



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**“Estudio sobre la evolución de las sales de cura en un
producto cárnico sometido a diferentes tratamientos”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN BIOQUÍMICA DIAGNÓSTICA

P R E S E N T A

DULCE ELIZABETH GARCÍA RUVALCABA

ASESOR: QFB AGUSTÍN REYO HERRERA

CO-ASESOR: IA JOSÉ LUIS GODÍNEZ RODRÍGUEZ

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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 CUAUTITLAN
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

Estudio sobre la evolución de las sales de cura en un producto cárnico sometido a diferentes tratamientos.

Que presenta la pasante: Dulce Elizabeth García Ruvalcaba
Con número de cuenta: 309292111 para obtener el Título de la carrera: Licenciatura en Bioquímica Diagnóstica

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 07 de Noviembre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
VOCAL	Q.F.B. Agustín Reyó Herrera	
SECRETARIO	Q.F.B. Gabriela Escalante Reynoso	
1er. SUPLENTE	I.A. María Guadalupe López Franco	
2do. SUPLENTE	I.A. Janeli Solís Garfías	

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

**ESTE TRABAJO SE REALIZÓ MEDIANTE LOS PROGRAMAS
DE APOYO A PROYECTOS PARA LA INNOVACIÓN Y
MEJORAMIENTO DE LA ENSEÑANZA (PAPIME)**

PE 213116

“Optimización de recursos en los laboratorios de la licenciatura en
Química de Alimentos con métodos espectrofotométricos”

PE 204516

“Controles microbiológicos para los procesos de alimentos del
Laboratorio de Tecnología de Alimentos (LABTEC)”

DEDICATORIAS

A MI MADRE

Por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por tu amor incondicional, gracias a ti he llegado hasta aquí .Eres todo para mí mami TE AMO.

A MI PADRE

Por enseñarme a ser una persona fuerte, por retarme constantemente y por exigirme tanto, gracias a ti he descubierto que soy capaz de hacer cualquier cosa que me proponga, TE AMO.

A MIS HERMANOS

Por ser un gran ejemplo para mí, gracias a ustedes sé que nada es imposible aunque lo parezca, LOS AMO.

ABDÍAS

Por acompañarme durante esta etapa tan importante de mi vida, definitivamente esto hubiera sido más difícil si no hubieras estado ahí., GRACIAS POR TODO.

A LA UNAM

Por ser mi segundo hogar durante todos estos años, por todas las oportunidades que me has brindado y por ser una pieza clave en mi formación profesional y personal.
GRACIAS.

A TODOS MIS PROFESORES

Por transmitirme además de sus conocimientos, el amor por lo que hago.
GRACIAS.

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. ANTECEDENTES	
3.1. La industria pesquera en México.....	4
3.2. El pescado como alimento.....	5
3.2.1. Composición química del pescado.....	5
3.2.1.1. Agua.....	6
3.2.1.2. Lípidos.....	6
3.2.1.3. Proteínas.....	7
3.2.1.4. Vitaminas y Minerales.....	8
3.2.1.5. Carbohidratos.....	8
3.2.2. Tilapia.....	8
3.2.3. Productos marinos.....	10
3.3. Tecnología de elaboración de los embutidos.....	11
3.4. Nitritos y el curado de la carne.....	16
3.4.1. Formación de color.....	16
3.4.2. Efectos sobre el aroma y sabor.....	18
3.4.3. Acción conservadora.....	18
3.4.3.1. Efectos antimicrobianos.....	18
3.4.3.2. Efecto antioxidante.....	20
3.4.4. Reacciones del nitrito en el medio cárnico.....	21
3.5. Efectos de los nitritos en la salud humana.....	23
3.5.1. Formación de metahemoglobina.....	24
3.5.2. Formación de nitrosaminas.....	26
4. METODOLOGÍA	
4.1. Elaboración de embutido tipo jamón a base de tilapia.....	28
4.1.1. Desarrollo de la formulación.....	28
4.1.2. Proceso de elaboración.....	29
4.1.3. Optimización de la formulación en función de la evaluación de la aceptación general.....	32
4.2. Determinaciones fisicoquímicas.....	34
4.2.1. pH y acidez.....	34

