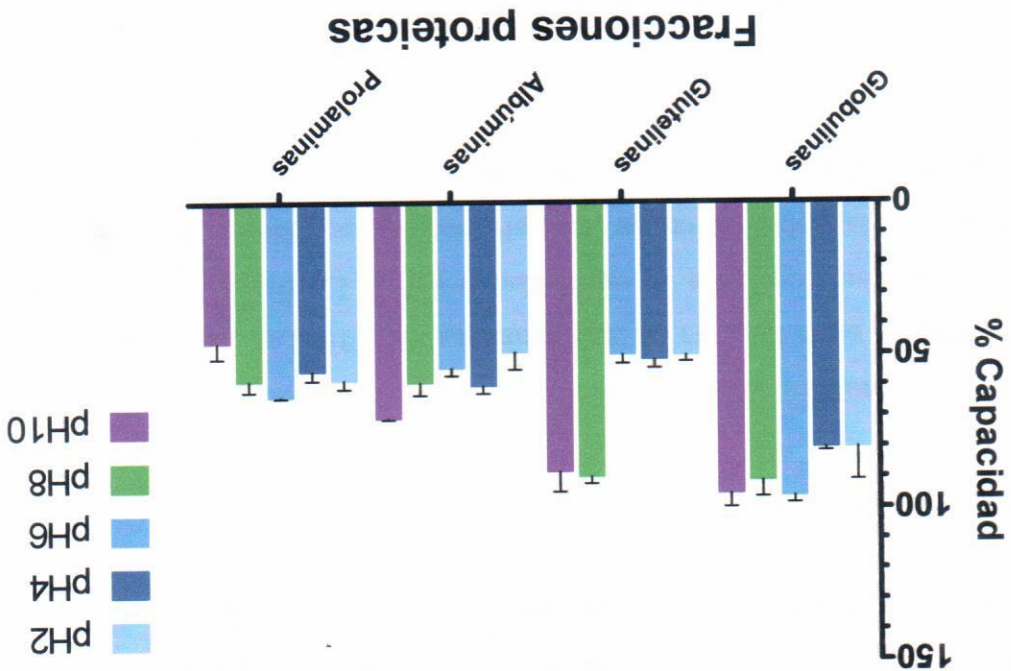
En la figura 5 se observa que la mayor capacidad se encontró a pHs alcalinos, siendo las globulinas (96.13 %) la de mayor capacidad a pH 6. Estas mostraron la mayor eficiencia incluso a pH ácidos en comparación con las demás fracciones proteicas. Las glutelinas fueron las que tuvieron un mayor efecto con el pH, ya que a pHs ácidos tuvieron una mayor disminución de la capacidad en comparación con las otras fracciones. Las prolaminas presentaron la menor capacidad a pH de 10.

En el caso de las globulinas a pH 6, probablemente a este pH existió una disponibilidad de cargas las cuales favorecieron cambios en la estructura molecular de las globulinas (desplegamiento), permitiendo que éstas se adsorban mejor en la interfase formándose emulsiones mucho más estables (Molina-Tizo). Se observó una capacidad de emulsificación similar en esta misma fracción a pH de 8 y 10.

Ahora bien, en la fracción de glutelinas se observó una mejor capacidad de emulsificación a pH 8 y 10, en estos casos el cambio en la estructura molecular (desplegamiento y flexibilidad de las proteínas) es menor que la mostrada en la fracción de las globulinas a pH 6, por lo que los aminoácidos presentes a estos pHs ya tienen carga electrostática, lo que permite que las proteínas interactúen con el agua y esto aunado a las interacciones hidrofóbicas favorece la formación de emulsiones.

Los datos obtenidos concuerdan con lo mencionado por Chavan y cols. (2001), ya que la capacidad de emulsificación en *Lathyrus maritimus* mostró un aumento conforme se incrementaba el pH. La capacidad a pH 6 (96.11 %) fue mayor a la mostrada por *Lupinus angustifolius* (88.7 %) (Lqari y cols. 2005). Haciendo una comparación con los reportes realizados por Bengoechea (2008) en proteínas agroalimentarias de soja y gluten, en los cuales se observó una disminución de la capacidad de emulsificación a pH 10, concuerdan solo con el resultado obtenido para la fracción de las prolaminas, ya que en el caso de las globulinas, glutelinas y albuminas la capacidad tuvo un efecto positivo en este pH. En general, se ha observado que a pH alejados del punto isoeléctrico se obtienen menores tamaños de gotas y por lo tanto mayores propiedades viscoelásticas. Esto se observa en proteínas de cangrejo en las cuales disminuyo la capacidad de emulsificación a pHs cercanos al punto isoeléctrico

Figura 5. Capacidad de emulsificación de las fracciones proteicas de *Pleurotus ostreatus* a diferentes pHs.



