



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

Efecto de la adición de harina de chía
(*Salvia hispanica*) en el desarrollo de una salchicha tipo
frankfurt

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA

GERARDO SALGADO LÓPEZ

ASESOR: Dra. Adriana Llorente Bousquets

COASESOR: M. en C. Jonathan Coria Hernández

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx. 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto de la adición de harina de chíá (*Salvia hispanica*) en el desarrollo de una salchicha tipo frankfurt.

Que presenta el pasante: **Gerardo Salgado López**

Con número de cuenta: 310316617 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de Abril de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
VOCAL	I.Q.I José Oscar German Ibarra	
SECRETARIO	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
1er. SUPLENTE	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
2do. SUPLENTE	I.A. Miriam Alvarez Velasco	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/javg

**El presente Trabajo de Tesis de Investigación fue desarrollado en el TMIA:
Taller de Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos en el Laboratorio 7
de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria UIM de la FES Cuautitlán
UNAM**

**Recibió apoyo del proyecto DGAPA-PAPIIT IT 202312
“Estrategias de bioconservación y conservación de la carne y productos
cárnicos”**

**Y del Proyecto PIAPI-FESC 1635
“Procesos tecnológicos de productos cárnicos”**

Dedicatoria

La presente tesis la dedico a toda mi familia, pareja y amigos, pero principalmente a mis padres quienes han sido el pilar y motor de cada uno de mis logros, pues sin ellos esto no sería posible, se las dedico en compensación por brindarme su confianza, consejos, por siempre creer en mí y por todo el apoyo económico y emocional durante todos estos años.

Gerardo Salgado López

Agradecimientos

Primero que nada quiero agradecer a mis padres, pues ellos han sido y serán siempre la base y el sustento de mi vida, gracias:

A mi madre, Iliana López Martínez a quien amo y agradezco todo lo que me ha dado y enseñado, sin esperar nada a cambio, gracias pues tú me enseñaste a siempre luchar por mis objetivos y a vencer mis miedos, a siempre creer en mí y que aunque en ocasiones la vida nos ponga situaciones difíciles y que te llenan de inseguridades, hay que afrontarlo y dar lo mejor de sí, gracias por enseñarme que tengo las capacidades y puedo superar cualquier reto por mas imposible que parezca y por cuidarme siempre, por preocuparte por mí y mis hermanos, apoyarnos incondicionalmente.

A mi padre Daniel Salgado Cruz que es mi principal ejemplo a seguir, quien me ha enseñado que no me importe lo que los demás digan de mí, siempre y cuando sea yo mismo y me mantenga fiel a mis pensamientos e ideales, anteponiendo los valores que me han enseñado desde el día que nací, gracias por escucharme siempre, por aconsejarme y apoyarme en las decisiones que tomo, gracias por ser ese gran ejemplo de trabajo, constancia, valores e inteligencia. Gracias por siempre cuidar de tu familia y ver primero por nosotros que por ti mismo, muchas gracias por todo.

Agradezco a mis hermanos pues son parte fundamental de mi vida:

A Daniel Salgado López quien me ha apoyado siempre, y aconsejado cuando lo necesito, gracias por enseñarme a no tener miedo e intentar siempre cosas nuevas, por mostrarme que la vida no siempre debe ser seria, dejando espacio para divertirse e invertir tiempo en uno mismo y nunca tener miedo de nada ni nadie.

A Joel Salgado López quien ha sido un ejemplo de crecimiento y evolución, enseñándome que se deben disfrutar y aprovechar cada una de las etapas de la vida al máximo, gracias por siempre apoyarme y enseñarme que la diversión, sensatez, responsabilidad, valores y amor se deben tener siempre presentes y demostrarlos sobre todo cuando de verdad es necesario y en los momentos más difíciles.

Gracias a ustedes cuatro, mi familia, por todo lo que me han enseñado no solo con palabras, sino con el ejemplo pues estoy seguro que sin el apoyo de ustedes yo no sería lo que soy.

También agradezco a mis amigos y compañeros con los que compartí mi trayectoria universitaria, pues con ellos aprendí a vivir al máximo, a divertirme sin control, a valorar lo que mis padres hacían por mí y a darme cuenta que la vida tiene otros horizontes. Gracias a todos mis amigos y compañeros, pero en especial agradezco a mi mejor amiga y ahora compañera de vida:

A Alejandra Daniela Salas Villegas, quien estuvo conmigo en los momentos que más lo necesitaba y fue mi sustento y palabras de aliento cuando sentía que no podía seguir adelante, gracias por compartir tu vida conmigo y ser el complemento ideal para afrontar todos los retos que nos tiene preparada la vida. Debo agradecer también a su familia quienes me han recibido como uno más de ellos y me han brindado su apoyo, preocupación y hospitalidad.

Le doy las gracias también a todos los profesores que influyeron en mí durante todos estos años y quienes han transmitido sus invaluable conocimientos, contribuyendo así a mi desarrollo académico y profesional:

A la doctora Adriana Llorente Bousquets por asesorarme y apoyarme en todo momento, por sus palabras de aliento y llamadas de atención, siempre con el objetivo de desarrollarme académicamente y como persona.

Al maestro Jonathan Coria Hernández por alentarme a realizar el presente trabajo, asesorarme, aconsejarme y ofrecerme su apoyo ante cualquier complicación o duda que surgiera en el proceso,

Agradezco también a los profesores que forman parte de mi jurado por dedicar su tiempo y conocimientos para mejorar mi trabajo, contribuyendo a conservar el nivel académico que la carrera de Ingeniería en Alimentos y nuestra alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México demandan.

Agradezco a Dios y a la Vida por poner en mi camino a todas aquellas personas que han sido parte de mi desarrollo de forma directa e indirecta, así como por darme las ganas y las fuerzas para seguir adelante en cada desafío que se presenta.

Gerardo Salgado López

**MIS SUEÑOS SON MENTIRAS QUE
ALGÚN DÍA DEJARAN DE SERLO**

Ignacio Fornés

Índice

Resumen	1
Introducción	2
1. Marco teórico	4
1.1. Carne	4
1.1.1. Transformación del músculo en carne	5
1.1.2. Calidad de la carne	6
1.2. Composición química	8
1.2.1. Agua	9
1.2.2. Proteínas de la carne	10
1.2.2.1. Miofibrilares	11
1.2.2.2. Sarcoplásmicas	16
1.2.2.3. Del tejido conectivo	17
1.2.3. Lípidos	18
1.3. Propiedades funcionales	19
1.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	19
1.3.2. Capacidad emulsificante (CE)	20
1.4. Productos cárnicos procesados	21
1.4.1. Productos cárnicos curados y cocidos	22
1.4.2. Salchicha tipo Frankfurt	22
1.4.2.1. Funcionalidad de los ingredientes	23
1.5. Fundamentos fisicoquímicos de las emulsiones	25
1.5.1. Formación del sistema	26
1.5.2. Estabilidad del sistema	26
1.5.3. Emulsión cárnica	28
1.6. Harina de chía	29
1.6.1. Composición química	31
1.6.2. Propiedades funcionales	31
1.6.2.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	32
1.6.2.2. Capacidad emulsificante (CE)	33
1.6.3. Valor nutritivo	33

1.6.3.1. Ácidos grasos	34
1.6.3.2. Aminoácidos	35
1.6.3.3. Fibra dietética	36
1.6.3.4. Vitaminas y minerales	37
1.6.3.5. Antioxidantes	38
2. Desarrollo experimental	39
2.1. Justificación	39
2.2. Problema	41
2.3. Objetivo General	41
2.4. Objetivos particulares e hipótesis	41
2.5. Actividades preliminares (Caracterización de CE y CRA de Materias Primas)	43
2.6. Diseño experimental	47
2.7. Diagrama de proceso	48
2.8. Evaluación del tamaño de glóbulo de grasa	52
2.9. Evaluación de capacidad de retención de agua	53
2.10. Evaluación de la resistencia a la deformación	54
2.11. Cuantificación de proteínas (Método Bradford)	54
3. Análisis y discusión de resultados	60
3.1. Resultado de las actividades preliminares	60
3.2. Tamaño de glóbulo de grasa	61
3.3. Porcentaje de retención de agua	63
3.4. Resistencia a la deformación	65
3.5. Cuantificación de proteínas (Método Bradford)	66
Conclusiones	68
Referencias bibliográficas	69

Índice de figuras

Figura 1. Comparación carne PSE, DFD y normal	7
Figura 2. Estructura de miosina	2
Figura 3. Estructura de actina	2
Figura 4. Complejo acto-miosina	13
Figura 5. Estructura de actina, troponina y tropomiosina	14
Figura 6. Estructura de actina, titina y nebulina	15
Figura 7. Reacción del color de la carne	17
Figura 8. Tipos de emulsiones: Aceite en agua O/W y agua en aceite W/O	25
Figura 9. Proceso de floculación, coalescencia y separación de fases de una emulsión	27
Figura 10. Componentes de una emulsión cárnica	29
Figura 11. Semillas enteras y flor de chía	30
Figura 12. Embutidos producidos en México en 2014	39
Figura 13. Muestra de carne con solución fría de NaCl a 4°C	43
Figura 14. Muestra homogeneizada de carne y solución de NaCl y adición de aceite para crear emulsión	44
Figura 15. Hidratación de fécula y harina de chía, aumento de temperatura a 70°C y centrifugación	45
Figura 16. Hidratación de harina de chía y adición de aceite de maíz a emulsionar	46
Figura 17. Diagrama de proceso para salchicha tipo Frankfurt	48
Figura 18. Materias primas acondicionadas para cada lote	49
Figura 19. Formación de emulsión cárnica en procesador	49
Figura 20. Salchichas embutidas y envasadas al vacío	50
Figura 21. Cocción de las salchichas y control de la temperatura con termopares	50
Figura 22. Enfriamiento después de cocción y producto terminado	51
Figura 23. Corte de salchichas en finas láminas	52
Figura 24. Observación al microscopio óptico y medición del tamaño de glóbulo de grasa con ocular de 10x con micrómetro	52

Figura 25. Registro del peso inicial del papel filtro y salchicha colocada en tubo de centrifugación	53
Figura 26. Centrifugación a 4000g (RCF) durante 40 minutos a 4°C y registro del peso final del papel filtro	53
Figura 27. Determinación de dureza con penetrómetro	54
Figura 28. Solución stock de BSA	55
Figura 29. Diluciones de BSA para la curva patrón	55
Figura 30. Biofotómetro plus marca Eppendorf y vórtex MaxiMix, para la determinación de absorbancia	55
Figura 31. Curva patrón de proteínas con std. de BSA	56
Figura 32. Homogeneización de salchicha con 50mL de solución buffer de extracción (KH₂PO₄ 0.3M)	57
Figura 33. Muestra centrifugada: sobrenadante con proteínas solubles separado del pellet	58
Figura 34. Celdas Eppendorf con alícuota de 60µL de sobrenadante y reactivo de Bradford	58
Figura 35. Lectura de absorbancia a $\lambda_{595\text{ nm}}$ en Biofotómetro™ plus marca Eppendorf	59
Figura 36. Tamaño de glóbulo de grasa en salchicha control y adicionada con 4, 6 y 8% de harina de chía	62
Figura 37. CRA, g de agua retenidos/ g de muestra en diferentes formulaciones de salchichas	64
Figura 38. Dureza de las salchichas de distintas formulaciones	66
Figura 39. Proteínas adicionadas por la harina de chía en diferentes formulaciones de salchichas	67

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición general de la carne	8
Cuadro 2. Composición química de la carne de cerdo	9
Cuadro 3. Distribución de las proteínas en el tejido muscular	10
Cuadro 4. Dimensiones características según el tipo de embutido	22
Cuadro 5. Composición química proximal de semilla de chía	31
Cuadro 6. Ácidos grasos presentes en la chía y otras fuentes importantes	34
Cuadro 7. Aminoácidos presentes en la harina de chía	35
Cuadro 8. Proteínas presentes en la chía	36
Cuadro 9. Formulación de lote control, 4, 6 y 8% de Harina de Chía para salchicha tipo Frankfurt	47
Cuadro 10. Diluciones de BSA y sus concentraciones	56
Cuadro 11. Intervalos de confianza del tamaño de glóbulo de grasa	61

Abreviaturas

Å: Ångström

ADP: Adenosín difosfato

ATP: Adenosín trifosfato

BSA: Albúmina sérica bovina

°C: grado Celsius

C: Lote control

CE: Capacidad emulsificante

cm: centímetros

CO₂: Dióxido de carbono

-COO⁻: Ion carboxilo

COMECARNE: Consejo Mexicano de la Carne

CRA: Capacidad de retención de agua

DFD: Carne oscura, firme y seca (*dark, firm, dry*)

DE: Desviación estándar

F: actina filamentosa

Fe: hierro

FAO: Organización para la Alimentación y la Agricultura

G: actina globular

g: gramos

g (RCF): Fuerza centrífuga relativa

h: horas

IC: Índice de confianza

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

kDa: kilodaltons

KH₂PO₄: Fosfato monopotásico

M: Molar

M: metros

mg: miligramos

min: minutos

mL: mililitros

mm: milímetros

N: Newtons

-NH₄⁺: Amonio

nm: nanómetros

NMX: Norma Mexicana

NOM: Norma Oficial Mexicana

O₂: Oxígeno en forma molecular

P: Valor de probabilidad, oscilando entre 0 y 1

pH: potencial de Hidrógeno

PSE: Carne pálida, suave y exudativa (*pale, soft, exudative*)

p/v: relación peso-volumen

rpm: revoluciones por minuto

s: segundos

std. Estándar

μL: microlitros

μm: micrómetros

Resumen

Actualmente la industria de los alimentos en México ha tenido un gran cambio debido a la tendencia mundial por la búsqueda de alimentos cada vez más sanos, de alto aporte nutritivo, sin perder el acceso fácil y listo para su consumo que caracterizan a los productos industrializados; en búsqueda de esto el surgimiento de nuevos aditivos e ingredientes con propiedades funcionales nuevas es inevitable, resaltando de entre ellos la chía como un producto que cumple con todas las características que busca el consumidor.

En función a esto en el presente trabajo de Tesis se propuso evaluar el efecto de la adición de harina de chía (*Salvia hispanica*) en la elaboración de una emulsión cárnica (Salchicha tipo Frankfurt) y determinar su funcionalidad en el sistema mediante pruebas fisicoquímicas y texturales, en busca de un embutido de calidad y alto aporte nutritivo. Se realizaron cuatro formulaciones, una como muestra control, y tres más adicionadas con harina de chía en concentraciones de 4, 6 y 8%, posteriormente se evaluaron los parámetros de CRA mediante prueba de centrifugación, tamaño de glóbulo de grasa con microscopia, resistencia a la deformación con penetrómetro y el contenido de proteínas adicionadas mediante el método de Bradford.

Los resultados del presente estudio indican que la adición de harina de chía en una emulsión cárnica provoca una considerable disminución del tamaño de glóbulo de grasa, siendo el lote con concentración de 8% el que formó glóbulos de grasa más pequeños, entre 0.73 y 0.88 μm con un resultado significativamente diferente ($P < 0.05$) con respecto al lote control. En cuanto a la CRA las formulaciones con harina de chía presentaron de entre 0.20 y 0.24 g de agua perdida por cada gramo de muestra, significativamente diferentes a los 0.13 g de agua perdida por gramo de la muestra control ($P < 0.05$). La dureza de las salchichas adicionadas con chía, contrario a lo que se esperaba fue menor en comparación a la muestra control (4% = 1.60×10^{-2} N, 6% = 1.21×10^{-2} N, 8% = 1.29×10^{-2} N y C = 1.51×10^{-2} N) obteniendo salchichas con una firmeza por debajo de lo esperado. El aspecto nutricional de la salchicha tipo Frankfurt es uno de los aspectos más fortalecidos por la adición de harina de chía, al verse aumentado casi al 50% el contenido proteico en comparación con la muestra control (C = 0.106 mg/mL y 8% = 0.152 mg/mL). Con base en lo anterior se puede concluir que la adición de harina de chía es una opción viable para la elaboración de embutidos cárnicos como las salchichas al tener efectos favorables tales como disminuir el tamaño de los glóbulos de grasa del sistema, actuar como retenedor de agua, y aumentar su valor nutritivo.

Introducción

La producción y consumo de productos cárnicos procesados se ha incrementado año con año en México, pues de acuerdo con datos del COMECARNE el consumo per cápita de embutidos para el 2016 fue de 8.6 kg y datos del INEGI indican que para el 2014 las salchichas, principalmente Frankfurt y Viena, ocuparon aproximadamente el 50% del consumo total de este tipo de productos, seguido por jamones con un 40% y solo un 10% de otros derivados como tocinos, chorizos y longanizas.

Las salchichas tipo Frankfurt, son productos elaborados básicamente con carne de cerdo, ternera o res, en un porcentaje no menor del 60%; mezclados con grasa de cerdo y emulsificados, sometidos a curación, pudiendo ser ahumados o no, sometidos a cocción y enfriamiento, empacados en un material adecuado para su distribución y conservación en refrigeración, el principal aporte funcional de la carne a una emulsión cárnica son las proteínas pues las carnes magras contribuyen en gran medida a la formación y estabilidad de la emulsión y a las propiedades físicas del producto final (Carballo & Lopez de Torre, 1991).

La preferencia de los consumidores por estos productos cárnicos ofrece la posibilidad de ser vehículos apropiados para la adición de nutrimentos, mejorando los beneficios nutrimentales que ofrecen a los consumidores.

Los hábitos alimentarios en México se han modificado con una preferencia mayor por el consumo de productos industrializados y listos para su consumo, generando con esto una tasa más alta de enfermedades crónico-degenerativas, como obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, etc. Estos antecedentes han despertado el interés de consumidores e investigadores por buscar alimentos saludables y/o funcionales que coadyuven a disminuir este tipo de trastornos alimentarios (Santillán, 2014).

La tendencia mundial hacia una alimentación más saludable busca aumentar el consumo de alimentos funcionales tales como la chía, la cual aporta ácidos grasos

omega 3, proteínas, contiene antioxidantes y fibra dietética que facilita la digestión y mejora la salud general del consumidor (González, 2014).

La harina de chía tiene un gran potencial de aprovechamiento por la industria, debido a sus aptitudes tecnológicas, entre los que destacan el poder aumentar el rendimiento de productos cárnicos como embutidos, asimismo a evitar la deformación de productos reestructurados al ser cocidos, como las pastas de carne empanizadas, y a su vez, proteger los alimentos congelados de la sinéresis tras los procesos de descongelamiento o cocimiento (Reyes, 2006).

Por lo que en este proyecto se plantea la posibilidad de utilizar las propiedades funcionales de la harina de chía (*Salvia hispánica*), como la capacidad emulsificante de sus proteínas y la alta capacidad de retención de agua de sus fibras dietéticas, para evaluar su efecto en la estabilidad de una emulsión cárnica de salchicha tipo Frankfurt y al mismo tiempo crear un alimento con un alto aporte nutritivo en comparación con una formulación tradicional.