4.2.2. Nitritos.....	36
4.3. Determinación de la vida de anaquel.....	39
4.3.1. Determinación de bases volátiles.....	39
4.3.2. Análisis microbiológico.....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. Optimización de la formulación en función a la evaluación de textura y aceptación general.....	42
5.2. Determinaciones fisicoquímicas.....	44
5.2.1. pH y acidez.....	44
5.2.2. Nitritos.....	47
5.3. Determinación de la vida de anaquel.....	51
5.3.1. Determinación de bases volátiles.....	51
5.3.2. Análisis microbiológico.....	53
6. CONCLUSIONES	55
7. REFERENCIAS	57
8. ANEXOS	66

Desde mediados del siglo XX el mundo ha sufrido grandes cambios que han repercutido en el régimen alimentario, primero en las regiones industriales y, recientemente, en los países en desarrollo (*OMS/FAO, 2003*).

La incorporación de la mujer en la actividad económica ha generado cambios substanciales en las dietas tradicionales, siendo reemplazados los alimentos de origen natural por productos procesados que requieren poco tiempo para su preparación y pueden ser conservados por periodos de tiempo prolongados. En este sentido, los embutidos representan una de las alternativas que han encajado perfectamente con las necesidades actuales de los consumidores.

Se estima que una cuarta parte del consumo mundial de carne corresponde a embutidos. En México, el consumo de carne por persona actualmente es de 63 kilogramos al año, de los cuales el 8% corresponde a carnes procesadas según datos de la Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Ganadería, Pesca y Alimentación (*SAGARPA*).

Los embutidos de mayor consumo en nuestro país son el jamón cocido y la salchicha tipo Viena, que constituyen aproximadamente 85% del total (*Muñoz, 2014*). Sin embargo, el consumo de otros productos cárnicos como los chorizos, tocinos, salamis, *pepperoni*, etc. es creciente debido a su facilidad de manipulación, alternativas de consumo y posibilidades de almacenaje.

La elección y compra de los productos cárnicos procesados se ve influenciada, en gran medida, por la versatilidad con la que estos pueden ser incluidos en distintos platillos que requieren poco tiempo para su preparación, así como de su accesibilidad en cuanto a costos. Sin embargo, su aspecto general así como su sabor son los que determinan la preferencia de los consumidores.

Para obtener el color, aroma, textura y sabor característico de los embutidos, durante el procesamiento de la carne se emplean sales nitrificantes (nitritos y/o nitratos) cuyo efecto además, se extiende a la prolongación de la vida de anaquel y a la protección de las grasas frente a la oxidación (*Sindelar & Milkoski, 2011*).

Pese a todos los beneficios que ofrece el uso de sales nitrificantes en el procesado de las carnes, su uso ha sido restringido en gran parte del mundo, puesto que se ha encontrado que pueden tener importantes implicaciones toxicológicas debido a la elevada reactividad química del nitrito. Además, se ha relacionado con la formación de nitrosaminas, compuestos carcinogénicos, que pueden generarse tanto en el alimento como en el organismo (*Almudena & Lizaso, 2001*).

Debido a los riesgos que implica para la salud humana el consumo de alimentos que contengan estas sales (nitratos y/o nitritos), se han generado disposiciones legales que regulan su uso. En México la Norma Oficial *NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*, indica que el límite máximo de nitratos/nitritos en productos curados no debe de superar las 156 ppm. Durante el desarrollo del presente trabajo, se encontró un gran número de estudios sobre el tema que revelan que algunos de estos productos no cumplen con estas especificaciones, excediendo los límites permitidos.

Se cree que el motivo principal, por el cual los productos no cumplen con los lineamientos establecidos es que en la Industria en cuestión, es una práctica común que las formulaciones se realicen de manera empírica, debido principalmente a que no se cuenta con información confiable por parte de los proveedores de aditivos alimentarios. Con respecto a las sales de cura, los fabricantes generalmente indican únicamente que son una mezcla de nitratos/nitritos de sodio/potasio y sal común, sin mencionar las proporciones de cada componente de su producto. Por esta razón, una parte importante de la comunidad científica internacional ha centrado su atención en este problema, generando numerosas teorías que intentan explicar el destino del nitrito en el medio cárnico, para así poder estandarizar su uso.