(Bengoechea 2008). Esto se observo también en los resultados encontrados en este trabajo. Un aspecto importante es que en las cuatro fracciones proteicas de *P. ostreatus* se presento formación de emulsión en los cinco pH medidos, a diferencia de la globulina de la Chia, la cual a pH de 6 y 5 no se presento formación de emulsión (Molina-Tizo 2008).

7.4.2.2. Estabilidad de emulsificación

En la figura 6 se muestra que a pHs alcalinos se alcanzó una mayor estabilidad en todas las fracciones, excepto en la fracción de las prolaminas a pH 10. Las cuatro fracciones proteicas presentaron una disminución en la estabilidad a pH 2. La fracción que mostró la mejor estabilidad fueron las globulinas en los cinco pH medidos, seguidas de las glutelinas a pH de 8 y 10. Las prolaminas presentaron los niveles más bajos de estabilidad tanto a pH 2 como a pH 10.

En la fracción de las prolaminas se presentó la estabilidad de emulsificación mínima a pH de 2 y 10, en estas se observó una capa delgada de emulsión que nos indica que si hubo proteínas participando en la interfase de la emulsión, mediante interacciones lípido-proteína, seguramente con los aminoácidos hidrófobos de estas ultimas, sin embargo la mayor parte de la fase lipídica esta separada.

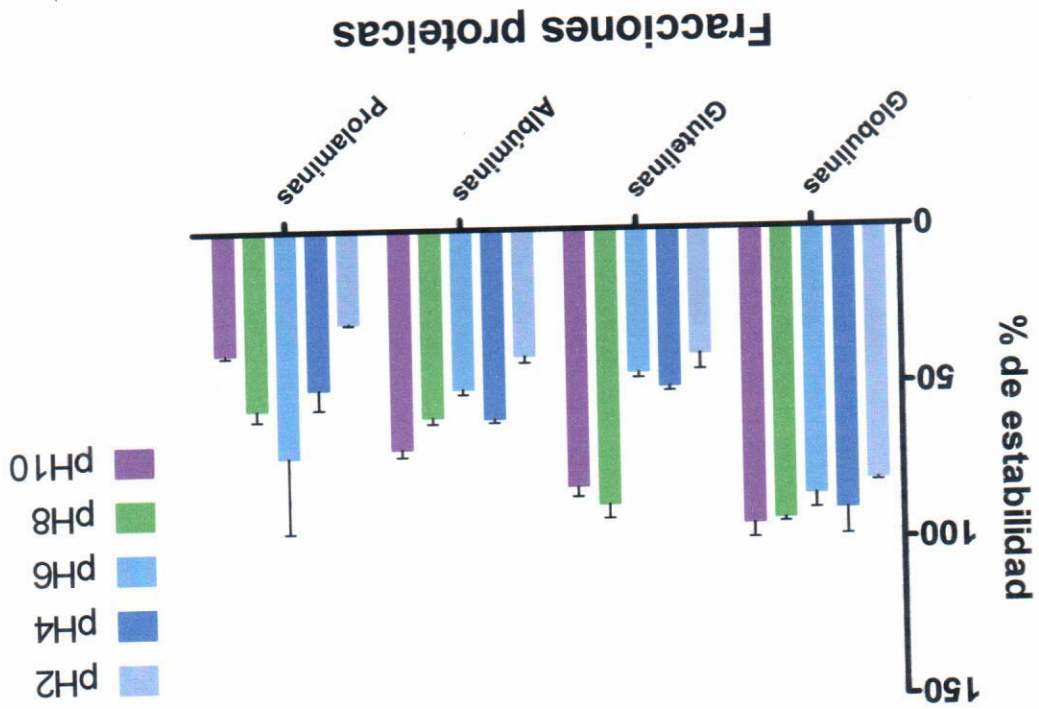
Esto se debe a que las proteínas a este pH forman agregados insolubles que no migran rápidamente a la interfase, y de hacerlo, están tan compactas por su plegamiento que no se adsorben adecuadamente, minimizando sus interacciones con ambos líquidos, permitiendo la coalescencia de los glóbulos de grasa y la separación de esta última (Bora 2000)

Para las glutelinas a pH 8 y 10, probablemente a estos pHs estamos alejados del pI de las proteínas, por lo que la participación de aminoácidos hidrofílicos, y sobre todo los aminoácidos como Glu, Asp, Hist, Arg y Lys que se encuentran cargados a este pH, generan un cambio en la estructura de las proteínas permitiéndoles en primer lugar, una migración más rápida hacia la interfase y en segundo lugar, un desplegamiento parcial con una mayor

En esta propiedad funcional de las proteínas, al igual que en la formación y estabilización de emulsiones, los tres tipos de interacciones (proteína-proteína, proteína-agua y proteína-fase dispersa), son importantes, la diferencia es que en esta ocasión, la fase dispersa esta constituida por aire.