1. Marco teórico

1.1. Carne

De acuerdo con la NOM-194-SSA1-2004 la carne es la estructura muscular estriada esquelética, acompañada o no de tejido conectivo, hueso y grasa, además de fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos; proveniente de los animales para abasto, que no ha sido sometida a ningún proceso que modifique de modo irreversible sus características sensoriales y fisicoquímicas; se incluyen las refrigeradas o congeladas.

El *Codex Alimentarius* define a la carne como todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin (RCP/CAC 58, 2005).

La carne está constituida por agua, proteínas, lípidos, sales y carbohidratos. La composición varía según la clase de carne; por esto cada clase tiene su propia aplicación en los distintos productos cárnicos, y determina la calidad de estos, factores que influyen en la composición de la carne pueden ser intrínsecos como la influencia del tipo genético, el sexo, o la edad; también pueden existir factores extrínsecos como la aplicación o no de promotores de crecimiento, entre otros (Prändl O, 1994).

La carne de cerdos jóvenes es recomendable para la elaboración de embutidos escaldados y cocidos debido a su elevada CRA, siendo ideal para la elaboración de Salchichas.

1.1.1. Transformación del músculo en carne

El proceso de obtención de carne inicia con el traslado de los animales de abasto a la planta de sacrificio; ésta y todas las operaciones *premortem* provocan un estado de estrés, por lo que es necesario mantener las condiciones que coadyuvan al bienestar animal. El sacrificio desencadena múltiples cambios bioquímicos que llevan a la transformación del tejido muscular a carne.

Este proceso se puede dividir en tres etapas, *pre rigor* caracterizada por que el músculo es aun elástico, *rigor mortis* y resolución, el tiempo en el que ocurre esa transformación depende de varios factores, particularmente de la especie animal y del método de sacrificio (Hui, 2006).

La etapa de *pre rigor* comienza al morir el animal, pues sus diversos tejidos, prosiguen sus particulares tipos de metabolismo mediante control local, y aún que el músculo no se contrae activamente, la energía se sigue utilizando para mantener su temperatura y la integridad orgánica celular. El cambio más inmediato al desangramiento, después del sacrificio, es la interrupción del aporte de oxígeno sanguíneo a los músculos, a medida que disminuye la concentración de oxígeno muscular descende el potencial oxido-reducción, imposibilitándose la re-síntesis del ATP, dando inicio la glucólisis anaerobia transformando el glucógeno presente en el músculo en ácido láctico, lo que provoca una reducción del pH debido a la acumulación del mismo.

La caída normal de pH en la musculatura del cerdo consiste en un descenso gradual desde un pH aproximadamente de 7 en el músculo vivo hasta 5.6-5.7, transcurridas 6-8 horas desde el sacrificio, para alcanzar un pH último de 5.3-5.8 24 horas *post mortem* (Lawrie, 1998).

El *rigor mortis* se presenta después de la muerte, de 6 a 12 horas en bovino, 15 min a 3 horas en cerdo, en donde el tejido muscular se encuentra en un estado de rigidez sostenida e inextensible. El desarrollo de la glucólisis anaerobia en el músculo y producción de ácido láctico se acompaña de una reducción de las

reservas de glucógeno. Al igual que el glucógeno, las reservas del fosfato creatina disminuyen gradualmente debido a que es utilizado para la re-fosforilación del ADP a ATP. El ciclo de contracción-relajación se detiene debido a la falla de los mecanismos que sintetizan ATP, por lo que la elasticidad muscular se pierde paulatinamente hasta llegar a un estado de contracción sostenida por la formación irreversible del complejo acto-miosina (Hui, 2006).

Misma reacción química que se da en vida durante la contracción muscular. La diferencia entre el estado vivo y el de *rigor* es que en el último la relajación es imposible, ya que no se dispone de energía para separar la acto-miosina (Forrest, 1979).

La resolución del *rigor mortis* permite que el tejido muscular recupere gradualmente su suavidad, esto se debe a la degradación de proteínas como la actina y miosina por acción de enzimas endógenas y exógenas como las calpaínas y catepsinas y que dan como resultado la pérdida de tensión y cambios en la estructura de las miofibrillas (Hui, 2006).

1.1.2. Calidad de la carne

Los cambios bioquímicos que ocurren después del sacrificio de los animales, dependen en gran medida de sus reservas de glucógeno, ya que si no hay glucógeno, no habrá producción de ácido láctico y el pH no descenderá lo suficiente para que ocurra una maduración apropiada, favorecida esta por enzimas proteolíticas denominadas catepsinas, además, será más susceptible la carne al ataque microbiano.

Un rápido descenso del pH durante las primeras horas *post-mortem*, generará carne PSE (*pale, soft exudative*, por sus siglas en inglés), esta condición anormal es ocasionada por estrés excesivo durante la matanza. Por otra parte, valores de pH después de 24 h mayores a 6.2 son indicativos de carne DFD (*dark, firm, dry*,

por sus siglas en inglés), resultado de un ayuno excesivo y/o estrés prolongado previo a la matanza (Figura 1).

Cabe resaltar con base en lo anterior, que las características de color, jugosidad y textura, además de otras propiedades como la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de emulsión (CE), dependen entonces en gran medida del pH de la carne, por lo que estos parámetros se consideran los principales indicadores de la calidad de la carne fresca, así como de su aptitud tecnológica para la elaboración de productos cárnicos (Badui, 2006) (Pérez, 2013).

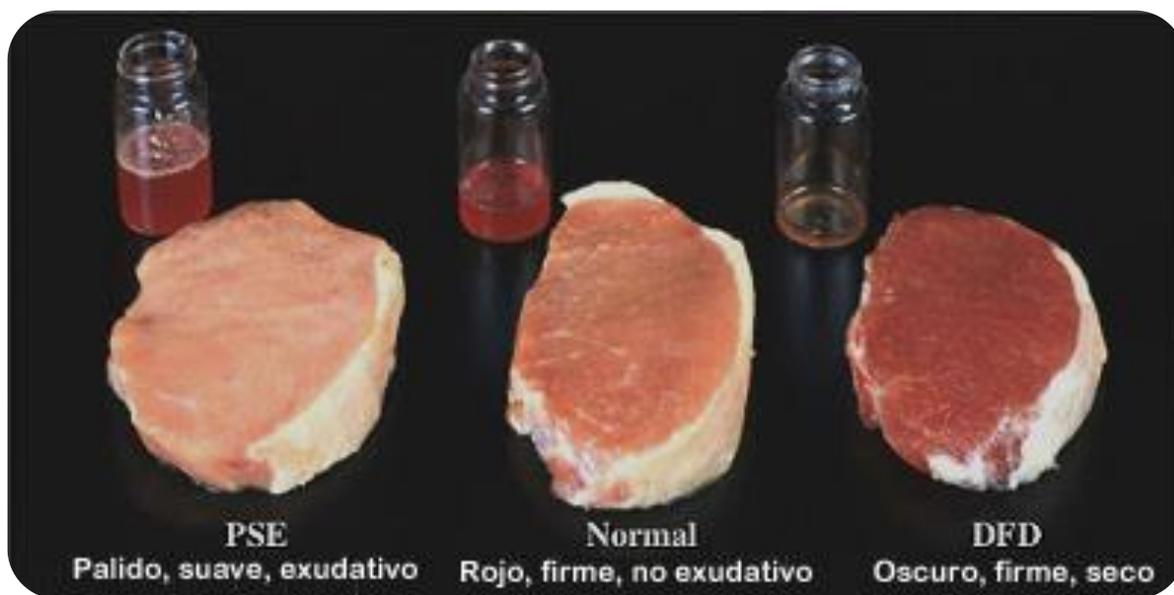


Figura 1. Comparación carne PSE, DFD y normal
Fuente: <http://bioquimicadelacarne.blogspot.mx/2012>, 2012

1.2. Composición química

En general la carne tiene una composición de 71-76 % de agua, 17-21 % de proteínas, de 1-7 % de lípidos y 2,5-3 % de sustancias solubles no nitrogenadas (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003), la cual variará dependiendo del corte, de la especie de animal, de la raza y de su régimen alimenticio, entre otros (cuadro 1).

Cuadro 1 . Composición general de la carne	
	%
Agua	75.0
Proteína	19.0
Miofibrilar	(11.5)
Miosina, actina tropomiosina, troponina, actinas	
Sarcoplásmicas	(5.5)
Gliceraldehído, aldosa, mioglobina, hemoglobina	
Tejido conjuntivo	(2.0)
Colágeno, elastina	
Lípidos	2.5
Carbohidratos	1.2
Glucógeno, glucosa, ácido láctico	
Misceláneos	
Vitaminas, compuestos inorgánicos (minerales), componentes nitrogenados	2.3

Fuente: Hoogenkamp, 2005

De acuerdo con la FAO, la carne magra de cerdo presenta una composición química con un alto contenido en proteínas, como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2 . Composición química de la carne de cerdo

	%
Agua	75.0
Proteína	22.8
Lípidos	1.2
Cenizas	1.0

Fuente: FAO, 2007

1.2.1. Agua

Cuantitativamente, el agua es el constituyente más abundante de la carne, inmediatamente después del sacrificio, puede contener alrededor del 75% de agua (Lawrie, 1998).

La mayoría del agua en la carne se mantiene dentro de los músculos y células musculares. Específicamente, en la célula muscular, se encuentra agua dentro de las miofibrillas, entre las miofibrillas mismas y entre las miofibrillas y la membrana celular (sarcolema), entre células musculares y entre haces musculares (grupos de células musculares) (Offer & Cousins, 1992).

Del total del agua contenida en el músculo, el 70% se encuentra en las proteínas miofibrilares, 20% en las sarcoplásmicas y un 10% corresponde al tejido conectivo.

El contenido de agua en la carne varía inversamente con el de grasa: si aumenta el contenido de grasa, el de agua decrece, aproximándose al contenido de agua del tejido adiposo, cercano al 10%. La presencia del agua influye poderosamente en los cambios que ocurren en la carne durante la refrigeración, almacenamiento y procesamiento (Hamm, 1960).

1.2.2. Proteínas de la carne

Las proteínas son polímeros de aminoácidos que se unen entre sí por enlaces peptídicos. Cada especie animal e incluso cada tejido tiene sus propias proteínas características, la mayor parte de las cuales son materias constitutivas de los tejidos blandos del organismo, y otras desempeñan su función como enzimas, que catalizan todos los procesos bioquímicos. Una pequeñísima fracción tiene acción hormonal e inmunológica (Carballo & Lopez de Torre, 1991).

La proteína es el componente más importante de la carne y en contenido ocupa el segundo lugar después del agua. De acuerdo con su procedencia las proteínas del músculo se clasifican en: miofibrilares, sarcoplásmicas y del tejido conectivo (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003). En el cuadro 3 se muestra la distribución de las proteínas en el tejido muscular y su clasificación.

Cuadro 3. Distribución de las proteínas en el tejido muscular

Tipo de proteínas	Base húmeda (%)	Base seca (%)
Miofibrilares o contráctiles		
Miosina	5.0	25.0
Actina	2.5	12.5
Tropomiosina	0.8	4.0
Troponina	0.8	4.0
Actinina	0.3	1.5
Otras	0.6	3.0
Total	10.0	50.0
Sarcoplásmicas o solubles		
Enzimas	6.0	30.0
Mioglobina	0.6	3.0
Otras	0.4	2.0
Total	7.0	35.0
Proteínas del tejido conectivo		
Colágeno	1.5	7.5
Elastina	0.1	0.5
Otras	1.4	7.0
Total	3.0	15.0

Fuente: Badui, 2006

1.2.2.1. Miofibrilares

Estas proteínas son de significativa importancia en los atributos de la calidad de la carne *post mortem*, están muy relacionadas con el *rigor mortis*, la terneza y la capacidad de retención de agua que tendrán vez convertida en carne, son las que conforman estructuralmente el tejido muscular dándole rigidez, soporte y son las que transforman la energía química en mecánica durante la contracción y relajación de los distintos músculos.

Las proteínas miofibrilares es la fracción más abundante ya que equivale a 50% del total de proteínas de la carne; son solubles en soluciones salinas concentradas y sus principales componentes son la miosina, la actina, la tropomiosina, la troponina y la actinina (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003) (Badui, 2006).

Las proteínas miofibrilares están clasificadas en tres categorías: contráctiles, reguladoras y del citoesqueleto.

Contráctiles

Miosina: Es la más abundante de las proteínas miofibrilares; representa del 55 a 60% de las proteínas totales, y constituye el 35% de todas las proteínas del tejido muscular (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003).

Tiene una estructura helicoidal con 55% de α -hélice, integrada por dos cadenas fibrosas rígidas semejantes enrolladas entre sí (cola), que terminan en una doble cabeza constituida a su vez por cuatro cadenas polipeptídicas.

La molécula en su conjunto mide 1,600 Å de longitud, 20 Å de diámetro, y tiene una cabeza de 50 Å; su peso molecular es de 480 kDa, es rica en lisina y en ácido glutámico. La cabeza tiene actividad enzimática y posibilidad de interactuar con la actina para producir la acto-miosina; hidroliza el ATP en ADP y fosfato inorgánico,

con liberación de la energía necesaria para el trabajo mecánico del músculo, en una reacción que se activa por iones calcio, pero que se inhibe por el magnesio (Figura 2).

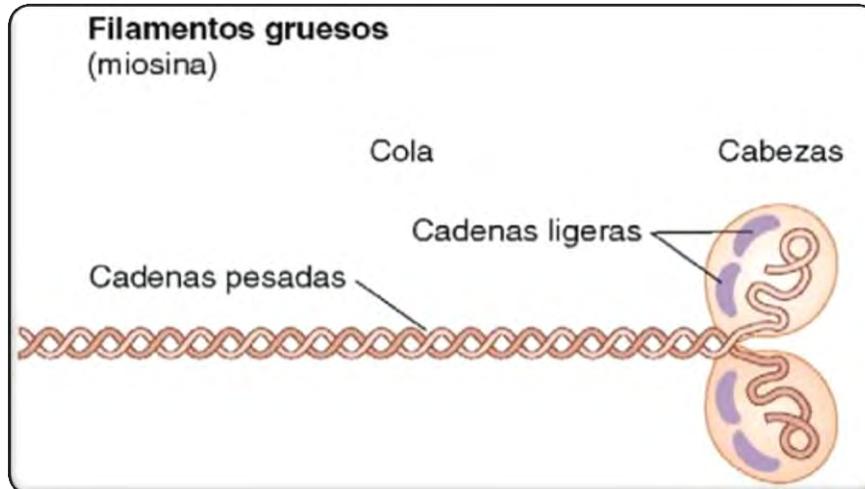


Figura 2. Estructura de miosina
Fuente: Vereau, 2014

Actina: La actina (Figura 3) es la segunda proteína miofibrilar de mayor importancia que presenta dos fracciones: la G (actina globular) y la F (actina fibrosa); la primera tiene un peso molecular de 46,000 Da y consta de 450 aminoácidos aproximadamente; es esférica con un diámetro de 55 Å, presenta 30% de conformación de α -hélice y contiene una molécula de ATP; la actina F se produce por la polimerización de la fracción G en presencia de magnesio y se combina con la miosina para formar la acto-miosina.

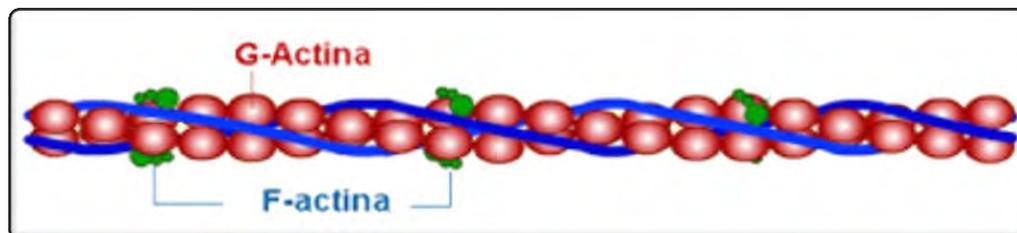


Figura 3. Estructura de actina
Fuente: Vereau, 2014

Acto-miosina: El complejo de acto-miosina (Figura 4) se disocia en presencia de ATP y de iones magnesio, tiene una mayor actividad enzimática para hidrolizar ATP, que se favorece por la presencia de Ca^{2+} y Mg^{2+} ; esta molécula está directamente relacionada con el fenómeno de la contracción y de la relajación muscular (Badui, 2006).

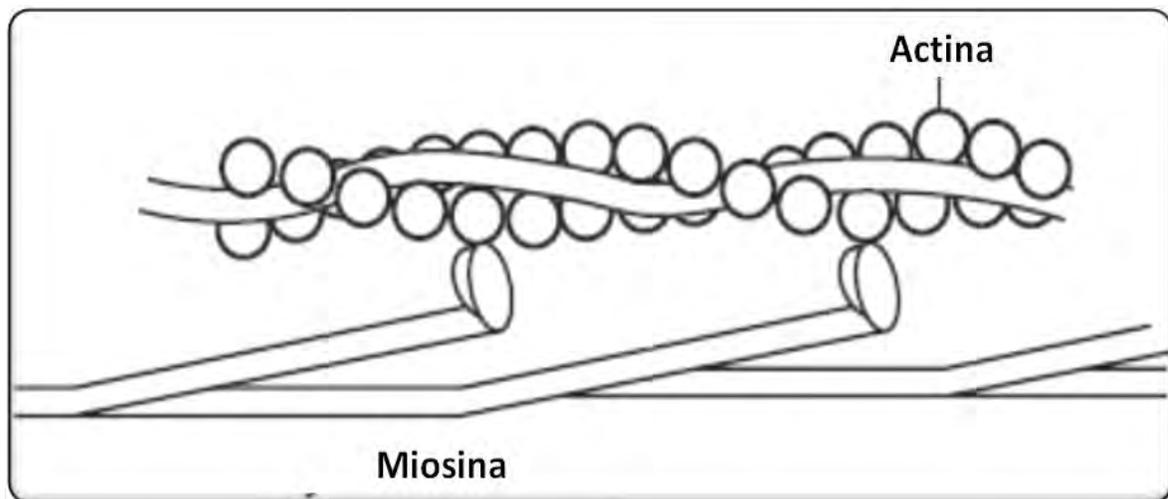


Figura 4. Complejo acto-miosina

Fuente: <http://www.anatomiahumana.ucv.cl/>, 2004

Reguladoras

Tropomiosina: Representa del 10 al 12 % de las proteínas contráctiles. Ejerce juntamente con la troponina una función reguladora e imparte estabilidad mecánica a los filamentos debido a su alto contenido de alfa-hélice (Figura 5). Forma un complejo con la F-actina, con la cual tiene gran afinidad (Badui, 2006).

Está formada por dos tipos de proteínas: Tropomiosina A: insoluble en agua, se encuentra en los moluscos. Tropomiosina B: hidrosoluble, se encuentra en todos los músculos, tiene un peso molecular de aproximadamente 130 kDa, del 80 al 100 % en alfa hélice, está formada por dos cadenas peptídicas que poseen casi por completo una configuración alfa-helicoidal y están enroscadas una sobre otra constituyendo una estructura parecida a la de la cola de la miosina.