Aunque son abundantes las investigaciones sobre este tema, hasta el momento, ninguna ha sido concluyente, por tal motivo uno de los propósitos del presente trabajo es contribuir en esta línea de investigación, estudiando el comportamiento de las sales de curado durante el proceso de elaboración y conservación de un producto tipo jamón formulado a partir de tilapia (*Oreochromis spp*) el cual ha sido concebido como un producto novedoso, de alto valor nutricional y de elaboración accesible a nivel de laboratorio.

2. OBJETIVOS

Objetivo general:

Elaborar un embutido hecho a base de filete de tilapia (*Oreochromis spp*) a través de la consulta bibliográfica del proceso de elaboración de jamones cocidos, para obtener una formulación prototipo y evaluar en el producto resultante la evolución de las sales de cura durante el proceso de elaboración y conservación.

Objetivos particulares:

1. Comparar el comportamiento de tres formulaciones distintas del producto. Sin adición de sales nitrificantes, con nitrito de sodio puro y con sal de cura comercial en muestras ahumadas y sin ahumar.
2. Relacionar el proceso de ahumado y los niveles residuales de nitrito en el producto.
3. Fundamentar cuál de las formulaciones es la ideal en función del periodo de vida útil del producto, así como de los niveles de nitrito residual.

3.1. LA INDUSTRIA PESQUERA EN MÉXICO

La pesca y la acuicultura son de las actividades primarias más importantes en nuestro país, ya que cuentan con un alto impacto económico y social en la creación de empleos y producción de alimentos. Además de que ofrecen oportunidades para reducir el problema del hambre y mejorar la nutrición en la población que consume el pescado y asegura un mejor uso de los recursos naturales.

Gracias a su privilegiada ubicación geográfica México destaca en el mundo por sus recursos pesqueros. La costa mexicana cuenta con 11,500 kilómetros de extensión, con cerca de 3, 000,000 de kilómetros cuadrados de Zona Económica Exclusiva (ZEE). Esta extensión es susceptible de aprovechamiento acuícola debido a la existencia natural de una gran biodiversidad de fauna marina. Destacan especies de alto valor comercial como camarón, atún, sardina, calamar, abulón, ostión, langosta y diversos peces de escama como la tilapia (*Ruíz & Mériago, 2006*).

La producción pesquera del país proviene tanto de la pesca por captura, como por acuicultura o producción por cultivo controlado. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO posicionó a México en el lugar 16 de la producción pesquera a nivel global (2016), lo que equivale a una contribución del 0.95% a la producción mundial total.

La producción promedio anual de pescados y mariscos en nuestro país es de 1, 750,000 toneladas (1, 472,975 de captura y 277,025 de la acuicultura). Actualmente, México se encuentra en la posición 29 en cuanto a la producción derivada de la acuicultura a nivel mundial. De 2006 al 2011 la tasa de crecimiento media anual de la producción acuícola fue de 0.5%, con una cifra histórica de 285,000 toneladas en 2009, contribuyendo con el 16% al total de la producción pesquera (*Red de Genómica, Pesca y Acuicultura para la Innovación, 2012*).

3.2. EL PESCADO COMO ALIMENTO

El consumo de pescados y mariscos es limitado en el gusto de los mexicanos. Entre otros aspectos, se cree que son caros o riesgosos para la salud, haciendo notorio que se desconoce el gran aporte nutrimental que provee a los consumidores.

Una dieta sana y equilibrada necesita variedad en los alimentos, entre los que deben estar presentes los pescados y mariscos. Por ejemplo, en países como Japón el consumo de pescados y mariscos por persona es de aproximadamente 70 kilos al año, mientras que en México no superamos los 12 kilos (*PROFECO, 2012*).

El pescado proporciona proteínas de excelente calidad y elevado valor biológico, es rico en ácidos grasos Omega-3 de cadena larga, provee una amplia variedad de minerales (calcio, fósforo, sodio, potasio, magnesio, hierro, zinc, yodo, etc.) vitaminas (A, D, E, K y el grupo B) y es una excelente fuente de otros micro nutrientes (*Traverso & Avdalov, 2014*).