7.4.3 Espumado

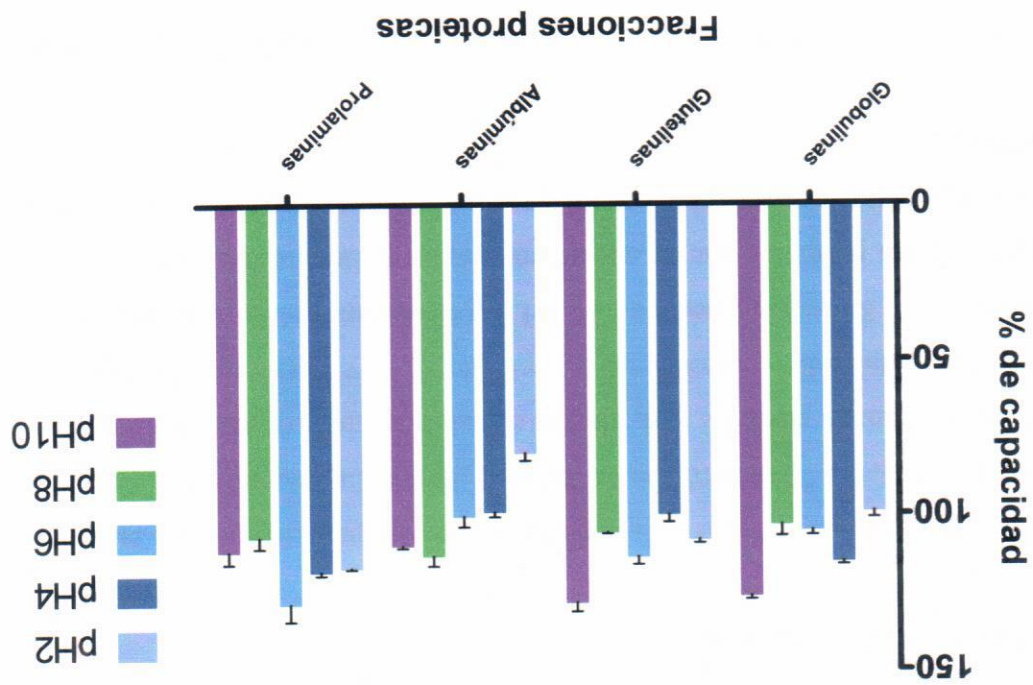
Figura 6. Estabilidad de emulsificación de las fracciones proteicas de *Pleurotus ostreatus* a diferentes pHs.



oposición de sus grupos hidrofóbicos por lo tanto, una mejor alineación en la interfase, mejorando así la formación y estabilización de la emulsión.

En los pHs más alejados del punto isoeléctrico se observó un aumento en la capacidad de espumado, esto debido probablemente a que a estos pHs como se menciono anteriormente se encuentran alejados del punto isoeléctrico, y por lo tanto los aminoácidos ácidos y básicos se encuentran cargados, lo que permite por un lado, que la proteína sea más soluble y difunda con

Figura 7. Capacidad de espumado de las fracciones proteicas de *Pleurotus ostreatus* a diferentes pHs.



Los resultados obtenidos muestran que a pH 6 la expansión de la espuma para la fracción de las prolaminas fue de 130.33 %, mientras que a pH 2 se registro la menor capacidad de espumado para esta. Sin embargo, fue la fracción de albuminas la que presento la menor capacidad de espumado a pH 2 (Figura 7).

7.4.3.1 Capacidad de espumado

Algunos autores mencionan que existe una mayor estabilidad a pHs cercanos al punto isoeléctrico, debido a que las repulsiones son mínimas en la interfase y las proteínas que se encuentran estructuralmente más compactas (interacciones proteína-proteína) generan capas protéicas más fuertes y viscosas, lo que imparte estabilidad a la espuma (Molina-Tizo 2008).

Molina-Tizo (2008) determinó la capacidad de espumado, la cual fue mínima a pH 4. Observó que conforme pasaba el tiempo, la estabilidad de la espuma disminuía drásticamente hasta llegar a un 4%. En los resultados obtenidos en este proyecto la disminución de la espuma fue superior, en las cuatro fracciones protéicas estudiadas y a los pHs propuestos.