La funcionalidad de la tropomiosina radica en su unión estequiométrica con la actina (1:7 moléculas) y en su unión a la troponina (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003).

Troponina: Es la segunda proteína reguladora, globular y de gran tamaño, su peso molecular es de 80 kDa y tiene gran afinidad por el calcio por encima de un umbral de concentración de 10^{-6} M. La troponina se localiza en el filamento fino con una periodicidad de 40 nm y está unida a la tropomiosina. Contiene tres subunidades polipeptídicas con propiedades específicas: Fijadora de los iones calcio, Inhibidora y fijadora de actina.

Actinina: Se conocen cuatro tipos: α -actinina, β -actinina, γ -actinina y euactina. En el músculo parecen ejercer funciones reguladoras. Activan fuertemente la interacción de la actina-F, inhiben la tropomiosina B y por lo tanto influyen en el proceso de unión del ión calcio. Poseen una composición aminoacídica similar a la de la actina. La α -actinina es la de mayor tamaño con un peso de 95 kDa. Se considera que la α -actinina puede tener participación en ablandamiento del músculo *post mortem* (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003).

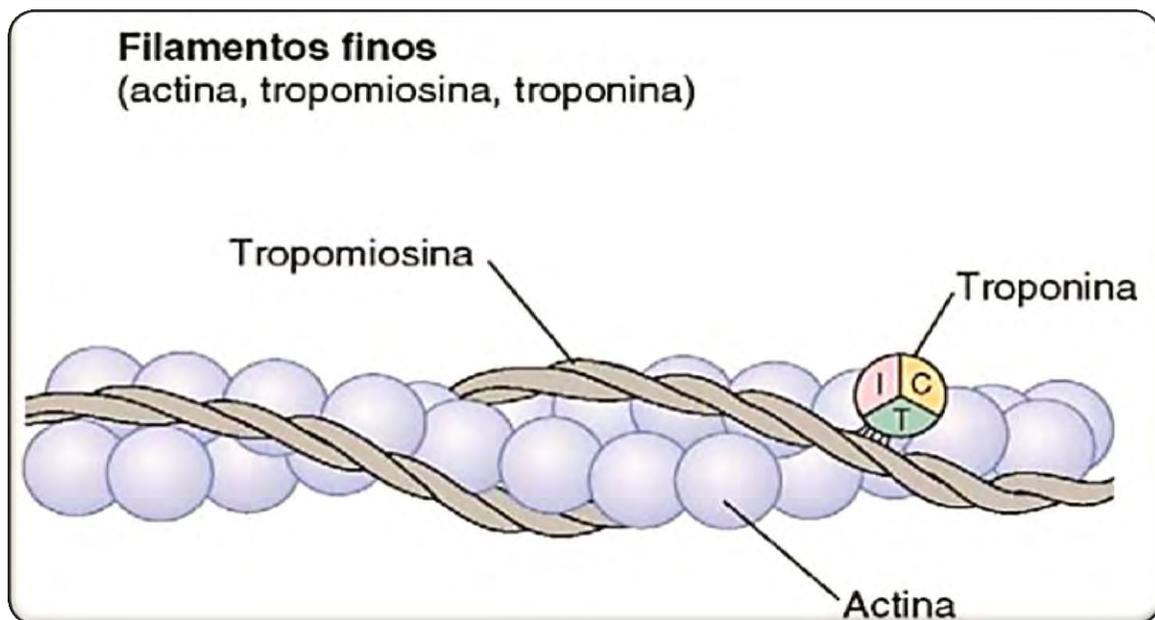


Figura 5. Estructura de actina, troponina y tropomiosina
Fuente: Vereau, 2014

Del citoesqueleto

Estas proteínas desempeñan un papel estructural en la arquitectura de la miofibrilla y de la célula muscular. Se cree que dan continuidad mecánica a lo largo de la miofibrilla, y que en última instancia son las que proporcionan la elasticidad a la fibra. Las más importantes son la conectina o *titina*, *desmina*, *nebulina* y α -*actinina*.

La proteína *titina* o *conectina*, está implicada en las condiciones elásticas del músculo, es una proteína elástica con un peso molecular alto, alrededor 3000 kDa y es la principal fuente de elasticidad en el sarcómero puesto que puede estrecharse 4 veces su longitud. La *desmina* tiene un peso de 55 kDa y forma los clásicos filamentos intermedios.

La *nebulina* tiene un peso molecular de aproximadamente 500 kDa. Se llama así porque se localiza en la estriación nebulosa a ambos lados de la línea Z. Su función es unirse a la *alfa-actinina* y puede formar sistemas filamentosos extendiendo la línea Z (Figura 6).

La α -*actinina* es una de las proteínas actininas que está localizada en la línea Z. Está uniformemente distribuida en el interior de la línea Z y es una sustancia que actúa como cemento para fijar los filamentos de actina a la línea Z (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003).

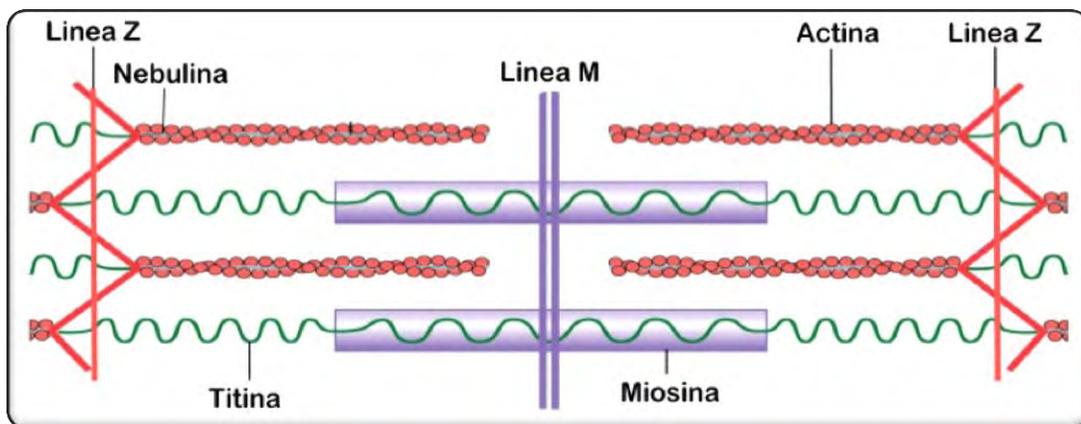


Figura 6. Estructura de actina, titina y nebulina
Fuente: Vereau, 2014

1.2.2.2. Sarcoplásmicas

Estos polipéptidos también se conocen con el nombre genérico de miógeno; son fundamentalmente globulinas y albúminas pertenecientes a los sistemas que intervienen en el metabolismo celular, como el de la glucólisis, al igual que enzimas como las catepsinas, la creatina kinasa y la mioglobina. Este grupo de proteínas se caracteriza por ser buenos agentes emulsificantes y por retener una gran cantidad de agua, lo que evita pérdidas de humedad durante el proceso de cocción de los distintos productos cárnicos, tienen la capacidad de coagular y formar geles cuya textura es muy deseable en diversos alimentos (Badui, S. 2006).

Mioglobina: La mioglobina es una proteína globular que consta de una proteína compuesta por unos 150 aminoácidos, la globina y un grupo prostético *HEMO* que tiene un átomo de hierro que puede estar en su forma oxidada (Fe^{3+}) o reducida (Fe^{2+}). Esta proteína retiene al oxígeno dentro del tejido muscular que se consume durante el metabolismo; además es responsable del color de la carne pues si bien la cantidad de mioglobina presente en el músculo influye en el color de la carne, las formas redox de esta molécula también pueden ocasionar defectos en la coloración dando origen a las cuatro formas redox de la mioglobina y cada una de estas a su vez otorga atributos de color particulares (Figura 7).

La desoximioglobina da como resultado un color rojo purpura, un color típico en el interior de la carne fresca y envasada al vacío debido a la disminución de presión parcial del oxígeno, eliminando todas aquellas moléculas de O_2 que están libres sin interactuar con la mioglobina, evitando la oxidación y provocando la presencia de una forma más estable y constante de desoximioglobina (Figura 7).

La oximioglobina es la forma oxigenada de la mioglobina presentando un pigmento color rojo brillante y es el pigmento deseable en la carne fresca, este mismo pigmento presenta la carboximioglobina que se forma al reaccionar moléculas de mioglobina con CO_2 .

La metamioglobina se forma por la oxidación de la mioglobina presentando un pigmento marrón parduzco y es incapaz de ligar oxígeno, siendo este el color típico de la carne almacenada durante mucho tiempo y signo de mala calidad (Figura 7) (Carballo & Lopez de Torre, 1991) (AMSA, 2012) (Varnam, 1995).

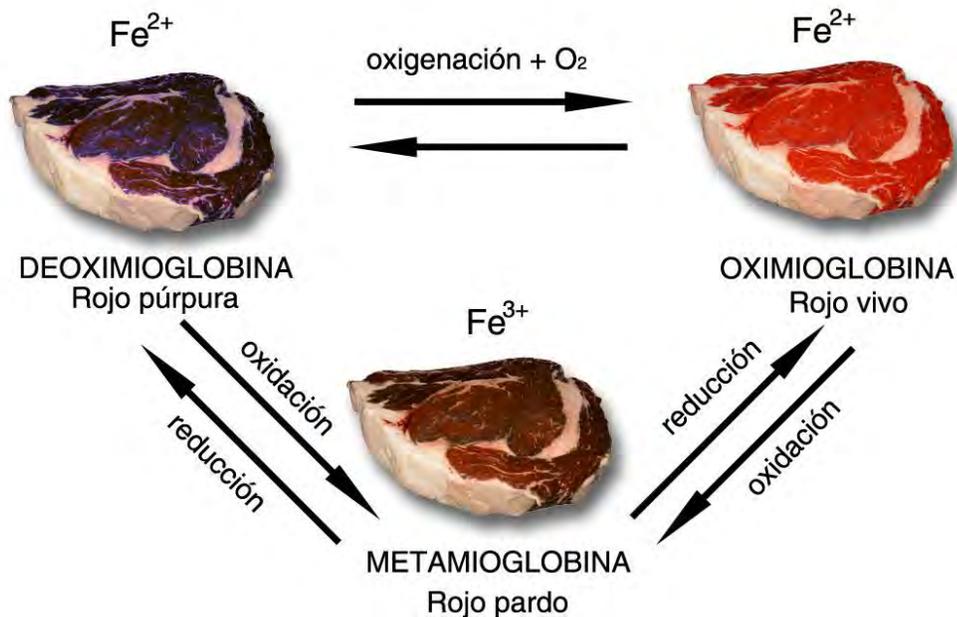


Figura 7: Reacción del color de la carne

Fuente: <https://whykitchen.wordpress.com>, 2013

1.2.2.3. Del tejido conectivo

Éste es un grupo muy abundante de polipéptidos; conforman el tejido conectivo de los tendones, la piel, el hueso y las capas más rígidas que envuelven y soportan los músculos, como el endomisio, el perimisio y el epimisio. En conjunto, este grupo de compuestos representa aproximadamente 35% de las proteínas totales de un animal vivo, pero en cuanto a tejido muscular (carne) sólo equivale a 3%.

Colágeno: El colágeno es la proteína más abundante de todas las proteínas de los vertebrados superiores y constituye alrededor de un tercio de la proteína total del cuerpo, está constituido por diversas fracciones: contiene 33% de glicina, 12% de

prolina, 11% de alanina y 10% de hidroxiprolina, es deficiente en aminoácidos indispensables, principalmente lisina y triptófano (Andújar, Pérez, & Venegas, 2003) (Badui, 2006).

1.2.3. Lípidos

Después de las proteínas, los lípidos son los componentes mayoritarios presentes en la carne y los productos cárnicos. Tienen gran importancia por las transformaciones bioquímicas que presentan durante la elaboración de productos cárnicos.

Los lípidos de la carne son esencialmente triglicéridos. Los lípidos de diferentes músculos tienen diferentes propiedades, esta variación se relaciona con la composición de los triglicéridos que los constituyen, y por último, con los ácidos grasos. Estos varían de acuerdo con las especies animales, y con la posición del músculo en el cuerpo, la dieta, edad, sexo, raza, el peso y castración del animal.

Los lípidos se encuentran en adipocitos que están constituidos por un 5-20% de agua, 2.5% de tejido conjuntivo y un 70-90% de lípidos, principalmente triglicéridos. En la carne los lípidos se localizan en el tejido adiposo (subcutáneo e intramuscular que separa haces musculares) y en el tejido muscular.

La grasa del tejido adiposo está constituida en su mayoría de triglicéridos, mientras que la grasa intramuscular contiene una proporción de fosfolípidos y colesterol.

Los fosfolípidos desempeñan un papel muy importante en la relación con la conservación de la carne y productos cárnicos, porque se oxida con gran facilidad.

El colesterol se encuentra en los tejidos animales en forma libre o esterificada con ácidos grasos de cadena larga (Carballo & Lopez de Torre, 1991) (Varnam, 1995) (Yúfera, 1979).

1.3. Propiedades funcionales

El término de propiedades funcionales de la carne es consecuencia del comportamiento físicoquímico de sus proteínas musculares durante el procesamiento de la carne. Incluyen la formación de los sistemas cárnicos debido a propiedades relacionadas tales como la capacidad de retención de agua (CRA), hinchamiento de las fibras, solubilidad/extractibilidad, gelificación, emulsión y adhesión/unión.

Aunque las proteínas musculares solubles o sarcoplásmicas, pueden ser además excelentes tensoactivos y, por lo tanto, son capaces de estabilizar espumas, sin embargo, su comportamiento espumante se considera generalmente negativo (Huff-Lonergan, 2010).

1.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

El agua presente en la carne o en los productos cárnicos puede ser tanto endógena como exógena, incorporada al producto durante su proceso (bombeada, inyectada, etc.). Físicoquímicamente, el agua en la carne existe ya sea en forma ligada o en estado libre. El agua ligada está estrechamente asociada con las proteínas a través de enlaces de hidrógeno, que están influenciados por la carga superficial y la polaridad de las proteínas. En la carne intacta, el agua libre se mantiene por capilaridad en diferentes compartimentos: en los espacios entre los miofilamentos, entre las miofibrillas y fuera de las fibras. En los productos cárnicos procesados como son los embutidos, una gran parte del agua se retiene por interacción en la matriz de geles proteínicos miofibrilares y, en algunos casos, geles de colágeno.

La CRA de la carne se define entonces como la capacidad del músculo *post mortem* (carne) para retener el agua adicionada, aunque se le apliquen distintas condiciones (por ejemplo, centrifugación, calentamiento). Uno de los problemas más frecuentes de la calidad de la carne de cerdo, es la pérdida de humedad inaceptablemente alta (a menudo descrita como purga o pérdida por goteo) con mermas elevadas en productos frescos y mínimamente procesados. La CRA de la

carne también puede influir en las características de procesamiento. La carne con baja capacidad de retención de agua a menudo tiende a producir productos procesados de menor calidad (Xiong, 2004) (Huff-Lonergan, 2010).

Varios factores influyen en la CRA como: concentración de proteínas, grado de desnaturalización, temperatura, concentración de sal y presencia de compuestos de bajo peso molecular como azúcares o alcoholes.

En general a medida que aumenta la concentración de proteína y la temperatura del medio, también aumenta la cantidad de agua ligada, debido a la formación de geles proteicos, en los que el agua se asocia con la superficie de las proteínas por puentes de hidrógeno y se atrapa dentro de los poros de la red proteica.

Otro factor que influye en la CRA de la carne es la concentración de sal pues al aumentar en el medio, los iones de sodio y el cloro se unen a los grupos cargados de las proteínas, debilitando las interacciones entre fibras, lo que permite que se retenga mayor cantidad de agua debido a que hay menos interacciones proteína-proteína y más interacciones proteína-agua (Hui, 2006).

En la formación de una emulsión cárnica la interacción proteína-agua tiene como consecuencia una mayor CRA, estabilizando el sistema y evitando la separación de fases durante la cocción (Carballo & Lopez de Torre, 1991).

1.3.2. Capacidad emulsificante (CE)

Como la mayoría de las proteínas, las proteínas musculares son moléculas anfóteras que poseen grupos polares y apolares. Por lo tanto, a la entrada de energía mecánica a través del proceso de cizallamiento, conocido como emulsificación, pueden adsorberse en la interfase grasa-agua, donde los grupos hidrófobos se anclarán en la grasa y los grupos hidrófilos se extenderán en la fase acuosa. Dicha orientación estructural en la interfase grasa-agua es favorecida con un proceso de molienda lenta y continua para reducir así el tamaño de partícula de grasa al intervalo de 1-10 micrómetros mientras se extrae la miosina o la acto-miosina necesarias para favorecer una mayor interacción con el agua y las

partículas de grasa en la formación del sistema cárnico emulsionado y una mayor estabilidad del mismo.

La CE de la miosina es superior a cualquier otra proteína de la carne, debido a la distribución desigual de aminoácidos polares y no polares en diferentes segmentos de miosina, es decir, una prevalencia de residuos hidrofóbicos en la región de cabeza o el subfragmento S-1 y una preponderancia de grupos hidrofílicos en la porción de cola, convierte a la miosina en un emulsionante ideal. Además, la miosina tiene una relación de longitud a diámetro elevada (aproximadamente 40:1), una estructura destinada a la interacción proteína-proteína y otorga flexibilidad molecular en la interfase.

Por otra parte, debido a su insolubilidad, el colágeno no participa directamente en el proceso de emulsificación de la carne (Xiong, 2004).

1.4. Productos cárnicos procesados

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002 los productos cárnicos procesados son aquellos elaborados a partir de carne, vísceras, estructuras anatómicas, sangre o sus mezclas, provenientes de mamíferos o aves y que posteriormente son sometidos o no a un proceso térmico, curado o madurado.

Los productos cárnicos procesados se clasifican en:

- Crudos
- Cocidos
- Curados
- Madurados
- Desecados, secos o salados
- Empanados o rebozados congelados
- Fritos

1.4.1. Productos cárnicos curados y cocidos

De acuerdo con la NOM-213-SSA1-2002 los productos cárnicos cocidos son aquellos elaborados con carne, vísceras, sangre o sus mezclas, curados o no y que son sometidos a un proceso térmico. Estos productos pueden presentarse enteros, en cortes, emulsionados (como es el caso de las salchichas) o troceados.

Por otra parte, también establece que los productos cárnicos curados serán aquellos a los que se agregan por vía húmeda o seca, sal o azúcares, nitratos o nitritos, independientemente de que sean sometidos a algún tratamiento térmico, a maduración o se manejen crudos.

Por lo tanto, productos emulsionados como las salchichas estarían clasificados dentro de los productos cárnicos cocidos y curados al adicionarse sales para favorecer la formación de la emulsión y ser sometidas a cocción.

1.4.2. Salchicha tipo Frankfurt

La Norma Mexicana NMX-F-065-1984 establece que las salchichas tipo Frankfurt, Viena y Cocktail son productos cárnicos elaborados básicamente de carne de cerdo, ternera o res y sus mezclas en un porcentaje no menor del 60%; mezclados con grasa de cerdo y emulsificados, sometidos a curación, pudiendo ser ahumados o no, sometidos a cocción y enfriamiento, empacados en un material adecuado para su distribución y conservación en refrigeración (cuadro 4).