3.2.1 Composición química

Desde el punto de vista nutricional, la carne de pescado puede ser comparada favorablemente con otros músculos de origen animal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de la composición química de músculo de pescado y otros animales

%	PESCADO ^a	POLLO ^b	CERDO ^c	PAVO ^c	TERNERA ^c	RES ^c
Humedad	66-84	73.70	72.90	74.16	74.51	71.25
Proteínas	15-24	20-23	20-48	21.77	22.20	21.87
Lípidos	0.1-22	4.7	5.41	2.86	1.12	6.28
Cenizas	0.8-2	1	1.05	0.97	1.10	1.03

^a (*Suzuki, 1981*); ^b (*Fennema, 1982*); ^c (*Bodwell & Anderson, 1986*)

Cabe mencionar que la composición química del pescado presenta variaciones muy grandes entre las diferentes especies y también entre individuos de una misma especie dependiendo de factores tales como la edad, el sexo, el medio ambiente donde viven y

la estación del año. Estas variaciones están también relacionadas con la alimentación, las migraciones y los cambios fisiológicos derivados de sus etapas y ciclos reproductivos.

3.2.1.1. Agua

El agua en el pescado se encuentra estructuralmente como en los músculos de la carne de los mamíferos, con una media de 77.22%. Al ser el componente mayoritario en el músculo contribuye en gran manera a las cualidades propias y deseables del pescado. Sin embargo su alto contenido favorece el crecimiento de microorganismos y esto a su vez vuelve el producto altamente perecedero (*Borderías, et al. , 1987*).

3.2.1.2. Lípidos

Las especies de pescado pueden ser clasificadas en magras, grasas o semigrasas (Cuadro 2) dependiendo de la cantidad y de cómo almacenan los lípidos de reserva energética. Los pescados magros usan el hígado como su depósito de energía y las especies grasas almacenan lípidos en células grasas en todas partes del cuerpo (*Kiessling, et al., 1991*).

Cuadro 2. Ejemplos de la clasificación de algunos peces según su contenido de grasa

Grasos (>8%)	Semigrasos (2-8%)	Magros (<2%)
Arenque	Anchoa	Tilapia
Sardina	Trucha	Bacalao
Salmón	Bonito	Mero
Atún		Merluza

(*Cavero, 2015*)

Las grasas de los peces poseen importantes cantidades de ácidos grasos Omega-3 y 6 como el ácido linolénico, linoleico y araquidónico, considerados esenciales por que no son sintetizados por el organismo. Los ácidos grasos, son sustancias de gran

importancia, ya que participan en la formación, maduración y crecimiento del sistema nervioso, además de que se ha demostrado que ofrecen protección cardiovascular, regulando el nivel de lípidos en la sangre y reduciendo la presión arterial (*Traverso & Avdalov, 2014*).

3.2.1.3. Proteínas

Las proteínas provenientes de la carne de pescado están conformadas por aminoácidos esenciales que el cuerpo humano no puede fabricar y que resultan necesarios para el desarrollo y reparación de tejidos del cuerpo. De la misma manera que las proteínas de la leche, la carne y el huevo, son de un elevado valor biológico y además se caracterizan por tener una excelente digestibilidad.

Cuadro 3. Contenido proteico de alimentos de origen animal

ALIMENTO	CANTIDAD (g proteína / 100g alimento)	CALIDAD (Valor Biológico %)
Pescado	18	75
Carne de res	20	75
Leche	3.5	75
Huevo	13	95-100

(Vázquez, et al. ,2005)

Cuadro 4. Porcentaje de aminoácidos esenciales en proteínas de origen animal

AMINOÁCIDO	PESCADO	LECHE	CARNE VACUNA	HUEVO
Lisina	8.8	8.1	9.3	6.8
Triptófano	1.0	1.6	1.1	1.9
Histidina	2.0	2.6	3.8	2.2
Leucina	8.4	10.2	8.2	8.4
Isoleucina	6.0	7.2	5.2	7.1
Treonina	4.6	4.4	4.2	5.5
Metionina-cisteina	4.0	4.3	2.9	3.3
Valina	6.0	7.6	5.0	8.1

(FAO, 1995)

3.2.1.4 Vitaminas y minerales

La cantidad de vitaminas y minerales es específica de la especie y, además, puede variar con la estación del año. En general, la carne de pescado es una buena fuente de vitamina B y en el caso de las especies grasas, también de vitaminas A y D.

Respecto a los minerales, la carne de pescado es considerada una fuente particularmente valiosa de calcio y fósforo, así como también de hierro y cobre. Los peces de mar tienen un alto contenido de yodo (*Villarino, et al., 2005*).