El valor más alto de estabilidad de la espuma se presentó en la fracción de las glutelinas a pH 8, en los pH de 2, 4, 6 y 10 mostró una estabilidad similar. La fracción con una menor estabilidad fueron las globulinas en pH 2 y 6, siendo el valor máximo en esta a pH 4. Las prolaminas tuvieron una estabilidad parecida en los pH de 2, 4 y 8 (Figura 8). Para la fracción de prolaminas a pH 8, probablemente a este pH, las repulsiones electrostáticas fueron mínimas en la interfase y las proteínas que se encuentran estructuralmente más compactas (interacciones proteína-proteína) generan capas protéicas más fuertes y viscosas, lo que imparte estabilidad a la espuma.

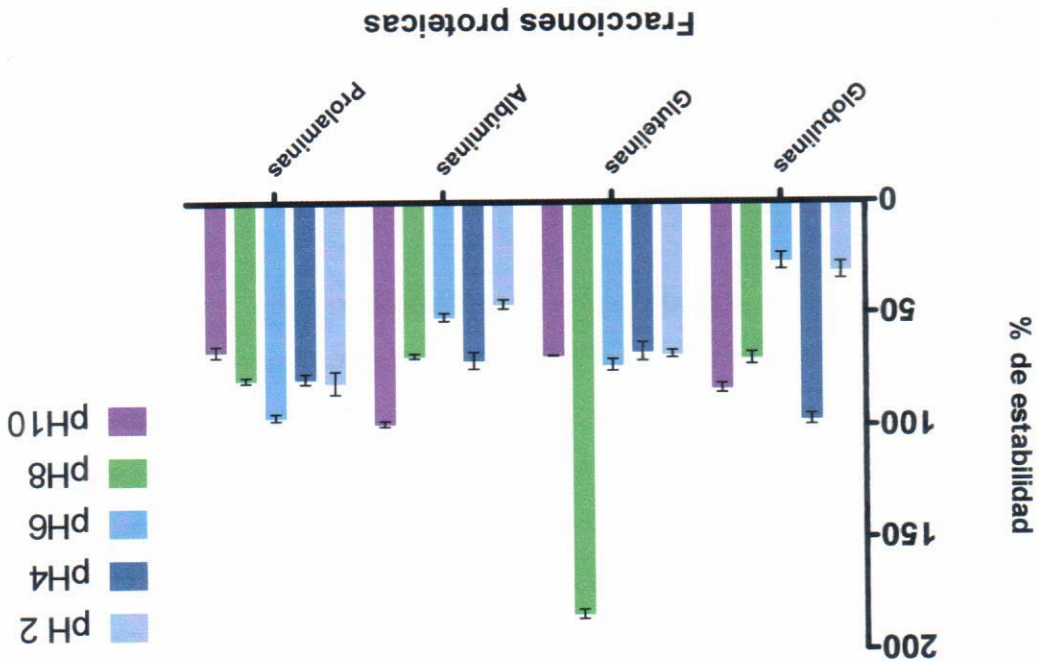
7.4.3.2 Estabilidad de espumado

Los resultados obtenidos fueron inferiores a los reportados para las proteínas de *Lathyrus maritimus* (Chavan y cols. 2001). Solo se superó a esta planta en la estabilidad de la espuma únicamente a pH 6 resultado obtenido por las prolaminas. No obstante, valores obtenidos en la fracción de las prolaminas a pH 6 superó a la capacidad de espumado que presenta *Lupinus angustifolius*.

mayor rapidez a la interfase y por otra parte, que la estructura de este cambie haciéndola más flexible, con una mayor exposición de grupos hidrofóbicos y una mejor absorción en la interfase (Molina-Tizo 2008).

Diversos autores coinciden en que la fracción de globulinas generalmente presenta poca capacidad de espumado y estabilidad de las espumas (Bora 2001, Lawal y cols. 2005 y Ching-Yung 2006). En este caso, a pesar de que no se puede realizar una comparación directa de la capacidad y estabilidad de la espuma con estos autores, se puede observar de acuerdo a los resultados obtenidos, que la capacidad de creación o expansión de la espuma que tiene las globulinas, es aceptable en este trabajo a un pH de 10, además de que su estabilidad es de igual forma aceptable.

Figura 8. Estabilidad de espumado de las fracciones proteicas de *Pleurotus ostreatus* a diferentes pHs.



Sin embargo, para las glutelinas, albuminas y prolaminas de *P. ostreatus* la estabilidad de la espuma se encontro a pH diferente al punto isoeléctrico y solo las globulinas corresponden con lo anterior.