Además, se establecen algunas características físicas dependiendo del tipo de salchicha.

Cuadro 4. Dimensiones características según el tipo de embutido

Dimensiones	Viena (mm)	Frankfurt (mm)	Cocktail (mm)
Diámetro	14-26	20-33	14-26
Longitud	50-300	80-300	30-65

Fuente: NMX-F-065-1984

1.4.2.1. Funcionalidad de los ingredientes

Carne: El principal aporte funcional de la carne a una emulsión cárnica serán las proteínas pues las carnes magras contribuyen en gran medida a la estabilidad de la emulsión y a las propiedades físicas del producto final.

Durante la molienda, como se explica antes, ocurre la formación de la emulsión, donde las proteínas desempeñan dos funciones: como emulsificantes y mediante su interacción con el agua.

Si cualquiera de estas funciones no se lleva a cabo adecuadamente, el embutido será inestable y susceptible a la separación de las fases durante la cocción (Carballo & Lopez de Torre, 1991).

Agua: Es el componente predominante en los embutidos cocidos, donde alcanza aproximadamente el 45-55% del peso total, varía dependiendo de la cantidad añadida durante la preparación, así como también la relación carne magra/grasa del embutido.

Las proteínas cárnicas deben estar solubilizadas y dispersadas para funcionar eficazmente. El agua sirve como disolvente de la sal que forma la salmuera, necesaria para extraer las proteínas solubles en soluciones salinas. Si no hay suficiente agua en una emulsión, limitamos la capacidad emulsificante potencial de la carne (Carballo & Lopez de Torre, 1991).

Hielo: La adición de hielo en la formulación es necesaria debido al aumento de la temperatura durante la molienda, pues durante la formación de la emulsión es necesario mantener una temperatura baja para evitar la desnaturalización de las proteínas por el aumento de la temperatura y lograr así mantener estable al sistema.

Lardo: Los lípidos contribuyen en gran medida a la palatabilidad de los embutidos, también influyen en la dureza y jugosidad de los embutidos cocidos. La grasa se añade a las emulsiones en forma de recortes grasos de vacuno o cerdo. La grasa se utiliza en los embutidos de un 15 a 20% del peso final. Es muy importante en

las emulsiones cárnicas, ya que la grasa se mezclará con la carne para formar una pasta homogénea, característica básica de las salchichas y de otros embutidos emulsificados. La grasa tiene diferentes funciones en los embutidos, como aportar ácidos grasos esenciales, ser una fuente de energía y proporcionar sabores agradables al alimento (Guerrero & Arteaga, 1990).

Sal: La sal común o cloruro sódico se viene usando desde tiempos remotos en el procesado de carne, gracias a su capacidad de reducir la actividad de agua, facilitando así su conservación, además de contribuir a la sazón. Además de las funciones ya mencionadas, tecnológicamente la sal juega un papel importante en la solubilización de las proteínas cárnicas y en la expansión de sus estructuras cuaternarias, ya que supone el principal aporte a la fuerza iónica del producto, debilitando las uniones electrostáticas existentes entre los grupos $-\text{COO}^-$ y $-\text{NH}_4^+$, contribuyendo, por tanto, a la retención de agua y a la ligazón entre los músculos en el producto terminado (Freixanet, 2010).

Fécula de maíz: En productos de alto rendimiento se usan, para la retención de agua, almidones y féculas, son polisacáridos que gelifican por acción del calor formando una trama tridimensional que retiene abundantes cantidades de agua. La mayoría de almidones gelifican a temperaturas entre 65 y 75 °C, siendo la temperatura de gelificación dependiente también del tamaño de partícula que presenten (Freixanet, 2010).

Harina de chía: La harina de chía al ser un ingrediente con diversos componentes (Aceites, proteínas, fibras, carbohidratos, etc.) tendrá diversas funcionalidades en un sistema, siendo principalmente la alta capacidad de retención de agua por parte de las fibras y su capacidad emulsificante, como se explica en el apartado 1.8.2.

Condimentos: De acuerdo con la NMX-FF-072-1990, condimento es un término que se aplica a todo ingrediente que, bien por sí mismo o en combinación, su función es realzar el sabor de un embutido. Estos pueden ser, por ejemplo: ajo, cebolla, pimienta, paprika, etc.

1.5. Fundamentos fisicoquímicos de las 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 intervalo de 0.1 y 20 μm . Aunque se trate de dispersiones termodinámicamente inestables, las emulsiones pueden convertirse en cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensoactivos que presentan la capacidad de adsorción en las superficies de las gotas. En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra un aceite 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) (Aranberri, 2006); el tipo de emulsión que se forme dependerá de la naturaleza de los constituyentes, del modo de preparación de la emulsión y de las proporciones relativas de los constituyentes (Figura 8).

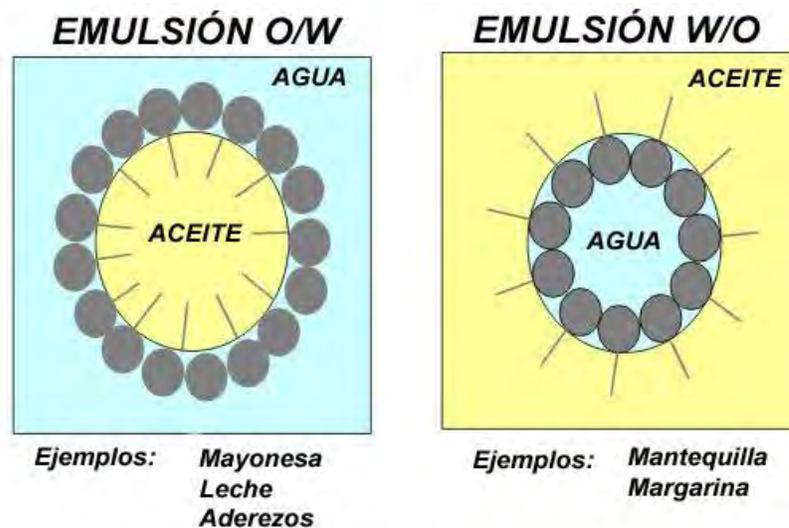


Figura 8. Tipos de emulsiones: Aceite en agua O/W y agua en aceite W/O

Fuente: <http://slideplayer.com>, 2005

1.5.1. Formación del sistema

Para formular una emulsión se requiere: aceite, agua, un emulsificante y energía, generalmente mecánica. Las proteínas como surfactantes son las preferidas para formular emulsiones alimenticias (aceite-agua), debido a que su superficie es activa y favorece la resistencia a la coalescencia. No pueden utilizarse en emulsiones agua/aceite ya que no son solubles en el aceite. Una gran cantidad de alimentos procesados y naturales son emulsiones, como la leche, yema de huevo, leche de coco, leche de soya, mantequilla, margarina, mayonesa, helados, salchichas y pasteles. En todos ellos las proteínas son importantes como emulsificantes (Badui, 2006).

En las emulsiones alimentarias, los dos líquidos que participan son agua y aceite. La fase acuosa puede ser una solución de sal, azúcares y otros ingredientes con afinidad por el agua o hidrofílicos. La fase lipídica puede contener grasas, aceites y otros ingredientes alimentarios con afinidad por la grasa o lipofílicos.

Casi todos los productos alimenticios que presentan sustancias inmiscibles, como agua y aceite, necesitan proteínas para mantener su integridad. Proteínas funcionales como las proteínas globulares de la sangre o las miofibrilares de los tejidos musculares tienen una estructura molecular que les proporciona afinidad por las sustancias que están a uno y otro lado de la interfase, teniendo como resultado una emulsión (Hoogenkamp, 2005).

1.5.2. Estabilidad del sistema

Las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables como ya se mencionó anteriormente, por lo que, al dejarla reposar por algún tiempo, las gotas se agregan pasando primero por el estado conocido como floculación para luego producir la coalescencia y, por último, la separación de dos fases inmiscibles y diferenciables. La floculación es la unión de las gotas pequeñas de fase dispersa

con sus bordes distintivos, y la coalescencia es la formación de una gota mayor sin los bordes de las gotas individuales que han floculado.

Muchas de las partículas presentes en las emulsiones alimenticias pueden favorecer la estabilidad o por el contrario ser una causa potencial de coalescencia, otros factores como la temperatura pueden favorecer estos procesos de desestabilización, por ejemplo, las proteínas tienden a desnaturalizarse a altas temperaturas, causando una floclulación de la emulsión original, el modo de formación de una emulsión también es importante pues se ha observado que si la fase dispersante se adiciona gradualmente, en lugar de toda a la vez, el tiempo requerido para formar la emulsión será menor. También se ha reportado que entre más pequeños sean los glóbulos de la fase dispersa, mayor será la estabilidad de la emulsión formada, por lo que es de suma importancia tomar en cuenta cada uno de estos factores que afectan de forma directa al sistema (Figura 9) (Badui, 2006).

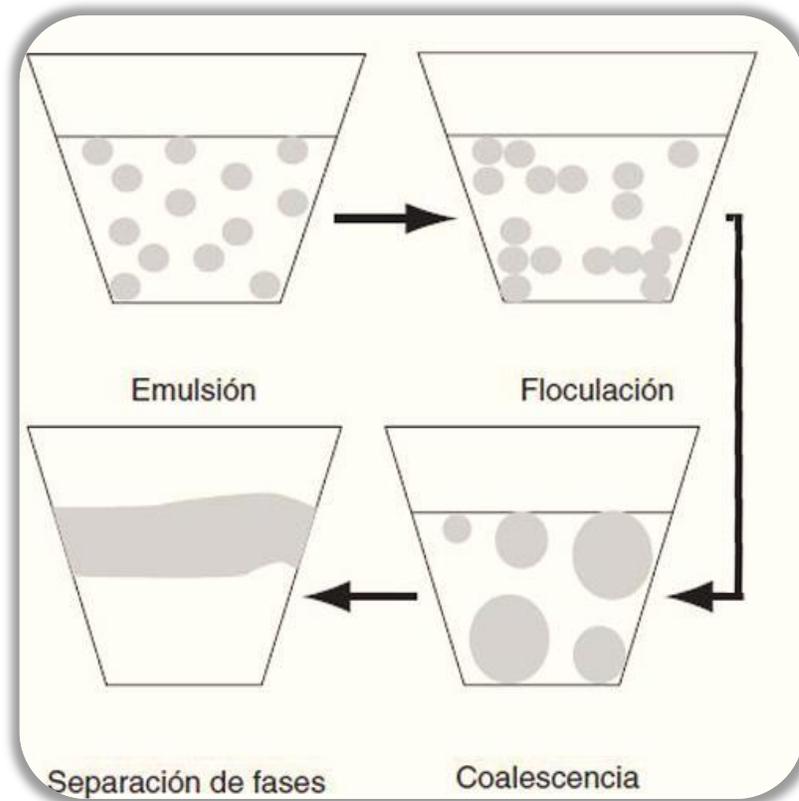


Figura 9. Proceso de floclulación, coalescencia y separación de fases de una emulsión

Fuente: Badui, 2006

1.5.3. Emulsión cárnica

Los productos procesados hechos de carne finamente molida en presencia de grasa y agua se consideran como productos de tipo emulsión. Una emulsión cárnica difiere de la emulsión clásica en que los glóbulos de grasa se dispersan y se estabilizan en un sistema acuoso, pues en este caso la emulsión se conformará por proteínas miofibrilares solubles en sal, proteínas sarcoplásmicas, segmentos de fibras musculares y miofibrillas, fibras de tejido conectivo, fragmentos de colágeno y diversos ingredientes.

Las proteínas musculares tienen una gran capacidad para formar membranas viscoelásticas y flexibles (es decir, un recubrimiento) alrededor del glóbulo de grasa, que es esencial para la estabilidad de la emulsión, esta capacidad emulsificante de las proteínas sigue el orden: miosina > acto-miosina > proteínas sarcoplásmicas > actina > colágeno.

Durante la emulsificación, la miosina (*pre rigor*) o acto-miosina (*post rigor*) se adsorbe rápida y preferentemente en la interfase grasa-agua. Las partículas de grasa sin un recubrimiento de proteína integral pueden quedar inmobilizadas, mientras las que tienen una membrana gruesa y flexible pueden interaccionar, a través de las proteínas adsorbidas con las proteínas en la fase continua, mejorando con ello la estabilidad de la emulsión cárnica. De este modo, las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la membrana de glóbulos grasos y las características viscoelásticas de las matrices de proteína continua contribuyen a la estabilidad de la emulsión en los alimentos de molienda fina (Figura 10).

La presencia de fibrillas de colágeno puede ayudar a fortalecer la encapsulación de la proteína; Sin embargo, al cocinar o elevar la temperatura por encima de 60°C, las fibrillas de colágeno comienzan a encogerse, dando lugar a una desestabilización de la matriz de la emulsión propiciando la rotura de los glóbulos de grasa, por lo que una cantidad excesiva de tejido conectivo debe evitarse para obtener productos cárnicos emulsionados de buena calidad (Xiong, 2004).

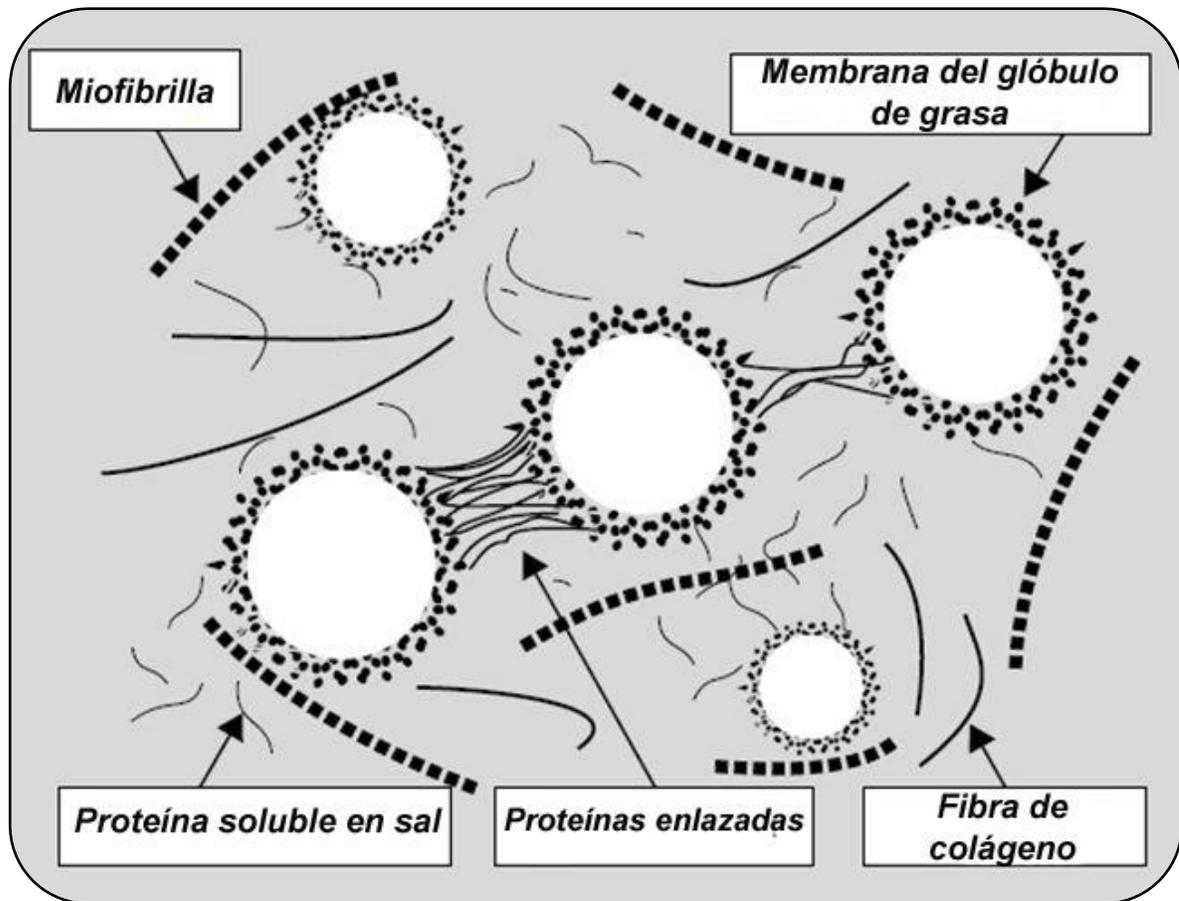


Figura 10. Componentes de una emulsión cárnica
Fuente: Xiong, 2004

1.6. Harina de chía

La Chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta herbácea, anual, perteneciente a la familia de las labiadas (*Lamiaceae*) y originaria de las áreas montañosas de México. Los ejemplares de esta especie pueden alcanzar 1.5 m de altura, con tallos cuadrangulares, acanalados y pilosos. El fruto, al igual que otras especies de la familia *Lamiaceae*, es típicamente un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscentes que se separan para formar 4 mericarpios parciales denominados núculas, comúnmente conocidos como “semillas”, los cuales son monospermicos, ovales, suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares marrones en su mayoría y algunos blancos (Figura 11) (Ixtaina, 2010).

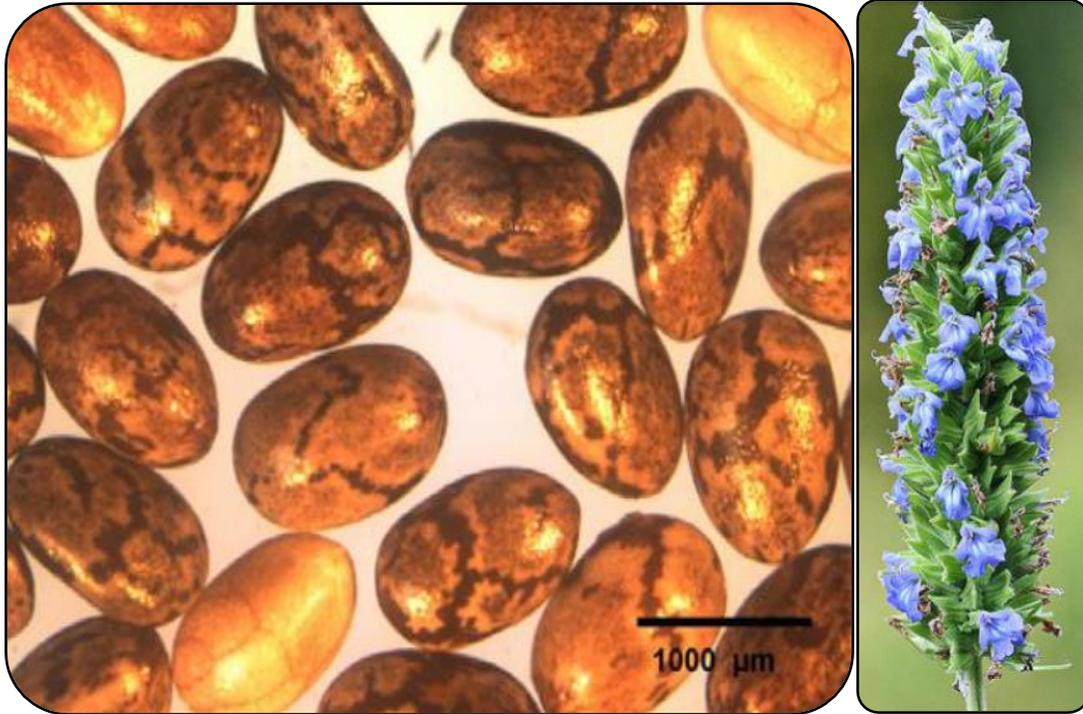


Figura 11. Semillas enteras y flor de chía
Fuente: Sandoval , 2012

Diferentes partes de esta planta están disponibles comercialmente para el consumo humano en todo el mundo, como complementos alimenticios. Las semillas de chía se consumen generalmente como grano entero en jugos de frutas, con leche, en bebidas refrescantes y ensaladas. Más recientemente, la harina de chía comenzó a ser consumida como ingrediente en los productos de panadería y en las industrias de bebidas debido a sus propiedades nutricionales y funcionales, que incluyen la fijación de grasa y una CRA en la formación de geles (Oliveira, 2017).