3.2.1.5. Carbohidratos

Los carbohidratos se encuentran en pequeñas cantidades en el pescado, con una media no superior al 1%. El carbohidrato más importante en el pescado es el glucógeno, encontrándose en cantidades aproximadas de 0.6% como máximo (*Pigott, & Tucker, 1990*).

3.2.2. Tilapia

Phyllum: *Chordata*

Clase: *Actinopterygii*

Orden: *Perciformes*

Familia: *Cichlidae*

Género: *Oreochromis*

Especie: *spp*

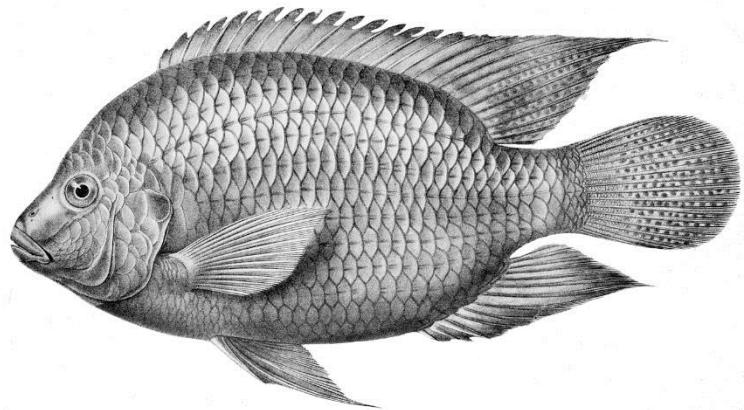


Figura 1. *Oreochromis spp* (Tilapia)

Imagen tomada del sitio web:

https://elcomidista.elpais.com/elcomidista/2017/02/10/articulo/1486722983_497148.html

Tilapia es un término genérico utilizado para designar un grupo de especies de peces de valor comercial pertenecientes a la familia *Cichlidae*; la expresión se deriva de la palabra nativa de *Bechuana* (Africa) "*thlape*" que significa Pez. Los Cíclidos se clasifican en el Orden Perciformes y habitan las aguas dulces y salobres.

Una característica distintiva de los Géneros que integran el grupo de las tilapias es su ornamento reproductivo, referido al tipo de cuidado que los progenitores brindan a sus crías. Los padres incuban los huevos en la boca y una vez nacidos, cuidan a la descendencia por un tiempo adicional (*Toledo, S. & García, M., 2000*).

Al igual que numerosos recursos alimenticios de consumo común en México, la tilapia proviene del exterior. Es originaria de África y su distribución natural se extiende hacia el norte hasta Israel y la región del Jordán. Debido a su adaptación y a su resistencia han sido introducidas de forma acelerada en otros países tropicales y subtropicales. Soportan altas densidades poblacionales, resisten condiciones ambientales adversas, toleran bajas concentraciones de oxígeno, son capaces de utilizar la potencialidad alimenticia de los estanques y pueden ser manipuladas genéticamente (*Santoyo, et al., 2015*).

El pez más cultivado a nivel mundial es la tilapia por su demanda en el mercado. Es una especie cuyo ciclo reproductivo es relativamente conocido y sencillo, además tiene un rápido crecimiento, es resistente a la manipulación y a enfermedades, acepta alimento balanceado y soporta alta densidad en los cultivos (*CEDRSSA, 2015*).

Los primeros cultivos de tilapia en México datan de 1964, a partir de ejemplares procedentes de la Universidad de Auburn, Alabama (EE.UU.) y mantenidos en la Estación Piscícola de Temascal, Oaxaca y desde entonces, las producciones de este recurso se han incrementado notablemente.

Actualmente, la tilapia se cultiva en 31 estados del país, siendo los mejores sitios para su desarrollo las zonas tropicales de los estados de Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Michoacán, Veracruz y Sinaloa (*INAPESCA, 2003*).

Las tilapias son el segundo grupo de peces (pasando después de la carpa china) más producidos en la acuicultura mundial, con una contribución de aproximadamente 20% del volumen total de peces, Esto se debe, no sólo a su gran capacidad de adaptación a diversas condiciones, también a su sabor y las características nutricionales de su carne (Cuadro 5):

Cuadro 5. Composición química del músculo de tilapia

Componente	mg/100g de filete
Humedad	72.3 -76.9
Proteína total	18.4-20.8
Grasa total	2.2-4.5
Colesterol	0
Cenizas	1.1-1.5
Fósforo	191-285
Calcio	15-33
Hierro	1-3
Energía	96 kcal/100 g

(Perea, et al., 2008)

3.2.3. Productos marinos

El desarrollo de nuevos productos es uno de los retos más importantes que enfrenta la industria alimentaria en la actualidad, ya que la demanda de productos con propiedades funcionales, ha generado un gran interés por buscar alimentos de buena calidad y a bajo costo.