En la figura 9, se observa un aumento de la solubilidad a medida que se aleja este pH del punto isoeléctrico, así a pH 10 las glutelinas, albúminas y prolaminas aumentaron su solubilidad, no así en la fracción de las globulinas a este pH. Sin embargo, la fracción de las prolaminas a un pH de 10 fueron las que presentaron el valor más alto de solubilidad, seguidas por las glutelinas en el mismo pH. En el caso de las globulinas mostraron a pH de 8 su punto más alto. En lo que se refiere al pH 2 las globulinas, glutelinas y albúminas presentaron una

Cabe mencionar que la solubilidad depende del tipo de aminoácidos que contenga la proteína, de tal forma que el polipéptido que tenga muchos residuos hidrofóbicos tenderá a ser menor soluble en agua que el que tenga un elevado número de grupos hidrofílicos. El proceso de solubilización implica que las moléculas de proteína estén dispersas en el disolvente y además que ejerzan una máxima interacción con el líquido que la rodea (Natarajan 2005).

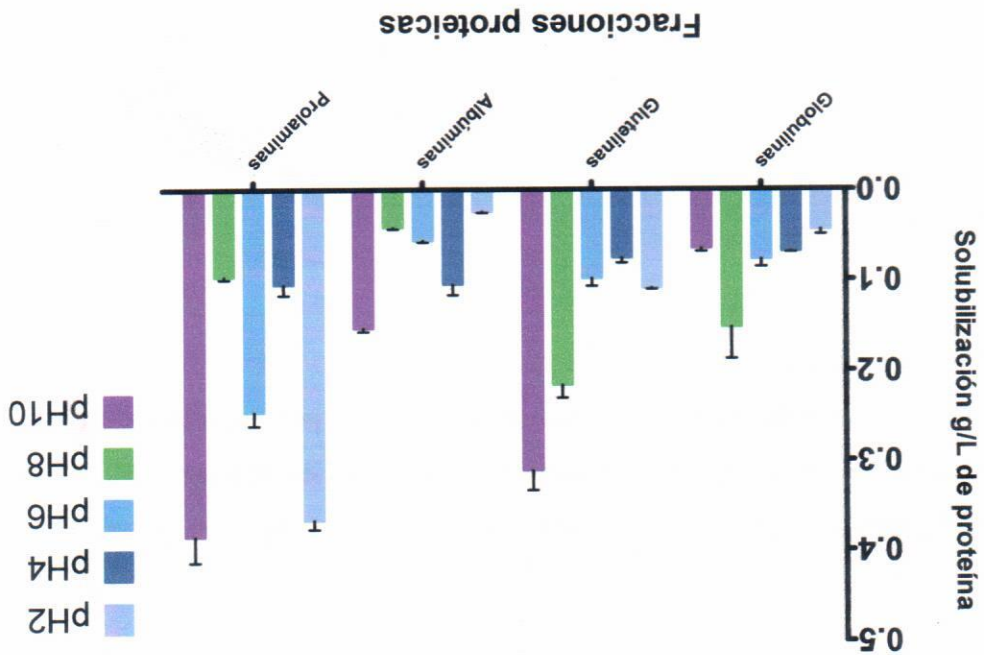
7.4.4 Solubilidad de proteína

Los lípidos son considerados contaminantes, pues interfieren en las propiedades espumantes de las proteínas, ya que obstruyen en la creación de las celdas de aire durante la fase de batido, evitando la generación y/o estabilidad de la espuma. En este caso, se observa que hubo una buena extracción de la grasa, ya que no se vio afectada la espumabilidad o estabilidad de la espuma generadas por las proteínas de las cuatro fracciones de *P. ostryatus*, puesto que si logró generarse espuma a los cinco pHs estudiados. La inestabilidad puede deberse a las características intrínsecas de estas proteínas y no a una interferencia con los lípidos.

El comportamiento mostrado en la estabilidad de la espuma para la Chia reportado por Molina-Tizo (2008) señala que a medida que transcurrió el tiempo, la estabilidad de las espumas disminuyó drásticamente y esta desapareció totalmente después de tres horas. Para el caso de las espumas formadas por las cuatro fracciones proteicas de *P. ostryatus* estas no desaparecieron totalmente después de transcurridas las tres horas, sin embargo, las disminución de las espuma fue superior.

Teóricamente existe una relación entre la solubilidad de una proteína y su capacidad para la formación de espumas. Sin embargo, Molina-Tizo (2008) menciona que la solubilidad del concentrado de globulinas de Chia es bajo a pH 4 (42 %) y pH 7 (11.7%), no obstante, los resultados muestran que no es necesaria una alta solubilidad de estas proteínas para obtener buenos resultados en pruebas como capacidad de retención de aceite y formación y estabilidad de emulsiones y espumas, mientras que el aumento de la capacidad de retención de agua si esta directamente relacionada con el aumento de la solubilidad. En este trabajo se encontró un comportamiento similar, ya que las concentraciones de proteína soluble es baja comparada con la capacidad de espumado que presentaron las cuatro fracciones proteicas.