De acuerdo con las especificaciones de la Comisión Europea, se ha aprobado la utilización de semillas y harina de chía como nuevo ingrediente alimentario en productos alimenticios, pero en cantidades no superiores al 10%, ya que existen incertidumbres respecto a su posible alergenidad (Mesías, 2016).

1.6.1. Composición química

Las semillas de chía poseen propiedades nutritivas únicas, en el cuadro 5 se muestra su composición química donde se puede observar un alto porcentaje de proteínas, además de ácidos grasos esenciales, principalmente Omega 3, fibra dietética, así como vitaminas y minerales, que le da a este producto un alto valor nutritivo.

Cuadro 5 . Composición química proximal de semilla de chía

Grano	Proteínas	Lípidos	CHOS	Fibra	Cenizas
Chía	15-25	30-33	26-41	18-30	4-5

Fuente: Gonzáles, 2014

1.6.2. Propiedades funcionales

Además de las características nutrimentales que la semilla de chía tiene, el estudio realizado por Olivos *et al.* (2010) destacó que posee características fisicoquímicas importantes. Debido al alto contenido de proteínas de la semilla tiene buena capacidad de retención de agua y una excelente capacidad de retención de aceite, lo cual es relevante para usarla como aditivo funcional en la industria de la panificación y en la producción de emulsiones estables. Por otro lado, el mucílago presente en la semilla le confiere la capacidad de formar hidrocoloides, utilizados en la industria alimentaria como agentes espesantes, gelificantes o para el control de la sinéresis (Phillips & Williams, 2000). Dichas características son ideales para otorgar propiedades reológicas deseables a los alimentos (Sandoval & Paredes, 2012).

La adición de harina de chía a un sistema alimenticio como una emulsión cárnica puede desarrollar diversas propiedades funcionales de gran importancia para la formación y estabilidad del mismo, debido a que intervendrán en la apariencia, tamaño, forma, textura, consistencia y palatabilidad, entre otras características fisicoquímicas y organolépticas del producto.

1.6.2.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

Una de las principales y más importantes propiedades funcionales que presenta la harina de chía es una gran capacidad de retención de agua, debido al alto contenido en fibras que contiene.

La hidratación de las fibras dietéticas brinda un efecto importante sobre un sistema alimenticio; las propiedades de hidratación se pueden evaluar, determinando parámetros como la CRA que es la cantidad de agua que se mantiene unida a la fibra hidratada aún después de la aplicación de una fuerza externa como presión, o más comúnmente la centrifugación (Thebaudin, Lefebvre, & Harrington, 1997).

Las fibras dietéticas solubles, como las pectinas, gomas y en el caso de la chía el mucilago, poseen una mayor CRA que las fibras dietéticas insolubles como la celulosa y hemicelulosa.

Sin embargo, tanto las fibras insolubles como las solubles interactuarán de diferente forma con el agua del sistema, por una parte el mucílago de la chía se hidrata formando una red polimérica que retiene entre su estructura una importante cantidad de agua, algunos autores sugieren que la CRA está asociada con la baja densidad del agua en comparación con la densidad que adquieren las fibras solubles al hidratarse, así como también con la cantidad de sitios de unión de la estructura fibrosa. La fibra dietética insoluble participa también en la CRA pues es capaz de captar agua en los poros de la fibra insoluble, por ejemplo, la celulosa tiene la capacidad de captar el agua del medio y alojarla entre las cadenas glucosídicas, dándose así un efecto de hinchazón.

En términos tecnológicos estas propiedades de hidratación, pueden ser explotadas por la industria con el objetivo de aumentar el rendimiento de productos cárnicos como embutidos, también para evitar la deformación de productos reestructurados al ser cocidos, como las pastas de carne empanizadas, y a su vez, proteger los alimentos congelados de la sinéresis tras los procesos de descongelamiento o cocimiento (Reyes, 2006).

1.6.2.2. Capacidad emulsificante (CE)

La capacidad emulsificante es una propiedad funcional que desarrollan las proteínas presentes en la harina de chía pues al igual que las proteínas de la carne, poseen grupos polares y apolares. Por lo tanto, al aplicar energía mecánica a través del proceso de cizallamiento, pueden adsorberse en la interfase grasa-agua, donde los grupos hidrófobos se anclarán en la grasa y los grupos hidrófilos se extenderán en la fase acuosa, formando así un sistema más estable, lo que tiene gran impacto en el sistema de una emulsión cárnica pues los glóbulos de grasa tenderían a ser más pequeños y por lo tanto hacer un producto de mejor calidad.

Otro aspecto importante es que la propiedad espesante que brindan algunas gomas o gelificantes, pectinas y mucilagos, así como la CRA contribuyen en la estabilización de la estructura de los alimentos (dispersiones, emulsiones y espumas) gracias a la modificación que se ejerce sobre las propiedades reológicas de la fase acuosa, mejorando la estabilidad del sistema (Reyes, 2006).

1.6.3. Valor nutritivo

La semilla de Chía contiene entre el 19% y el 23% de proteínas, un porcentaje que resulta más alto que el contenido en cereales tradicionales como el trigo con (13,7%), el maíz (9,4%) o el arroz (6,5%), además a diferencia de estos cereales tradicionales, las semillas de chía no contienen gluten por lo que es recomendada para pacientes celíacos. Estas semillas también son buena fuente de fibras, vitamina A y vitaminas del complejo B, minerales entre los que destacan el calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre, también contienen una alta cantidad de antioxidantes naturales, tales como compuestos fenólicos y tocoferoles. Además, la semilla de chía se destaca por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente ácido α -linolénico (Omega 3). Debido a su valor nutricional y a su composición química, se han atribuido diferentes

propiedades medicinales a la semilla de chía y se ha considerado como un nuevo ingrediente funcional. Por lo tanto, su incorporación en la formulación de ciertos alimentos puede ser particularmente deseable desde un punto de vista nutricional y saludable (Mesías, 2016) y (Ayerza & Wayne, 2006).

1.6.3.1. Ácidos grasos

La semilla de chía se caracteriza por su gran riqueza en ácidos grasos indispensables para el organismo humano ya que son útiles para elaborar lípidos necesarios para muchas funciones metabólicas, como aquellos que participan en las señales nerviosas y neuronales y en actividades glandulares (Lugo, 2013).

El contenido de aceite presente en la semilla de chía es de alrededor de 33%, el cual presenta el mayor porcentaje de ácido α -linolénico (omega 3) conocido hasta el momento (62 - 64%) en comparación con otras fuentes de este ácido graso esencial como el lino, algas y fuentes animales (Pescado Menhaden); en el cuadro 6, se puede observar el alto contenido de ácido linoleico y α -linolénico (19 y 63.8% respectivamente) presentes en la chía, así como el porcentaje proximal de los ácidos grasos totales y su comparación con las fuentes mencionadas.

Cuadro 6. Ácidos grasos presentes en la chía y otras fuentes importantes

Ácido Graso (% del total de ácidos grasos)	Aceites			
	Chía	Lino	Algas	Menhaden
Ácido mirístico	-	-	4,2	8,0
Ácido palmítico	6,9	5,5	14,5	15,2
Ácido palmitoleico (ω -7)	-	-	27,6	10,5
Ácido esteárico	2,8	1,4	0,8	7,8
Ácido oleico (ω -9)	6,6	19,5	5,4	14,5
Ácido linoleico (ω -6)	19,0	15,0	2,3	2,1
Ácido α -linolénico (ω -3)	63,8	57,5	1,7	1,5
Araquidónico (ω -6)	-	-	4,7	1,2
Ácido eicosapentanoico (ω -3)	-	-	27,7	13,2
Docosapentanoico (ω -3)	-	-	-	4,9
Ácido docosahexanoico (ω -3)	-	-	-	8,6
Otros	0,9	1,1	11,1	12,5

Fuente: Ixtaina, 2010

Por otra parte, en lo que respecta al enriquecimiento de alimentos con ácidos grasos α -linolénico (omega-3), la chía presenta la ventaja de no transmitir el característico “olor a pescado”, lo que la diferencia de las otras fuentes previamente mencionadas, con un menor contenido de sodio, lo que la hace ideal como aditivo en productos procesados (Ixtaina, 2010).

1.6.3.2. Aminoácidos

La semilla de chía es una fuente completa de proteína, la cual se considera como “completa” ya que contiene todos los aminoácidos indispensables. Sandoval & Paredes (2012) reportaron un listado de aminoácidos en harina de semilla de chía, donde se observa el importante aporte de aminoácidos esenciales para el ser humano, marcados con un superíndice α (cuadro 7).

Cuadro 7. Aminoácidos presentes en la harina de chía

mg/g de proteína cruda	
Aminoácidos	Harina de Chía
Asp	47.3 \pm 0.9
Glu	70.8 \pm 1.1
Ser	26.2 \pm 0.3
Gly	22.8 \pm 0.7
Arg	42.3 \pm 0.4
Ala	26.8 \pm 0.3
Pro	19.9 \pm 0.7
His^{α}	13.7 \pm 0.1
Thr^{α}	18.0 \pm 0.2
Val^{α}	28.5 \pm 0.4
Met+Cys^{α}	27.8 \pm 0.5
Ile^{α}	24.2 \pm 0.4
Leu^{α}	41.5 \pm 0.6
Phe+Tyr^{α}	38.8 \pm 0.5
Lys^{α}	29.9 \pm 0.5

Fuente: Sandoval & Paredes, 2012

La proteína que contiene la semilla de chía se digiere y se absorbe fácilmente, lo cual resulta en un transporte rápido a los tejidos y su utilización por las células del organismo (Beltrán & Romero, 2003).

Las proteínas presentes en la semilla de chía son: albúminas, globulinas (7s y 11s) (18 y 35 kDa), prolaminas (25 y 33 kDa) y gluteínas (alrededor de 20-30 kDa), además de fracciones insolubles (cuadro 8) (Sandoval & Paredes, 2012).

Cuadro 8. Proteínas presentes en la chía

Muestra	g/100g de proteína^α
Albúminas	17.3 ± 0.8
Globulinas	52.0 ± 1.0
Prolaminas	12.7 ± 0.2
Gluteínas	14.5 ± 0.2
Proteínas insolubles	3.4 ± 0.6

α- Los valores son la media ± DE de tres determinaciones

Fuente: Sandoval & Paredes, 2012

1.6.3.3. Fibra dietética

El término “Fibra Dietética” incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y otras sustancias asociadas; ésta puede ser definida como la fracción comestible de plantas o sus extractos y análogos sintéticos, que son resistentes a la digestión y absorción del intestino delgado con la posterior fermentación parcial o total en el intestino grueso. La fibra dietética total es un componente importante de los alimentos vegetales que procede de las paredes y tejidos de frutas, hortalizas, cereales y legumbres, y recibe una particular atención mundial tanto por sus propiedades como por el papel que desarrolla en el organismo humano (Periago, 1993) y (Prosky, 2001).

Debe considerarse que la fibra como ingrediente de los alimentos presenta dos tipos de propiedades: funcionalidad fisiológica y funcionalidad tecnológica. Estas propiedades varían ampliamente dependiendo del origen de la fibra. Los principales componentes de la fibra dietética incluyen celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas y una variedad de polisacáridos no celulósicos. Todos estos excepto la lignina son polisacáridos. (Reyes, 2006).

Uno de los aspectos fisiológicos más importantes de la fibra de chía es que su consumo conlleva importantes beneficios como la regulación del tránsito intestinal, disminución del índice de glucemia, y su correspondiente respuesta insulínica, entre otros. Esta fibra contiene mucílagos, los cuales absorben cantidades elevadas de agua influyendo en el correcto funcionamiento intestinal (Iglesias, 2007).

Las propiedades funcionales de la fibra dietética están definidas por las estructuras y la concentración de cada uno de los componentes de ésta. Dentro de las más estudiadas relativas a la fibra dietética, se encuentran la hidratación y efecto textural y estabilizante (Thebaudin, Lefebvre, & Harrington, 1997).

1.6.3.4. Vitaminas y minerales

La semilla de chía es una fuente excelente de Ca^{+2} , P^{-3} , Mg^{+2} , K^{+1} , Fe^{+2} , Zn^{+2} y Cu^{+1} . Los niveles de hierro son elevados y representan una cantidad inusual para una semilla que, comparada con otros productos tradicionales conocidos como fuentes ricas en hierro presenta, por cada 100 gramos de porción comestible, 6, 1.8 y 2.4 veces más cantidad de hierro que la espinaca, las lentejas y el hígado vacuno respectivamente (Ayerza & Wayne, 2006).

1.6.3.5. Antioxidantes

Es muy importante consumir antioxidantes dentro de la dieta, ya que en el metabolismo normal de las células se encuentran, como productos de éste, una serie de compuestos químicos que tienen la característica de ser radicales libres las cuales son moléculas alteradas en su estabilidad electrónica y por lo tanto son muy inestables y reactivas, de modo que contribuyen a la causa de una amplia variedad de enfermedades y padecimientos en los humanos, especialmente enfermedades crónicas asociadas con el envejecimiento. Dentro de estas enfermedades se encuentran: cáncer, aterosclerosis y todos los padecimientos coronarios, padecimientos inflamatorios, mal de Parkinson, Alzheimer, cataratas, degeneración macular, enfisema, entre otras.

Un antioxidante se define como “cualquier sustancia que cuando está presente a bajas concentraciones retrasa o previene la oxidación”. Los antioxidantes más importantes de la chía son los tocoferoles, fitosteroles, carotenoides y compuestos fenólicos, como ácido clorogénico, ácido caféico, miricetina, quercetina y kaempferol, estos compuestos son antioxidantes primarios y sinérgico que actúan en el organismo previniendo enfermedades crónico-degenerativas, así como en el procesamiento de los alimentos previniendo o retardando alteraciones oxidativas.

En sistemas alimenticios, la actividad antioxidante se presenta principalmente como la inhibición de las reacciones en cadena de la oxidación lipídica, por su parte en sistemas biológicos se refiere a la protección de las proteínas, DNA y biomoléculas de vital importancia en general (Reyes, 2006) y (Corona, Martinez, Ruiz, & Carranza, 2016).

2. Desarrollo experimental

2.1. Justificación

En México se tiene una alta producción y consumo de productos cárnicos procesados, donde entre los más populares se encuentran las salchichas, principalmente Frankfurt y Viena, con aproximadamente el 50% del total del consumo, seguido de los jamones con un 40% y apenas un 10% lo ocupan tocinos, chorizos, longanizas y otros derivados cárnicos (INEGI, 2014), por lo que uno de los retos a los que se enfrenta la industria cárnica es elaborar este tipo de productos y que sean cada vez más estables para evitar así mermas excesivas.

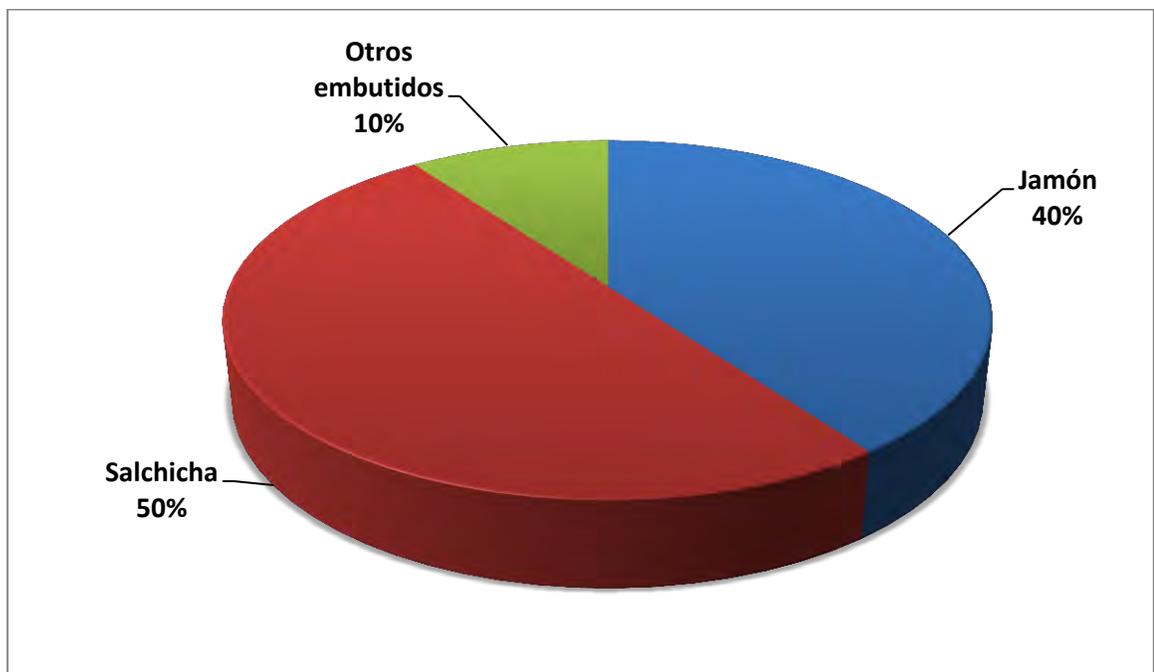


Figura 12. Embutidos producidos en México en 2014

Fuente: INEGI, 2014

Por otra parte, los hábitos alimentarios en México se han modificado con una preferencia cada vez mayor por el consumo de productos industrializados y listos para su consumo, generando con esto una alta tasa de enfermedades crónicas degenerativas, como obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, etc. Estos antecedentes han despertado el interés de los consumidores e

investigadores por buscar alimentos saludables y/o funcionales que coadyuven a disminuir este tipo de trastornos alimentarios (Santillán, 2014).

La tendencia mundial hacia una alimentación más saludable busca aumentar el consumo de alimentos funcionales como la chía, la cual aporta ácidos grasos omega 3, proteínas, antioxidantes y fibras dietéticas que facilitan la digestión y mejoran la salud general del consumidor (González, 2014). La preferencia de los consumidores por los productos cárnicos ofrece la posibilidad de ser vehículos apropiados para la adición de estos nutrimentos y mejorar los beneficios nutrimentales a los consumidores.