La necesidad de consumir proteínas de origen animal, ha derivado en la búsqueda de nuevas formas de procesar los productos animales con el fin de darles un valor nutricional agregado, un mayor tiempo de vida útil y sobre todo ponerlos al alcance de los consumidores como una alternativa a los alimentos disponibles.

Como se explicó anteriormente, el pescado es un alimento que posee una gran cantidad de nutrientes, lo que lo convierte en una buena opción para ser utilizado en el desarrollo de nuevos productos.

Los intentos de elaboración de embutidos de pescado se iniciaron en forma experimental desde mucho antes de la Segunda Guerra Mundial, con resultados no exitosos debido a su fuerte sabor, olor y por la poca estabilidad durante el almacenamiento.

No obstante varios años después en Japón surgió el *surimi*, el cual se producía de forma artesanal a partir de la carne desmenuzada de algunos pescados, para conseguir dar salida a especies que no solían comercializarse en los mercados locales.

El proceso de industrialización del surimi fue desarrollado en 1960 por Nishitani Yōsuke, del Instituto Pesquero Experimental Hokkaido, quien lo introdujo como una técnica para procesar grandes volúmenes de pescado y así revolucionar la industria pesquera japonesa (González, 2012).

A partir de ahí, varios países con buenas fuentes de recursos hidrobiológicos se han dado a la tarea de desarrollar diversos productos empleando la carne de pescado como materia prima. Sin embargo aún no existe la producción a gran escala de estos.

3.3. TECNOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE LOS EMBUTIDOS

En general, se entiende por embutidos aquellos productos y derivados cárnicos preparados a partir de una mezcla de carne picada, grasas, sal, condimentos y aditivos introducidos en tripas naturales o artificiales.

De acuerdo con la NOM-213-SSA1-2002, los productos cárnicos pueden ser clasificados de acuerdo a su proceso de elaboración de la siguiente manera:

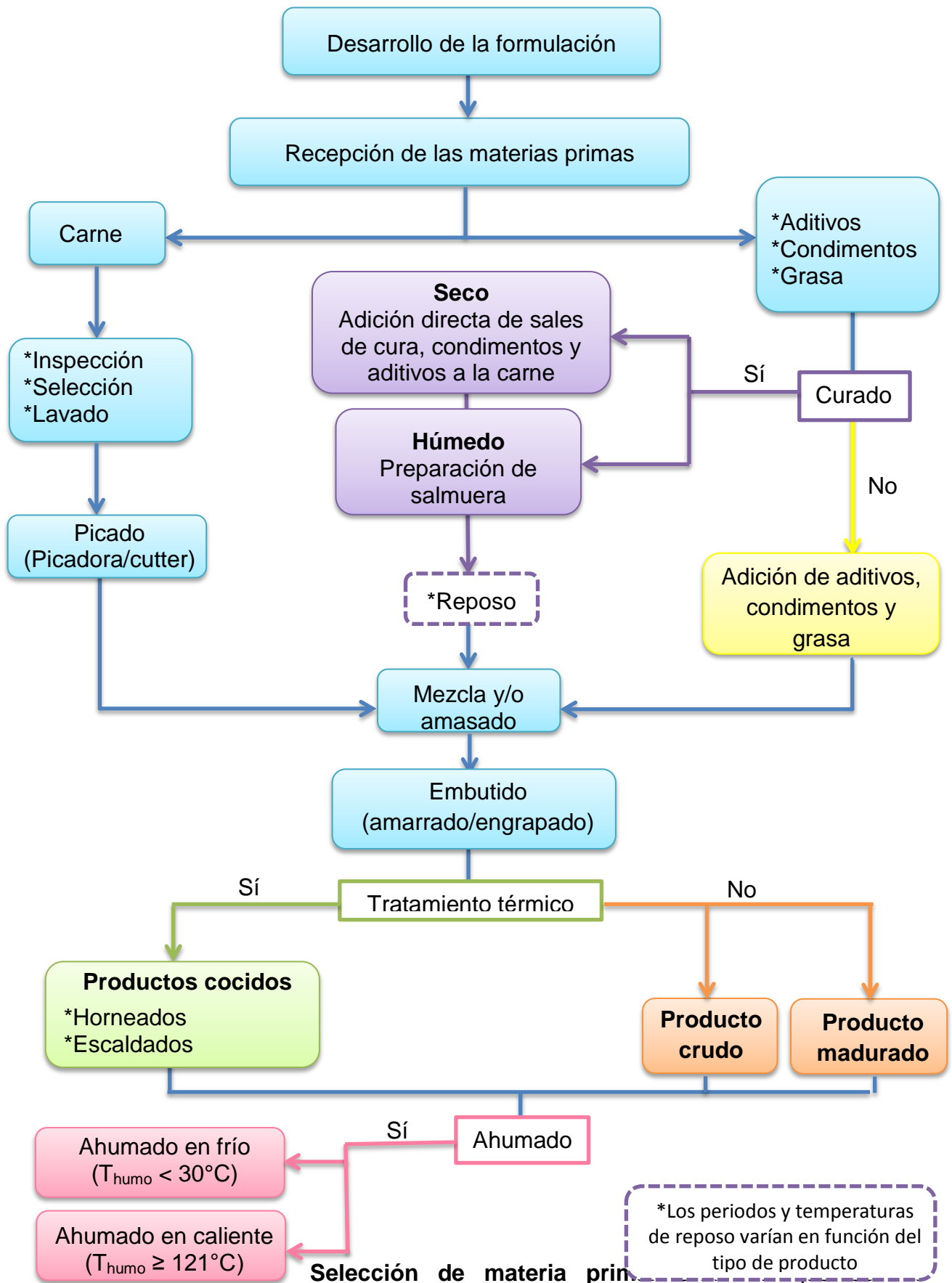
- Productos cárnicos curados : Aquellos a los que se agregan por vía húmeda o seca, sal o azúcares, nitratos y/o nitritos, independientemente de que sean sometidos a algún tratamiento térmico, a maduración o se manejen crudos.
- Productos cárnicos crudos: Elaborados con carne, vísceras o sus mezclas, que pueden ser o no curados o madurados, y que no son sometidos a ningún tratamiento térmico.
- Productos cárnicos cocidos: Elaborados con carne, vísceras, sangre o sus mezclas, curados o no, que son sometidos a proceso térmico.
- Productos cárnicos madurados: A los que son sometidos a deshidratación parcial, pudiendo ser ahumados o no, sometidos durante cierto tiempo a la acción de cultivos microbianos o enzimas o microorganismos propios de la carne y su acción sobre azúcares añadidos o no.

La fabricación de un embutido inicia con la formulación, la cual puede variar considerablemente dependiendo del fabricante y del producto en cuestión. Existen una serie de aditivos que cumplen determinadas funciones y entran a formar parte de una fórmula prácticamente en el 100% de los casos (*Vidal, 1997*):

- Sal común (Cloruro de sodio) : Se emplea como mejorador de sabor, sin embargo se sabe que tiene otras funciones de gran importancia tecnológica, ya que disminuye la actividad de agua (A_w), contribuyendo a disminuir de forma considerable la cantidad y desarrollo de los microorganismos que pudieran contaminar el producto. La disminución de A_w propicia la retención de cierta cantidad de agua en el embutido lo que aporta jugosidad y ayuda a la extracción de proteína soluble del músculo.
- Nitratos y nitritos: Se emplean como conservadores y son los responsables del sabor y color característico de los embutidos.
- Azúcares: Se usan básicamente como depresores de la actividad de agua, aunque tienen también un efecto importante sobre el sabor del producto. Los azúcares se suelen usar en forma de mezclas de distinta composición según los efectos buscados en el producto terminado.
- Fosfatos: Aumentan la capacidad de retención de agua (CRA), lo cual es importante para evitar que el producto quede excesivamente seco. Influyen en la regulación del pH para evitar acidificaciones elevadas.
- Estabilizantes y espesantes: Mantienen y mejoran la estructura del embutido, proporcionándole su consistencia característica. Los más empleados son los extractos de alga (carragenatos y alginatos).
- Condimentos y especias: Su función es la de realzar sabores y color. Su uso está sujeto a las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y depende de cada producto.