Figura 9. Proteína soluble de las fracciones proteicas de *Pleurotus ostreatus* a diferentes pHs.



disminución en solubilización de la proteína. Sin embargo, la fracción de las prolaminas mostró un aumento considerable a este pH. La menor solubilidad de obtuvo a pH 2 en la fracción de las albuminas.

Al comparar las solubilidades de las globulinas presentes en *P. ostryatus* con las de *Salvia hispanica* (Chia), se observa una similitud, ya que se presenta un aumento superior a pH de 8 y 10. Los resultados obtenidos en la fracción de las glutelinas coinciden con los que se han reportado para *Lathyrus maritimus*, en el cual la menor solubilidad se presentó a pH de 4, presentando un aumento conforme se alejaba el pH del punto isoeléctrico (Chavan y cols. 2001).

En la fracción de las albúminas (amaranto) se ha reportado que los valores mas altos de solubilidad están por arriba de pH 6 (Silva-Sánchez 2004), en este los valores obtenidos aquí son similares. No obstante, se presentó una disminución de la solubilidad a un pH 8, más baja que la presentada a pH 6.

8. Conclusiones

- ✓ El cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus* presentó las cuatro fracciones proteicas.
- ✓ Las globulinas (40 %) y glutelinas (34 %) son las fracciones proteicas que se encuentran en mayor proporción.
- ✓ La fracción de globulinas mostraron una capacidad de retención de agua de 2.33 ml/g.
- ✓ La fracción de albúminas tuvieron una capacidad de retención de aceite de 2.5 ml/g.
- ✓ La fracción de globulinas alcanzaron una capacidad de emulsificación de 96.13 % a pH 6, en cuanto a la estabilidad esta fue mayor a pH 10 (94.65 %).
- ✓ La fracción de prolaminas obtuvieron una capacidad de espumado de 128.27 % a pH 6 y la estabilidad a pH 8 fue de 184 %.
- ✓ Las prolaminas con un 0.096 g/L de proteína solubilizada a pH 10 obtuvieron el valor más representativo de proteína soluble.
- ✓ Los cuatro aislados proteicos presentaron las propiedades analizadas. Sin embargo, cada una de ellas presenta mayor eficiencia en al menos una propiedad funcional.
- ✓ El pH afecta a cada una de las propiedades funcionales, ya sea aumentando o disminuyendo su eficiencia.

9. Perspectivas

Los cuatro concentrados proteicos presentaron todas las propiedades funcionales analizadas, lo cual promete poder aplicarse en sustitución de proteínas de origen animal que son de mayor costo, además se podrían adicionar a alimentos tradicionales como son las tortillas para incrementar su valor nutritivo.

Ahora bien, debido a los buenos resultados obtenidos en la capacidad de retención de aceite en la fracción de las albúminas y propiedades emulsificantes de las globulinas de *Pleurotus ostreatus*, podrían ser utilizadas en formulaciones alimenticias tipo emulsión (embuidos, mayonesas aderezos) o también para productos de panadería. Además, las fracciones de prolaminas y glutelinas por su buena espumabilidad, se sugieren para su aplicación en postres tipo mousse, cremas batidas o helados.

10. Referencias

- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. 14th Ed. Washington, D.C.
- Aranberti I, Binks BP, Clint JH y Fletcher PDL. 2006. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. Revista iberoamericana de polímeros. Vol. 7 (3).
- Avanza M V y Añón M C. 2006. Efecto del tratamiento térmico en las propiedades fisicoquímicas de albúmina y globulinas de *Amaranthus Hypochondriacus*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNN.
- Badui-Dergal S. 2006. Química de los alimentos. Editorial Alhambra Mexicana. México.
- Barba de la Rosa A, Paredes-López O y Gueguen J. 1992. Characterization of Amaranth globulins. Journal of Agricultural Research 3: 256-259
- Bautista M, Alanís G, González E, Carlos L, Martínez G y Barboza E. 1999. Calidad proteínica de tres cepas mexicanas de setas (*Pleurotus ostreatus*). Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Volumen 49 - Número 1.
- Belewu MA. 2005. Cultivation of mushroom (*Volvariella volvacea*) on banana leaves. African Journal of Biotechnology 12: 1401-1403.
- Beltran-Orjuela. 2006. Transformación de la seta comestible *Lentinula edodes* en harina como sustituto para elaborar galleta dulce de regado. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Salle de Bogotá.