La harina de chía tiene un gran potencial de aprovechamiento por la industria, debido a sus aptitudes tecnológicas, entre los que destacan el poder aumentar el rendimiento de productos cárnicos como los embutidos, evitar la deformación de productos reestructurados al ser cocidos, como las pastas de carne empanizadas, y a su vez, proteger los alimentos congelados de la sinéresis tras los procesos de descongelamiento o cocimiento (Reyes, 2006). Por lo que en este proyecto se plantea la posibilidad de utilizar las propiedades funcionales de la harina de chía (*Salvia hispánica*), como la capacidad emulsificante de sus proteínas y la alta capacidad de retención de agua de sus fibras dietéticas, para evaluar su efecto en la estabilidad de una emulsión cárnica de salchicha tipo Frankfurt y al mismo tiempo crear un alimento funcional al aumentar el aporte nutritivo en comparación con una formulación tradicional.

2.2. Problema

Efecto de la adición de harina de chía (*Salvia hispánica*) en el desarrollo de salchicha tipo Frankfurt como producto funcional.

2.3. Objetivo General

Evaluar el efecto de la adición de harina de chía (*Salvia hispánica*) en la estabilidad de una emulsión cárnica (salchicha tipo Frankfurt) aplicando pruebas fisicoquímicas y texturales para mejorar la formación y estabilidad del sistema.

2.4. Objetivos particulares e hipótesis

O.P.1. Evaluar el efecto de la adición de harina de chía en la formación de una salchicha tipo Frankfurt mediante la determinación del tamaño del glóbulo de grasa, estabilidad y capacidad de retención de agua (CRA).

Variables:

$V_{ind.}$ = [] Harina de chía.

$V_{dep.}$ = Tamaño de glóbulo de grasa

$V_{respuesta}$ = CRA, Estabilidad de la emulsión

Hipótesis: Debido a que la harina de chía aporta un alto contenido de proteínas (principalmente globulinas) y de fibras dietéticas solubles e insolubles, al adicionarla a una emulsión cárnica habrá una disminución en el tamaño de glóbulo de grasa, al actuar como agente emulsificante; y tendrá una mayor CRA debido a la interacción agua-fibra, obteniendo así un producto físico-químicamente estable.

O.P.2. Evaluar el efecto de la adición de harina de chía en la textura de salchicha tipo Frankfurt, mediante pruebas de penetración para determinar la calidad del sistema.

Variables:

$V_{\text{ind.}}$ = [] Harina de chía.

$V_{\text{dep.}}$ = Resistencia a la penetración.

$V_{\text{respuesta}}$ = Dureza.

Hipótesis: La harina de chía al aportar un alto contenido de fibras dietéticas solubles e insolubles, al adicionarla a una emulsión cárnica, tendrá una interacción ligante de agua- fibra (soluble e insoluble) por lo que aumentará la resistencia a la penetración y se obtendrá un producto final con una mayor dureza.

O.P.3. Determinar el contenido de proteínas de salchicha tipo Frankfurt adicionada con harina de chía, a partir de técnicas espectrofotométricas para establecer su efecto en la funcionalidad del producto final.

Variables:

$V_{\text{ind.}}$ = [] Harina de chía.

$V_{\text{dep.}}$ = Absorbancia

$V_{\text{respuesta}}$ = Contenido de proteínas. Obtención de un producto funcional.

Hipótesis: Al adicionarse harina de chía a una emulsión cárnica, aumentará entonces el contenido de proteínas, globulinas y albuminas principalmente, desarrollando propiedades funcionales en el sistema.

2.5. Actividades preliminares (Caracterización de CE y CRA de Materias Primas)

Capacidad de retención de agua (CRA) de espaldilla de cerdo

Para determinar la CRA de la carne (espaldilla de cerdo) se siguió la metodología descrita por Barton *et al.* 1994, donde se colocaron 5g de muestra en un tubo de centrifuga graduado de 15 mL, posteriormente se añadieron 8 mL de solución fría (4°C) de NaCl 0.6M y se agitaron con una varilla de vidrio por un minuto, después se colocó en el congelador por 20 min hasta llegar a 4°C, se agitó de nuevo por un minuto y se centrifugó por 36 min a 5000 rpm (3500 g) y 4°C en una centrifuga Centurion Scientific Mod. K2015R (UK).



Figura 13. Muestra de carne con solución de NaCl a 4°C

Por último, se calculó la CRA con la siguiente ecuación:

$$CRA = \frac{Va - Vs}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Dónde:

Va: Volumen de solución salina al tubo de centrifuga

Vs: Volumen del sobrenadante

Reportando la cantidad de solución retenida por cada 100 g de muestra.

Capacidad emulsificante (CE) de Espaldilla de cerdo

La CE de la carne se obtuvo con la metodología usada por Swift, Lockett y Fryar, (1961), donde se mezclaron 25 g de carne con 100 mL de solución fría (4°C) de NaCl [1M] en un molino de cuchillas eléctrico Marca Oster mod. Beehive, hasta homogeneizar. Se tomaron 12.5 g del homogeneizado y se añadieron 37.5 mL de solución de NaCl [1M] y se mezcló a baja velocidad, posteriormente se añadieron 50 mL de aceite de maíz y se adicionó lentamente más aceite, hasta la ruptura de la emulsión. Reportando la cantidad de aceite emulsionado por g de muestra.



Figura 14. Muestra homogeneizada de carne y solución de NaCl y adición de aceite para crear emulsión

Capacidad de retención de agua (CRA) de harina de chía y fécula de maíz

Para determinar la CRA de la harina de chía y fécula de maíz se aplicó una modificación al método propuesto por Guizar *et al.*, 2008, dónde se hidrató 1 g de harina de chía o fécula de maíz para cada caso, con 10 mL de agua a temperatura ambiente, en un tubo para centrifuga de 15 mL, posteriormente se colocó a baño maría hasta alcanzar los 70°C durante 15 min, agitando cada 5 minutos y se centrifugó durante 20 min a 3000 rpm (1250 g) en una centrifuga Centurion Scientific Mod. K2015R (UK); por último, se midió el sobrenadante decantado y el volumen perdido fue utilizado para calcular la capacidad de retención de agua con la siguiente ecuación:

$$CRA = \frac{a - b}{b}$$

Dónde:

a: Peso del gel formado (g)

b: Peso de la muestra (g)

Reportando la cantidad de agua retenida por cada gramo de muestra.



Figura 15. Hidratación de fécula y harina de chía, aumento de temperatura a 70°C y centrifugación

Capacidad emulsificante (CE) de harina de chía

La CE de la harina de chía se determinó homogeneizando 5 g de harina con 50 mL de agua (relación 1:10) en un molino de cuchillas eléctrico Marca Oster mod. Beehive, posteriormente se mezcló a baja velocidad añadiendo lentamente aceite de maíz, hasta la ruptura de la emulsión. Reportando la cantidad de aceite emulsionado por g de muestra.



Figura 16. Hidratación de harina de chía y adición de aceite de maíz a emulsionar

2.6. Diseño experimental

En el presente trabajo se realizaron 4 formulaciones de emulsiones cárnicas, salchichas tipo Frankfurt. La formulación control se presenta en el cuadro 9, con una modificación al no adicionar fosfatos, nitratos, nitritos, ni colorantes o saborizantes artificiales, con el fin de que estos no interfieran en la apreciación del funcionamiento de la harina de chía, así como para obtener un producto libre de este tipo de aditivos.

Los 4 lotes de aproximadamente 300g se realizaron de acuerdo al diagrama de proceso (Figura 17), modificando la formulación control que contiene 8% de fécula de maíz, y sustituyéndola por concentraciones de 4, 6 y 8% de harina de chía.

Posteriormente se evaluaron los parámetros de CRA, tamaño de glóbulo de grasa, resistencia a la deformación y contenido de proteínas adicionadas, todas estas se realizaron por triplicado para obtener confiabilidad estadística en los resultados.

Cuadro 9. Formulación de lote control, 4, 6 y 8% de Harina de Chía para salchicha tipo Frankfurt

Ingrediente	Control	8%	6%	4%
Espaldilla de cerdo	60	60	60	60
Agua	12.6	12.6	14.6	16.6
Hielo	9	9	9	9
Lardo	8.4	8.4	8.4	8.4
Fécula de maíz	8			
Harina de Chía		8	6	4
Sal	1.2	1.2	1.2	1.2
Cebolla	0.6	0.6	0.6	0.6
Ajo	0.2	0.2	0.2	0.2

2.7. Diagrama de proceso

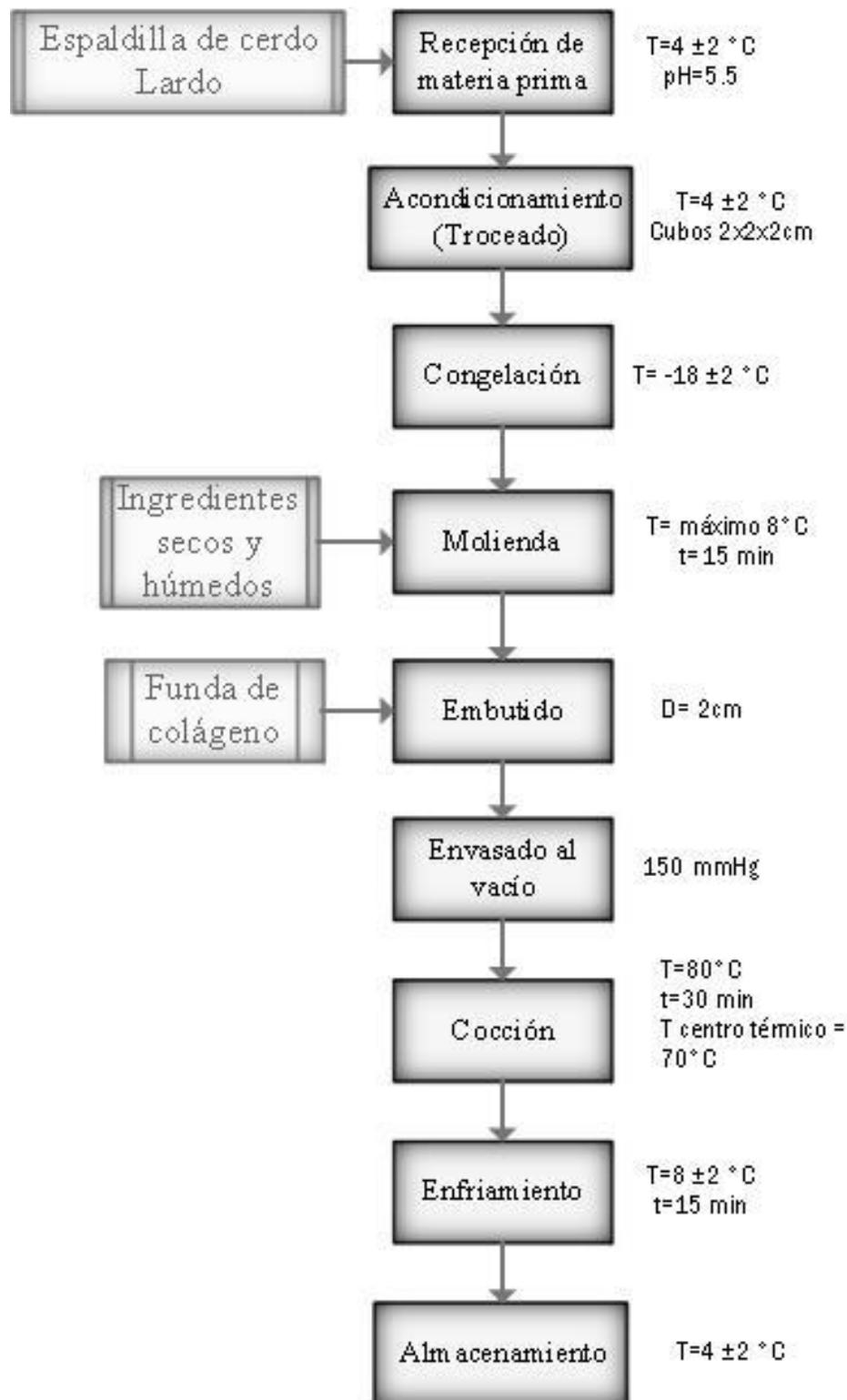


Figura 17. Diagrama de proceso de elaboración de salchicha tipo Frankfurt

Para la elaboración de cada lote se siguió la metodología del diagrama de procesos, donde después de la recepción de la materia prima (carne y lardo), se acondicionó cortando en cubos de aproximadamente 2 cm³; se seccionó por lotes y se llevó a congelación a -18 ± 2 °C (Figura 17).

Para la formación de la emulsión cárnica, se realizó una molienda en un multiprocesador marca Oster modelo FPSTFP4255 durante 15 min, donde se adicionaron los ingredientes húmedos y secos, iniciando con la carne, seguido del lardo, agua, sal, hielo, condimentos y por último fécula de maíz o harina de chíca (Figura 18), procurando no sobrepasar los 8 °C en la pasta, para evitar fenómenos de inestabilidad en el sistema.



Figura 18. Materias primas acondicionadas para cada lote



Figura 19. Formación de emulsión cárnica en procesador

Una vez obtenida la pasta cárnica, se embutió en funda de colágeno de 2 cm de diámetro y se ató con hilo de algodón cada 12 cm, luego se envasó al vacío en lotes de 300 g (Figura 20) para posteriormente llevar a cocción en agua a 80 °C durante 30 min y asegurar que el centro térmico alcanzara los 70 °C como lo establece la NOM 213 SSA1 2002, por lo que se realizó un historial térmico con termopares durante la cocción, donde se encontró que el centro geométrico es también el centro térmico y se pudo cumplir con lo establecido por normatividad (Figura 21).

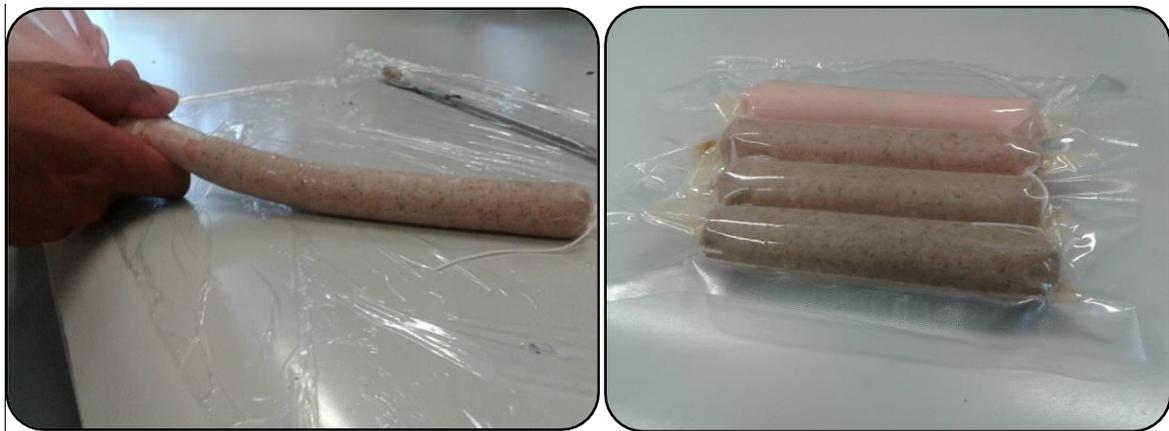


Figura 20. Salchichas embutidas y envasadas al vacío



Figura 21. Cocción de las salchichas y control de la temperatura con termopares

Posterior a la cocción se realizó un enfriamiento por inmersión en agua a 5 °C durante 15 min y por último se almacenó el producto terminado en cámara de refrigeración a 4 °C (Figura 22).



Figura 22. Enfriamiento después de cocción y producto terminado

2.8. Evaluación del tamaño de glóbulo de grasa

Para determinar el tamaño de glóbulo de grasa presente en el producto final se cortaron delgadas láminas de salchicha con una navaja punta diamante, se colocaron en un portaobjetos y se observaron en un microscopio marca Olympus, modelo CX31, con un aumento de 10X y se registró el tamaño en μm de 30 glóbulos de grasa, con ayuda del micrómetro integrado.

Los datos obtenidos se trataron con un análisis estadístico ($\alpha=0.05$) de límites de confianza en el programa Minitab 16 para obtener un intervalo promedio del tamaño de los glóbulos de grasa.



Figura 23. Corte de salchichas en finas láminas

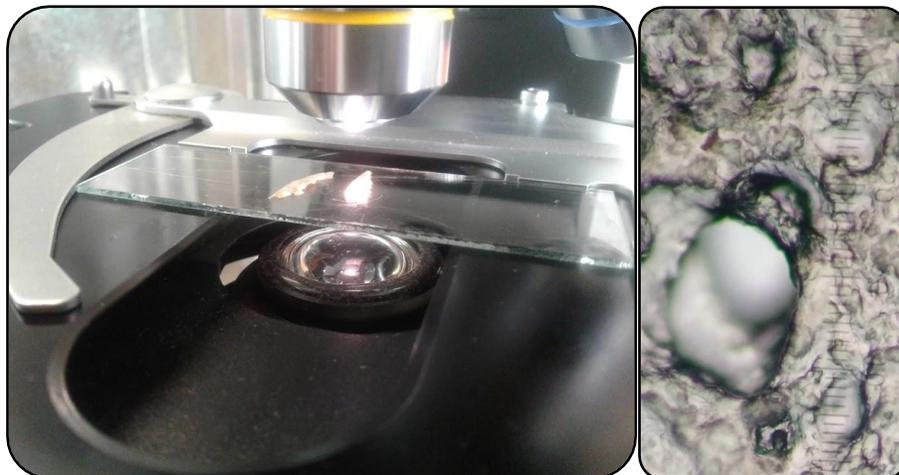


Figura 24. Observación al microscopio óptico y medición del tamaño de glóbulo de grasa con ocular de 10x con micrómetro

2.9. Evaluación de capacidad de retención de agua

La prueba de CRA de las salchichas se realizó con una modificación al método reportado por Sánchez, Soto y Güemes en 2014, donde se cortaron y pesaron piezas de papel filtro doblándolos en forma de cono, en los que se colocaron 5 g de muestra. Los conos de papel con muestra se colocaron en tubos y se centrifugaron a 4000 g (RCF) durante 40 minutos a 4 °C, posteriormente se separaron las piezas de papel de las muestras y se pesaron, la CRA fue reportada como el peso perdido en relación al peso inicial de la muestra, expresada en g de H₂O perdidos/g de salchicha.



Figura 25. Registro del peso inicial del papel filtro y salchicha colocada en tubo de centrifugación



Figura 26. Centrifugación a 4000g (RCF) durante 40 minutos a 4°C y registro del peso final del papel filtro

2.10. Evaluación de la resistencia a la deformación

La prueba para determinar la dureza de la salchicha se realizó con un penetrómetro analógico y una geometría de cilindro de 3/8". Se tomaron muestras de la salchicha de 1 cm de espesor y se realizó la prueba dejando caer la geometría sobre la muestra durante 15 s, posteriormente se registró la distancia que penetró la muestra para obtener la fuerza en N (Dureza) que requiere la salchicha para ser penetrada.



Figura 27. Determinación de dureza con penetrómetro

2.11. Cuantificación de proteínas (Método Bradford)

Construcción de curva patrón

Para realizar una cuantificación por método de Bradford primero se realizó una curva patrón utilizando como solución patrón Albúmina Sérica Bovina (BSA) marca Thermo Scientific Pierce #23209 de 2 mg/mL.

La curva patrón se realizó por triplicado, donde se hicieron diluciones de una alícuota de 178 μ L de solución patrón; se aforó a 10 mL con agua destilada para obtener una solución *Stock*, posteriormente se hicieron diluciones de solución *Stock* con agua destilada en tubos Eppendorf de 2 mL como se muestra en el

cuadro 10, una vez diluidos se adicionó a cada uno 200 μL de reactivo de Bradford y se agitaron con un vórtex MaxiMix durante 1 minuto. De cada tubo se tomó una alícuota de 60 μL , se colocó en celdas Eppendorf desechables y se obtuvo la lectura de absorbancia a $\lambda_{595 \text{ nm}}$ después de dos minutos y antes de media hora, en un Biofotómetro plus marca Eppendorf para construir la curva patrón a partir de los datos obtenidos.



Figura 28. Solución stock de BSA



Figura 29. Diluciones de BSA para la curva patrón



Figura 30. Biofotómetro plus marca Eppendorf y vórtex MaxiMix, para la determinación de absorbancia

Cuadro 10. Diluciones de BSA y sus concentraciones

Tubo	Agua destilada	Stock BSA	Concentración (mg/mL)
0	800	0	0
1	650	150	0.0066
2	600	200	0.0088
3	500	300	0.0132
4	400	400	0.0176
5	300	500	0.022
6	200	600	0.0264
7	100	700	0.0308
8	0	800	0.0352

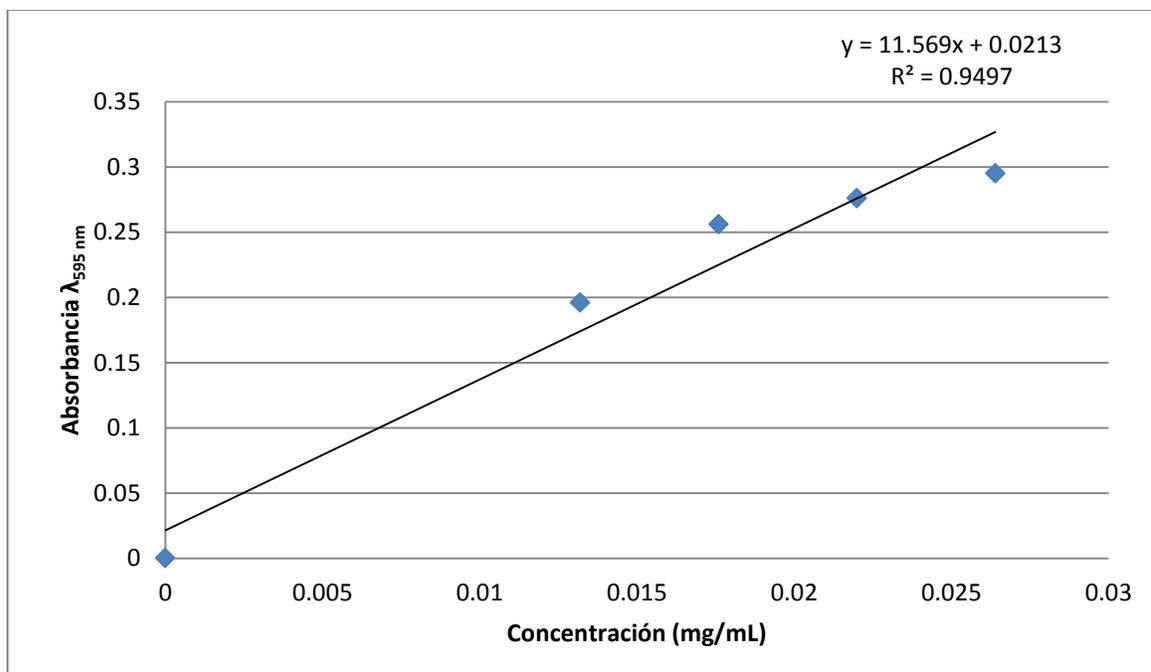


Figura 31. Curva patrón de proteínas con std. de BSA

Extracción de proteínas.

Para la extracción y cuantificación de las proteínas adicionadas por la harina de chía a la salchicha, se realizó una extracción específica para globulinas, que poseen la característica de ser solubles en soluciones salinas de baja concentración, y que son también el principal tipo de proteína que contiene la chía.

Para la extracción de proteínas se pesaron 5 g de salchicha y se homogeneizaron con 50 mL de solución buffer de extracción de KH_2PO_4 [0.3M] con un pH de 7.2 en una relación 1:10 p/v, la homogeneización se realizó con un molino de cuchillas eléctrico Marca Oster mod. Beehive durante 4 minutos, posteriormente se tomaron muestras de 1 mL y se colocaron en tubos Eppendorf de 2 mL, estos se centrifugaron durante 20 min a 10000 rpm (9500 g) y 2 °C en una centrifuga Centurion Scientific Mod. K2015R (UK); el sobrenadante obtenido conteniente el porcentaje de proteínas solubles. Por último, se tomaron 800 μL de sobrenadante y se le adicionaron 200 μL de reactivo de Bradford, se agitaron con un vórtex MaxiMix durante 1 minuto y de cada tubo se tomó una alícuota de 60 μL , se colocó en celdas Eppendorf de plástico transparente y se obtuvo la lectura de absorbancia a $\lambda_{595 \text{ nm}}$ en un Biofotómetro™ plus marca Eppendorf, para conocer el contenido de proteínas de la muestra por interpolación usando la curva patrón.



Figura 32. Homogeneización de salchicha con 50 mL de solución buffer de extracción (KH_2PO_4 0.3M)



Figura 33. Muestra centrifugadas: sobrenadante con proteínas solubles separado del pellet

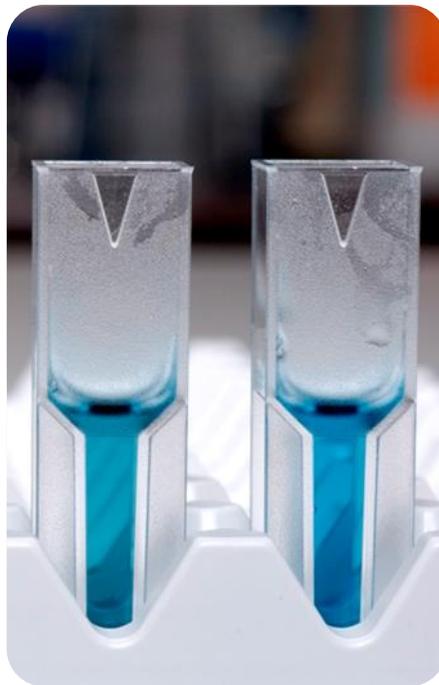


Figura 34. Celdas Eppendorf con alícuota de 60 μ L de sobrenadante y reactivo de Bradford



Figura 35. Lectura de absorbancia a $\lambda_{595 \text{ nm}}$ en Biofotómetro™ plus marca Eppendorf

3. Análisis y discusión de resultados

Una vez realizada la evaluación de cada uno de los parámetros propuestos para los cuatro lotes (control, 4, 6, y 8% de harina de chía), se realizó para cada prueba un análisis estadístico de ANOVA univariable y prueba de Tukey utilizando el software Minitab 16.

Se consideró un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$) y se hizo una prueba de hipótesis como se muestra a continuación:

$$H_0 = \mu_{\text{Control}} = \mu_{4\%} = \mu_{6\%} = \mu_{8\%}$$

$$H_1 = \text{Al menos una media es distinta}$$

3.1. Resultado de las actividades preliminares

En la determinación de la CRA de la espaldilla de cerdo se obtuvo un resultado promedio de 24.67 ± 0.25 mL de agua retenidos por cada 100 g de carne.

El cual es un parámetro aceptable pues el pH inicial de la materia prima fue de 5.6 el cual se encuentra dentro de un rango indicador de que el proceso de rigor fue adecuado y por lo tanto la materia prima posee características como la CRA óptimas para su procesamiento.

En el caso de la CRA de la fécula de maíz se obtuvo un promedio de 463.33 ± 0.15 mL de agua retenidos por cada 100 g de fécula y de 950 ± 0.0 mL de agua retenidos por cada 100 g de harina de chía.

Donde se puede notar la gran capacidad de retención de agua que tiene la harina de chía en comparación con la fécula de maíz, pudiendo sustentar así las concentraciones propuestas de experimentación 4,6 y 8% de harina de chía.

Se determinó también la capacidad emulsificante de la espaldilla de cerdo y la harina de chía, donde se obtuvieron resultados de 55.7 mL de aceite emulsionado/g de carne y 60 mL de aceite emulsionado/g de harina.

Por lo que se concuerda con autores Xiong, 2004 y Reyes 2006 que indican que la presencia de proteínas miofibrilares en el caso de la carne, y las proteínas globulares en el caso de la harina de chía, al poseer grupos polares y apolares, en la formación de una emulsión, pueden adsorberse en la interfase grasa-agua, formando así un sistema más estable.

Para determinar el tiempo de molienda durante la formación del sistema y asegurar que la emulsión fuera una pasta fina, se observó en el microscopio y se encontró que a los 15 minutos de cizallamiento las emulsiones presentaban tamaños de glóbulos de grasa de entre 0.1 y 20 μm , por lo que el sistema se encontraba estable.

3.2. Tamaño de glóbulo de grasa

En el cuadro 11 se encuentran los intervalos de confianza obtenidos para cada una de las formulaciones, donde se muestra el intervalo en el que se encuentran los glóbulos de grasa de cada sistema. Estos intervalos se obtuvieron realizando la microscopía por triplicado, analizando los resultados con el software minitab 16 para el cual se utilizó un IC del 95%.

De acuerdo con Aranberri (2006), los datos obtenidos en todos los casos se encuentran dentro del intervalo de una emulsión considerada cinéticamente estable, que va desde 0.1 a 20 μm , se puede decir entonces que la adición de harina de chía a una emulsión cárnica tendrá una propiedad funcional como emulsificante, propiciando la formación de glóbulos de grasa cada vez más pequeños.

Cuadro 11. Intervalos de confianza del tamaño de glóbulo de grasa

Lote	Tamaño de glóbulos de grasa	
	Mínimo (μm)	Máximo (μm)
Control	1.12	1.41
4%	1.01	1.25
6%	0.80	0.98
8%	0.73	0.88
Bibliografía	0.1	20

Fuente: Aranberri et al., 2006

En la Figura 36. Se puede observar como los intervalos de confianza del análisis estadístico realizado a los tamaños de glóbulos de grasa, muestran una diferencia significativa entre todos los lotes, lo que indica que con la adición de harina de chia el tamaño del glóbulo de grasa del sistema si se ve afectado pues mientras mas aumenta el contenido de harina de chia, mas pequeños serán los glóbulos de grasa que se pueden formar.

La causa de esta disminución del tamaño de glóbulo de grasa en el producto final se debe a la adición de proteínas globulares pertenecientes a la composición química de la harina de chía, donde estas tendrán una funcionalidad similar a las proteínas de la carne, adsorviéndose en la interfase de la fase oleosa y acuosa al ser sometidas a fuerzas cizallantes durante la formación de la emulsión.

Debido a esto es que la formulación con 8% de harina de chia presenta los glóbulos de grasa mas pequeños de todos.

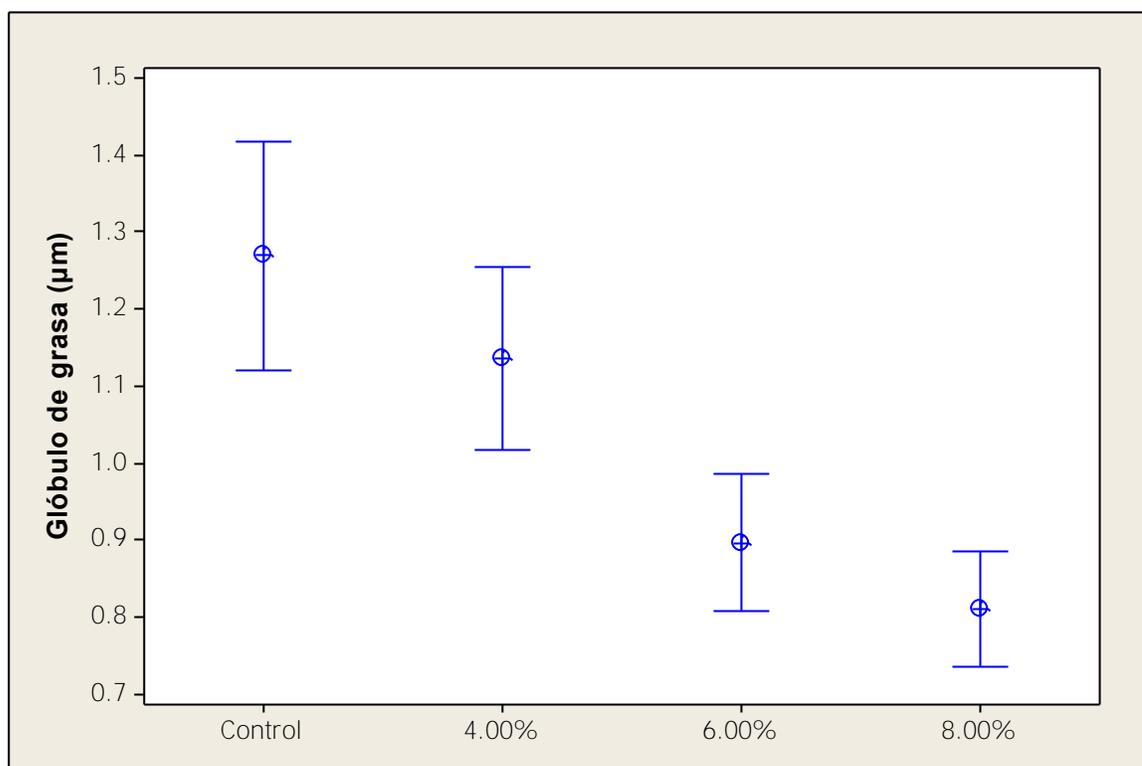


Figura 36. Tamaño de glóbulo de grasa en salchicha control y adicionada con 4, 6 y 8% de harina de chía

3.3. Porcentaje de retención de agua

En la Figura 37 Se pueden observar los resultados obtenidos en la prueba de capacidad de retención de agua del producto terminado, esta prueba se realizó por triplicado, para evaluar el efecto de la harina de chíá en la estabilidad del sistema pues autores como Brown y col. (1999) indican que la harina de chíá tiene una alta CRA debido principalmente al alto contenido de fibras dietéticas solubles e insolubles.

Esta propiedad de interactuar y ligar agua por parte de la harina de chíá se puede observar en los resultados pues si se comparan las formulaciones adicionadas con 4, 6 y 8% de harina de chíá, se puede observar como existe una diferencia significativa en la cantidad de líquido que el producto retiene, pues se observa una tendencia proporcional y directa, aumentando la CRA conforme aumenta la concentración de harina de chíá.

Por otra parte al realizar la prueba de Tukey para comparar los resultados obtenidos con la muestra control, se puede observar como la adición de harina de chíá en ningún caso es estadísticamente igual a la muestra control ($P < 0.05$), esto se debe a que si bien las fibras dietéticas presentes en la harina de chíá desarrollan una propiedad funcional como retenedores de agua, no igualan a la alta CRA que posee la fécula de maíz presente en la muestra control, pues el mecanismo de retención de agua entre estos dos compuestos (fibra dietética y fécula de maíz) es diferente.

Por un lado como indica Freixanet (2010), los polisacáridos como la fécula de maíz, gelifican por acción del calor, forman una trama tridimensional que retiene abundantes cantidades de agua, debido al hinchamiento de las moléculas de almidón que retienen el agua, mientras que las fibras dietéticas solubles e insolubles presentes en la harina de chíá, que son las responsables de su propiedad funcional como retenedores de agua, actúan de otra forma, donde por una parte el mucílago se hidrata formando una red polimérica que retiene entre su

estructura agua, y la fibra dietética insoluble como la celulosa captan el agua del medio al alojarla entre las cadenas glucosídicas.

Además de las diferentes interacciones que tiene cada compuesto con el agua es importante recalcar que la fécula de maíz es adicionada con el propósito de retener agua y por lo tanto el 100% de esta tendrá esa funcionalidad en el sistema, sin embargo la harina de chíá al estar compuesta de lípidos, carbohidratos, proteínas, fibras y cenizas, su comportamiento, debido a las diferentes interacciones con el agua del sistema, presentan diferente porcentaje CRA.

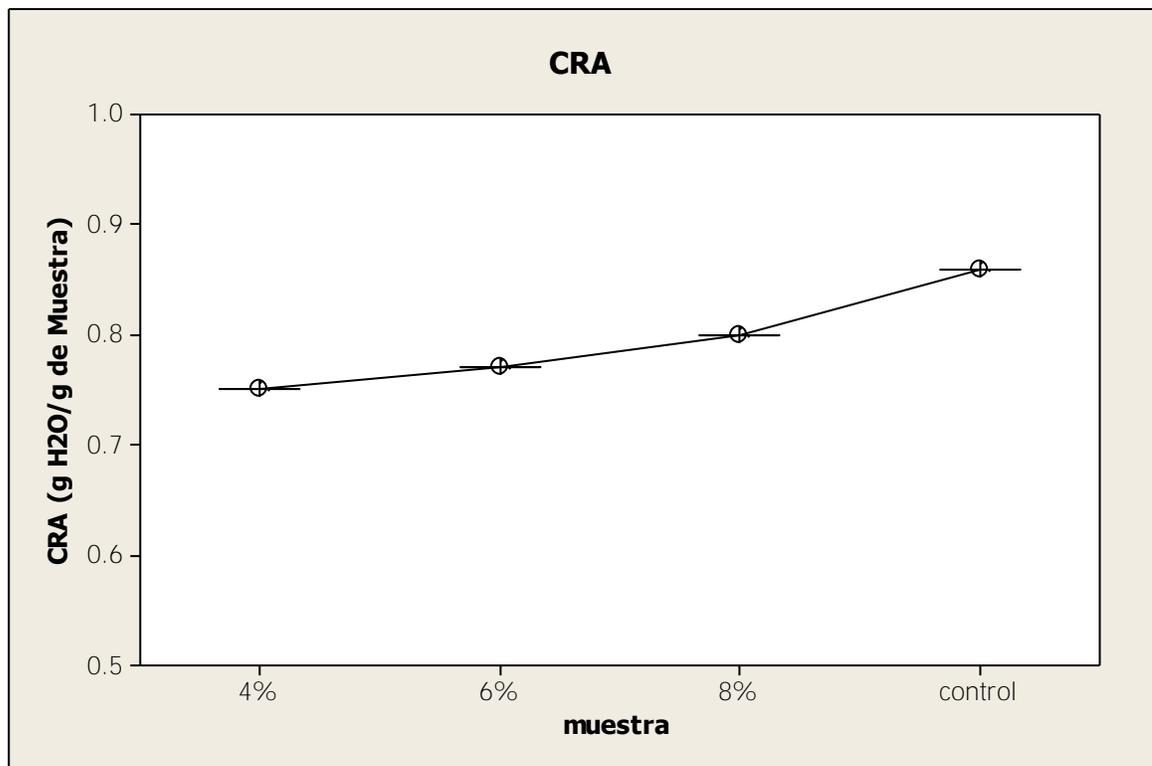


Figura 37. CRA, g de agua retenidos/ g de muestra en diferentes formulaciones de salchichas

Un punto importante a destacar fue la modificación de la metodología propuesta Sanchez, J. Soto. S. y Güemes, N. 2014, que se usó como referencia, ya que las condiciones de velocidad y tiempo de centrifugación que establece la bibliografía dificultó mucho la apreciación de los resultados, al no observarse una pérdida de agua considerable en las muestras, por lo que se optó por modificar la metodología para someter las muestras a condiciones más rigurosas, modificando

las condiciones de centrifugación de 3600 g durante 20min a 4000 g durante 40 minutos, para obtener resultados más visibles.