- Bengoechea C, Romero F, Cordobé S y Guerrero A. **2008**. Estudio reológico y microestructural de emulsiones estabilizadas con proteínas agroalimentarias. *Grasas y aceites* 11: 62-68.
- Bermúdez S, Morris H y Donoso C. **2003**. Influencia de la luz en la calidad proteica de *Pleurotus ostreatus* Var. Florida. *Revista Cubana Investigación Biomedica* 4: 226-31.
- Bora P. **2002**. Functional properties of native and succinylated lentil (*Lens culinaris*) globulins. *Food Chemistry* 77: 171-176.
- Bradford M. **1976**. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Bowman SM y Free SJ. **2006**. The structure and synthesis of the fungal cell wall. *BioEssays* 28: 799-808.
- Brene WM. **1990**. Nutritional and medicinal, value of speciality mushroom. University of Minnesota, St. Paul, M.N. *Journal of Food Protection* 10: 883-894.
- Chavan UD, McKenzie y Shahidi F. **2001**. Functional properties of protein isolates from Beac pea (*Lathyrus maritimus*). *Food Chemistry* 74: 177-187.
- Chin-Ying M y Siu-Mei C. **2006**. Extraction, purification and characterization of globulin from common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) seeds. *Food Research International* 39: 974-981.

- Córdoba-Salgado MA. 1995. Perfiles de Solubilidad y Caracterización Fisicoquímica de Concentrados proteínicos de Amaranto. Tesis de Maestría en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana de México.
- Cortés M, García A y Suárez H. 2007. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) con Calcio, Selenio y Vitamina C. Revista de la facultad de química 1: 16-24.
- Cruz L, Ponce I, Martínez E y Solano G. 2004. Inoculación de una mezcla de residuales azucareros con una cepa de *Pleurotus ostreatus*. Universidad y Ciencia 033: 33-40.
- Damodaran, S. 1989. Interrelationship of molecular and functional properties of food proteins. In Food Proteins. Editado por Kinsella, J.; Soucie, W. The American Oil Chemists Society 3: 21-51.
- Damodaran S. y Paraf A. 1997. Food proteins and their applications. Marcel Dekker. U.S.A.
- Das KP, y Kinsella JE. 1990. Stability of food emulsions: Physicochemical role of protein and non-protein emulsifiers. In: Kinsella JE. (Ed). Advances in food and nutrition research. Vol. 84. Academia Press, Inc. London.
- Fennema, O.R. 1993. Química de los alimentos. Editorial Acriba. Zaragoza, España.
- Ferreyra J C, Kuskoski E M, Bordignon L M, Barrera A D, y Fett R. 2007. Propiedades emulsificantes y espumantes de las proteínas de harina de cacahuete (*Arachis hypogaea*). Grasas y aceites 58: 264-269.

- Gorinstein S, Nue I y Arruda P. 1991. Alcohol soluble and total proteins from Amaranth seed and their comparison with others cereals. Journal of Agriculture and food chemistry 39: 851-854.
- Guzmán G, Mata G, Salmones D, Soto-Velasco C y Guzmán-Dávalos L. 1993. El cultivo de hongos comestibles. México D.F.: IPN 1-13.
- Guzmán G. 2000. Fungi in traditional medicine in Mesoamérica and México. Revista Iberoamericana de Micología 11: 81-85.
- Granito M, Guinand J, Pérez D y Pérez S. 2009. Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaeoascus vulgaris* procesada: un ingrediente potencial para alimentos. Interiencia 34: 64-70.
- Hernández-González MB. 2000. Valor nutricional de setas (*Pleurotus ostreatus*) cultivadas en paja de trigo y bagazo de agave (*Agave Tequilana Weber*, var. azul) enriquecido con col. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guanajuato.
- Hernández-Jardón G. 2007. Proteínas de chia (*Salvia hispanica*): Estudio para valorar sus propiedades como formadoras de películas. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Herrera T, y Ulloa M. 1998. El reino de los hongos: Micología básica y aplicada. Segunda edición. México. D.F., UNAM. PP 25-35.
- Kabirullah M y Willis RB. 1982. Functional properties of acetylated and succinylated sunflower protein isolates. Journal Food Technology 17: 235-249.
- Kunitz M. 1947. Crystalline soy bean trypsin inhibitor. General properties. Journal General Physiology 30: 291.