Por lo tanto se puede decir que si bien la CRA de las salchichas elaboradas con harina de chíá presentan una diferencia significativa con respecto a la salchicha control, elaborada con fécula de maíz, la calidad del producto es aceptable en cuanto a pérdidas por sinéresis, tomando en cuenta las condiciones extremas a las que se realizó la prueba.

3.4. Resistencia a la deformación

En la Figura 38 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de penetración, realizada por triplicado; donde se obtuvo la dureza de los productos finales que fue de 1.60×10^{-2} , 1.21×10^{-2} , 1.29×10^{-2} y 1.51×10^{-2} N para las muestras control, 4, 6 y 8% de harina de chíá respectivamente, donde el análisis estadístico indica una diferencia significativa entre todos los lotes y la prueba de Tukey señala que ninguna de las muestras adicionadas con harina de chíá son similares a la muestra control ($P < 0.05$). Se puede observar en los resultados una tendencia ascendente en la dureza de la salchicha con respecto al aumento de concentración de harina de chíá, sin embargo en ningún caso se igualan con la muestra control, este comportamiento se puede relacionar con los resultados obtenidos de la CRA pues se observa el mismo comportamiento en ambas pruebas, esto se puede explicar pues la dureza en este tipo de productos se puede considerar como una consecuencia de la CRA del sistema, ya que como Brown y col. (1999) reportan, la dureza de productos cárnicos aumenta con la adición de fibras insolubles que forman redes tridimensionales y modifican las propiedades reológicas de la fase continua de la emulsión.

La adición de lípidos como los ácidos grasos que contiene la harina de chíá afectan también la textura del producto cárnico pues en emulsiones cárnicas, el tipo de lípido usado como fase dispersa determina parámetros como la estabilidad de la emulsión y textura, entre ellos la dureza, causando modificación en las

interacciones superficiales (Totosaus y Guerrero, 2006) provocando una textura más suave.

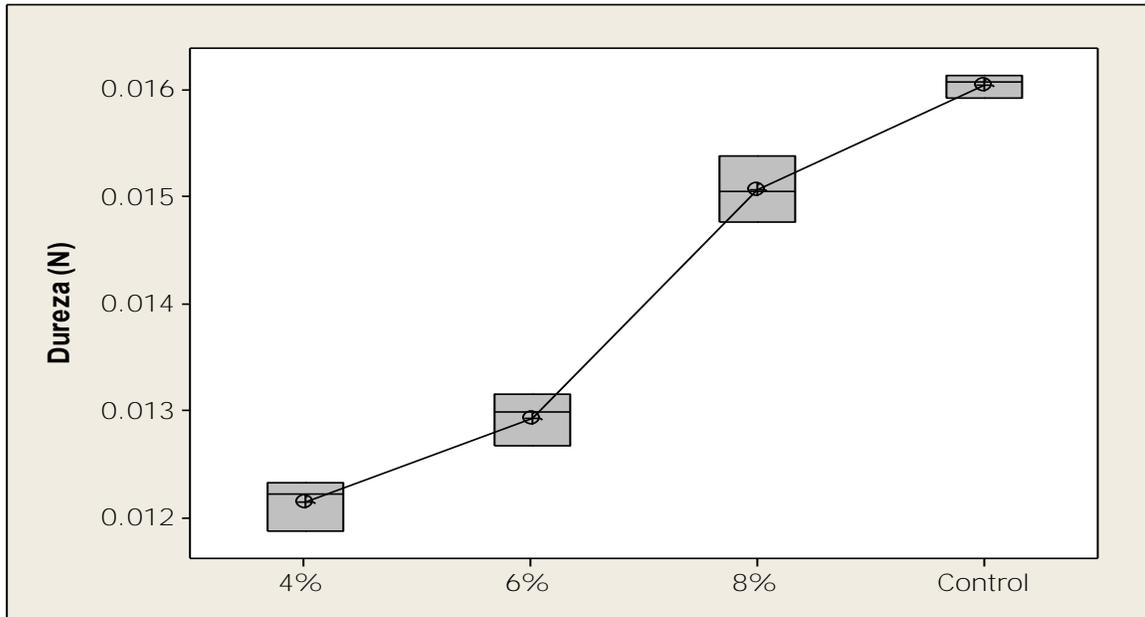


Figura 38. Dureza de las salchichas de distintas formulaciones

3.5. Cuantificación de proteínas (Método Bradford)

En la Figura 39 se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación de proteínas por el método de Bradford, la cual se realizó para poder obtener un aproximado de las proteínas adicionadas por la harina de chíá al producto final.

La concentración de proteína en solución que se obtuvo para la muestra control y las formulaciones 4, 6 y 8% de harina de chíá fueron de 0.106, 0.108, 0.133 y 0.152 mg/mL respectivamente, donde se puede observar el aumento del aporte proteico en proporción al aumento de concentración de harina de chíá.

Por otra parte al realizar la prueba de Tukey para comparar los resultados obtenidos con la muestra control, dio como resultado que no existe una diferencia significativa entre la muestra control y el lote con 4% de harina de chíá, sin embargo los lotes con 6 y 8% si son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Estos resultados son los esperados pues comparando con la prueba de tamaño de glóbulo de grasa, el aumento de la cantidad de proteínas en los productos

adicionados con chía, fueron también los que presentaron tamaños de glóbulo de grasa cada vez más pequeños, pues como ya se había explicado las proteínas adicionadas por la chía (Globulinas 7s, 11s y albúminas) serán las mismas que desarrollen propiedades funcionales como emulsificantes en el sistema.

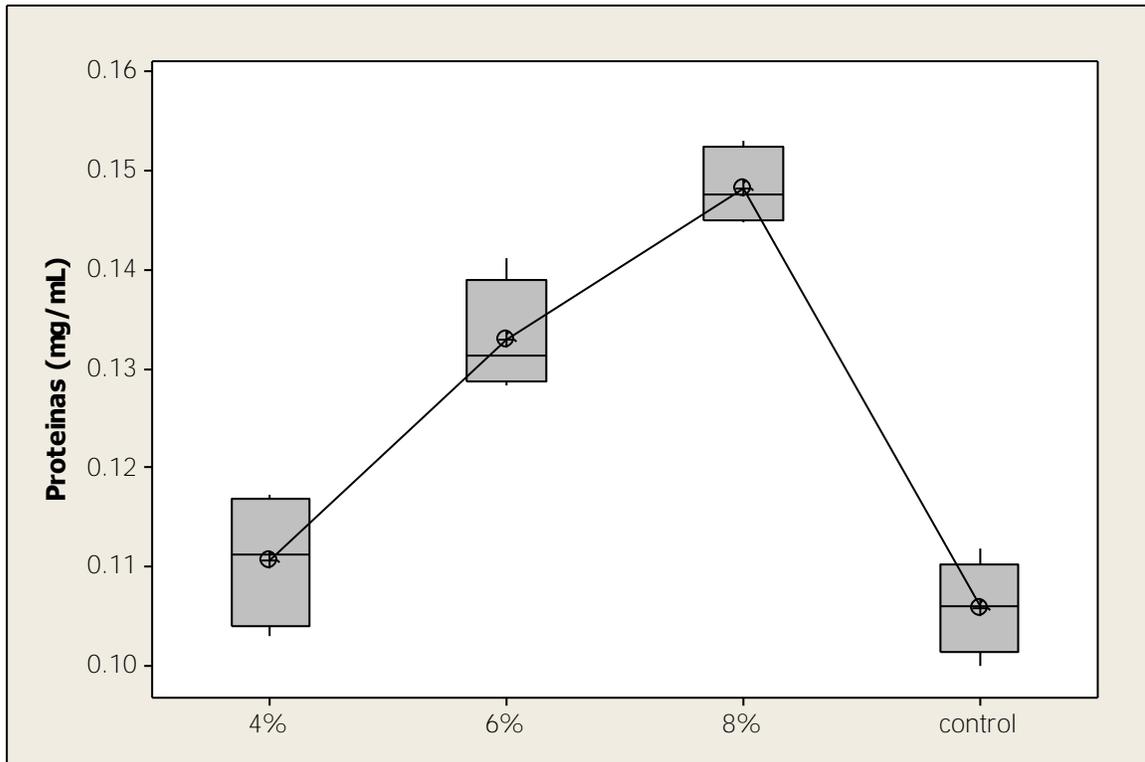


Figura 39. Proteínas adicionadas por la harina de chía en diferentes formulaciones de salchichas

Es importante destacar que así como ocurre con el contenido de proteínas, el aumento en el aporte nutritivo de este producto no se limita solo ahí, pues como ya se ha mencionado, la harina de chía está compuesta por sustancias igual o más importantes, desde el punto de vista nutricional, dando como resultado un producto adicionado con un alto contenido de fibras dietéticas, así como aumento del contenido de ácidos grasos esenciales, principalmente ac. Linolénico (Omega 3), y también un aumento en el aporte de minerales como Ca^{+2} , P^{-3} , Mg^{+2} , K^{+1} , Fe^{+2} , Zn^{+2} y Cu^{+1} sin olvidar el contenido de antioxidantes, entre ellos ácidos clorogénico y cafeínico, flavonoides mirecitina, quercetina y kaempferol, que se encuentran en la semilla de chía (Reyes, 2006. Ruiz, 2009. Ayerza, 2006).

Conclusiones

La adición de harina de chía en la elaboración de una salchicha tipo Frankfurt favoreció la disminución del tamaño de glóbulo de grasa entre un 10 a 36% menor con respecto a la muestra control, siendo el lote con concentración de 8% el que formó glóbulos de grasa más pequeños (entre 0.73 y 0.88 μm).

De las tres formulaciones, la formulación cárnica adicionada con 8% de harina de chía, confiere una CRA (0.8 g de agua retenidos/ g de muestra), respecto al lote control que permite 0.86g $\text{H}_2\text{O/g}$ muestra, lo que promovió un sistema fisicoquímicamente estable muy similar al control.

La dureza de las salchichas con chía, contrario a lo que se esperaba fue menor en comparación a la muestra control (4%= 1.60×10^{-2} N, 6%= 1.21×10^{-2} N, 8%= 1.29×10^{-2} N y C= 1.51×10^{-2} N) obteniendo salchichas con una firmeza por debajo de lo esperado en una de formulación tradicional.

La funcionalidad de la salchicha tipo Frankfurt es uno de los aspectos más fortalecidos por la adición de harina de chía, al verse aumentado casi en un 50% el contenido proteico en comparación con la muestra control (C=0.106 mg/mL y 8%=0.152 mg/mL) las cuales además, desarrollan propiedades funcionales en el sistema como retenedores de agua y emulsificantes.

La adición de harina de chía tiene un efecto favorable en la estabilidad de una emulsión cárnica (Salchicha tipo Frankfurt) al:

- Disminuir el tamaño de los glóbulos de grasa del sistema.
- Actuar como retenedor de agua.

Referencias Bibliográficas

- AMSA. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. Illinois: American Meat Science Association.
- Andújar, G., Pérez, D., & Venegas, O. (2003). *Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos*. La Habana: Editorial Universitaria.
- Aranberri, I. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3), 211-231.
- Ayerza, R., & Wayne, C. (2006). *Chía, redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas*. Buenos Aires: 1. ed.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: PEARSON.
- Barton-Gade, P. A., Demeyer, D., Honikel, K. O., Joseph, R. L., Poulanne, E., Severini, M., Smulders, F. & Tornberg, E. (1994) Final version of reference methods for water holding capacity in meat and meat products: Procedures recommended by an OECD working group. Prepresented at the 39th ICOMST in 1993, 40th Intern. Congress of Meat Science and Technology, Dan Haag.
- Beltrán, M., & Romero, M. (2003). La Chía Alimento Milenario. *Industria Alimentaria*, 20-29.
- Brown L.; Rosner B.; Willett W.; Sacks F.M. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 69(1):30-42
- Carballo, B., & Lopez de Torre, G. (1991). *Manual de Bioquímica y tecnología de la carne*. Madrid: AMV Ediciones.
- Corona, E., Martínez, N., Ruiz, H., & Carranza, J. (2016). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chíá (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. *Agrociencia*, 403-412.
- COMECARNE. (2016). *Compendio Estadístico 2016 de la Industria Carnica Mexicana*. México: COMECARNE.
- FAO. (2007). *Meat processing technology for small- to medium-scale producers*. Bangkok.
- Forrest, J. C. (1979). *Fundamentos de ciencia de la carne*. Zaragoza: Acribia.
- Freixanet, L. (2010). *Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero*. España: Metalquimia.

- González, G. (2014). *Principales limitaciones y restricciones a la comercialización de los productos de interés para el área del Sistema de Riego en Santa María, Catamar (Informe final)*. Buenos Aires: FAO.
- Guerrero, L., & Arteaga, M. (1990). *Tecnología de carnes. Elaboración y preservación de productos cárnicos*. México: Trillas.
- Guizard, M. et al. (2008). PARCIAL CARACTERIZACION DE NUEVOS ALMIDONES OBTENIDOS DEL TUBERCULO DE CAMOTE DEL CERRO (*Dioscorea* spp). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 9(1). Pp. 81-88.
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. *Advances In Food Research [Adv Food Res]*, 355-463.
- Hoogenkamp, H. (2005). *Proteína de soja y fórmulas para productos cárnicos*. Zaragoza: Acribia.
- <http://bioquimicadelacarne.blogspot.mx/2012>. (2012, junio 04). Recuperado de <http://bioquimicadelacarne.blogspot.mx/2012>
- <http://slideplayer.com>. (2005, octubre 04). Recuperado de <http://slideplayer.com/slide/1659960/>
- <http://www.anatomiahumana.ucv.cl/>. (2004). Recuperado de <http://www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/modulo11.html>
- <https://whykitchen.wordpress.com>. (2013, Abril 10). Recuperado de <https://whykitchen.wordpress.com/2013/04/10/632/>
- Huff-Lonergan, E. (2010). Water-Holding Capacity of Fresh Meat. *American Meat Science*.
- Hui, Y. (2006). *Ciencia y tecnología de carnes*. México: LIMUSA.
- Iglesias, E. (2007). *Mejora del valor nutricional y tecnológico de productos de panadería por incorporación de ingredientes a base de chía (Salvia hispanica L.)*. València : Universidad Politécnica de València.
- INEGI. (2014). *El Sector Alimentario en México 2014*. México: INEGI.
- Ixtaina, Y. (2010). *Caracterización de la semilla y aceite de chía (Salvia hispanica L.) obtenido mediante distintos procesos*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- Lawrie, R. A. (1998). *Ciencia de la carne*. España: Acribia.
- Lugo, A. (2013). *Evaluación nutrimental de semillas de chía (Salvia hispánica) y balance de hierro mediante métodos biológicos. (Tesis inedita de licenciatura)*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Mesías, M. (2016). Risk/benefit considerations of a new formulation of wheat-based. *LWT - Food Science and Technology*, 73, 528-535.
- NMX-F-065-1984. Alimentos. Salchichas. Especificaciones. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-FF-072-1990. Alimentos. Especies y condimentos. Terminología. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NOM-194-SSA1-2004. Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos.
- NOM-213-SSA1-2002, N. O. (n.d.). *NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.*
- Offer, G., & Cousins, T. (1992). The mechanism of drip production formation of 2 compartments of extracellular space in muscle. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58, 107–116.
- Oliveira, S. (2017). Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispanica* L.). *Food Chemistry*, 232, 295–305.
- Pérez, M. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio: Tecnología de carnes.* México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Periago, M. (1993). Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 229-245.
- Phillips, G., & Williams, P. (2000). *Introduction to food hydrocolloids.* England: Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Prändl O, F. A. (1994). *Tecnología e higiene de la carne.* España: Acribia.
- Prosky, L. (2001). What is dietary fiber?. A new look at the definition. In & P. McCleary, *Advanced Dietary Fibre Technology* (pp. 63-76). Oxford: Blackwell Science LTD.
- Codex Alimentarius. *RCP/CAC 58.* (2005).
- Ruiz, G. Fundamentos de Hematología. (2009). Cuarta edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España: 214-216.
- Reyes, E. (2006). *La Chía (Salvia hispánica): fuente de fibra dietética total con propiedades funcionales y antioxidantes. (Tesis inédita de licenciatura).* México.: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Sanchez, J. Soto. S. y Güemes, N. (2014). Estudio físico-químico en salchichas adicionadas con almidón de plátano macho (*Musa paradisiaca*). *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2(3): pp 334-341.
- Sandoval, M. (2012). Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia Hispanica L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 193-201.
- Sandoval, M., & Paredes, O. (2012). *Aislamiento y caracterización de las proteínas de las proteínas de reserva de chía (Salvia hispanica L.)*, (Tesis inédita de maestría). México: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO.
- Santillán, A. (2014). *Efecto de la adición de harina de chía sobre las características físico-químicas, texturales y sensoriales de un gel cárnico a base de carpa común*. México: UAEM.
- Swift, C.E., Lockett, C., Fryar, A.J. (1961) Comminuted meat emulsions the capacity of meats for emulsifying fat. *Food Technol.* 15, 468-473.
- Thebaudin, J., Lefebvre, A., & Harrington, M. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. . *Food Science and Technology*, 41-47.
- Totosaus S. Guerrero L. (2006). Propiedades funcionales y textura. Capítulo 8 en: *Ciencia y tecnología de carnes*. Y.H. Hui, I.L. Guerrero y R.M. Rosmini, Limusa, pp. 229-251.
- Varnam, H. (1995). *Carne y productos cárnicos*. Zaragoza: Acribia.
- Vereau, A. (2014). *slideshare.net*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/paolobarrientossalazar/msculo-esqueltico-41002894>
- Xiong, Y. (2004). Chemical and Physical Characteristics of Meat: Protein Functionality. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 267–273.
- Yúfera, E. (1979). *Química agrícola III alimentos* . España: Alhambra.