- Lawal O, Adebowale K, Ogunsanwo, Sosanwo O y Bankole S. **2005**. On the functional properties of globulin and albumin protein fractions and flours of African locust bean (*Parkia biglobosa*) Food Chemistry 92: 681-691.
- Lelley II y Vetter J. **2004**. Orthomolecular medicine and mushroom consumption, an attractive aspect for promoting production. Science and cultivation of edible and medicinal fungi. Pennsylvania State University Press, University Park.
- Igari Hassane, Pedroche J, Girón-Calle J, Vioque J y Millan Francisco. **2005**. Poduction of *Lupinus angustifolius* protein hydrolysates with improved functional properties. Grasa y aceites 2: 135-140.
- Marki EA, Doxastakis GI. **2006**. Emulsifying and foaming properties of *Phaseolus vulgaris* and *coccineus* proteins. Food chemistry 98: 558-568.
- Mathews DE. **2005**. Amino acid administration in humans. Journal Nutrition 135:6. 1580-1584
- Martínez EN, Castellani OF, Añón MC. **1997**. Common molecular features among amaranth storage proteins. Journal Agriculture Food Chemistry 45: 3832-3839.
- Martínez A. y Martínez EV. **2006**. Proteínas y péptidos en nutrición enteral. Nutrición. Hospitalaria 2: 1-14
- Mejía G. **2003**. Seguimiento clínico y hematológico de un caso de aplasia medular idiopática con un modificador de la respuesta biológica (BRM) ECTIII C&D Pharma.

- Molina-Tizo N. **2008**. Caracterización bioquímica y estudio de las propiedades funcionales de la fracción de globulinas obtenidas a partir de las semillas de Chia (*Salvia hispanica*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México.
- Monteghirfo M y Yarleque-Chocas A. **2007**. Caracterización de las proteínas totales de tres ecotipos de maca (*Lepidium peruvianum*), mediante electroforesis unidimensional y bidimensional. Medicina Lima 68: 301-306.
- Morales-León J, Cassis M, Cecin P. **2006**. Obtención de un extracto de garbanzo (*Cicer arietinum*) fermentado y su uso como extensor lácteo. INNSZ. México DF.
- Myers C. **1988**. Functional attributes of protein isolates In: Characterization of proteins. The human Press Inc. Clifton, New Jersey 1: 491-546.
- Olivos Lugo BL. **2005**. Estudio de las propiedades térmicas, funcionales y nutritivas de la fracción proteínica de la semilla de chia (*Salvia hispanica*). Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Paraskevi K, Dimitrios P, Wolf-Dietrich, Kyriakos A y Rigamakas. **2009**. Nutritional value and metal content of wild edible mushrooms collected from West Macedonia and Epirus, Greece. Food Chemistry 115: 1575-1580.
- Paredes-López O. **1988**. Safflower proteins for food uses. In: Development in food proteins 7: 1-33.
- Sanchez C. **1998**. Morphogenesis of mushroom fungi: Ultrastructural, Physiology and histological study of *Pleurotus ostreatus*. Ph.D. Dissertation, Manchester U.K. The University of Manchester.

- Sakte S y Salunkhe D. 1981. Functional properties of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris L*) proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. Journal of Food Science 46: 71-81.
- Sales-Campos, Ferreira A, Teixeira M y Nogueira C. 2009. Mineral composition of raw material, substrate and fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus*. Interciencia 36: 432-436.
- Segura-Nieto M, Barba de la Rosa AP, y Paredes-López O. 1994. Biochemistry of amarant protein. In Amarant. Biology, Chemistry and Technology. Ed. Paredes-López. O. CRC Press, Boca Raton 5: 75-106.
- Suárez-Brito B. 2008. Efecto de las condiciones de desamidación en propiedades fisicoquímicas y funcionales de gluten de maíz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México.
- Starr C. 2008. Biología: Unidad y diversidad de la vida. Cengage Learning Editores. Barcelona.
- Pszczola. 2004. Ingredients. Food technol 58 2:56-59
- Rodríguez VN y Zuluaga VJ. 1994. Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* en pulpa de café. Cenicafé 3: 81-92.
- Silva-Sánchez C, González-Castañeda J, De León-Rodríguez A y Barba de la Rosa AP. 2004. Functional and rheological properties of Amaranth albumins extracted from two mexican varieties. Plant Foods for Human Nutrition 59: 169-174.

- Soriano-Santos J, Iwabuchi S y Fujimoto K. **1992**. Solubility of amaranth seeds protein in sodium sulphate and sodium chloride: The main factor in quantitative extraction for analysis. *International Journal of food science and technology* 27: 337.
- Soriano-Santos J., **1993**. Caracterización parcial de un concentrado proteínico del grano de Amarantho. *Ciencia* 44: 4.
- Taha FS y Ibrahim MA. **2002**. Effect of hydrolysis on the functional properties of some oilseed proteins. *Grasas y aceites* 53: 273-281.
- Wang H. y Kinsella JE. **1976**. Functional properties of novel protein: alfalfa leaf protein. *Journal of food science* 41: 286-292.
- Yang JH, Lin H, y Mau J. **2001**. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms. *Food Chemistry* 72: 465-471.