A continuación se muestra un diagrama en el que se esquematiza el proceso general para la elaboración de embutidos, cabe mencionar que el proceso puede presentar importantes variaciones dependiendo del tipo de producto a elaborar y del fabricante.

Diagrama 1. Esquema general para la elaboración de embutidos



Adaptado de SAGARPA, (sin año de publicación)

desarrollado la formulación, el siguiente paso es la obtención, selección y tratamiento de la materia prima. Cualquiera que sea la carne seleccionada, debe de provenir de animales sanos con la correspondiente certificación de las autoridades sanitarias competentes.

Picado de la carne. Posterior a la evaluación y lavado se procede a realizar el picado, que consiste en trocear la carne .Industrialmente, existen dos formas de realizar este proceso: con picadora o con *cutter*. La primera (Figura 2) en el caso de trabajar con carnes refrigeradas y la segunda (Figura 3) en caso de trabajar con carnes congeladas.



Figura 2. Picadora industrial

Imagen tomada del sitio web:
<http://eurhostel.es/picadoras-de-carne/738-picadora-de-carne-22-900w.html>



Figura 3. Cutter industrial

Imagen tomada del sitio web:
<https://www.youtube.com/watch?v=FsN9OuW-QfE>

Mediante el picado se busca reducir el tamaño de las carnes para producir un aumento de superficie con lo que se facilita la extracción de proteínas hidrosolubles.

Curado. Tras esta etapa del proceso pueden ser o no adicionados los aditivos para el curado de la carne. El curado se puede definir como la incorporación de sal, nitritos y/o nitratos, azúcar y fosfatos a la carne con el fin de mejorar su conservación y características de color aroma y sabor (*Tovar, 2003*).

Existen dos formas básicas para realizar el curado: la primera se llama curado en seco, y consiste en la utilización de sal sola o en mezcla con el nitrito, en este método la sal va a penetrar dentro del músculo vía osmótica para lo cual se requiere un tiempo no menor a 12 horas; la segunda es la llamada curado húmedo, con este método se utiliza agua como medio para disolver los ingredientes formando lo que se denomina *salmuera* para así facilitar un mayor contacto de estos con la carne. La salmuera puede penetrar por

contacto al dejar la carne sumergida en ella o bien se puede inyectar previo al picado a la masa muscular.

Amasado. En esta etapa se produce la mezcla de las carnes con los aditivos hasta conseguir una pasta de consistencia plástica ligada y uniforme.

Embutido. Una vez que se obtiene la mezcla con la consistencia adecuada se realiza el embutido, que consiste en introducir la masa cárnica en tripas naturales o sintéticas, puede realizarse de forma manual (Figura 4) o por medio de una embutidora (Figura 5). Debe cuidarse que la masa no quede ni muy floja ni muy apretada en el embutido, ya que en el primer caso podrían aparecer problemas de consistencia y hosquedades y en el segundo caso podrían producirse problemas de ruptura. Según el tipo de producto se ata o se engrapa.



Figura 4. Embutido manual

Imagen tomada del sitio web:
<https://www.flickr.com/photos/82313598@N00/36368338/>



Figura 5. Embutidora industrial

Imagen tomada del sitio web:
http://www.directindustry.it/prod/vemag/product-60475-555618.html#product-item_555593

Cocción. Una vez terminado el embutido puede ser cocido o madurado; en el caso de que se realice tratamiento térmico, se busca alcanzar como mínimo una temperatura de 70°C en su centro térmico, o una relación tiempo-temperatura equivalente, dependiendo del producto.

Ahumado. De forma opcional puede realizarse el ahumado, el cual confiere aroma, sabor, color y una mayor firmeza al embutido. Además de que ayuda a la conservación del producto, ya que algunos componentes del humo (aldehídos, ácidos y fenoles) poseen propiedades bactericidas, bacteriostáticas y antioxidantes (*Bello, 2000*).

3.4. NITRITOS Y EL CURADO DE LA CARNE

El origen del uso de los nitritos en el curado de la carne está directamente vinculado a la salazón, un proceso ancestral de conservación de carnes y pescados en el que se emplea sal común.

Las personas que se encargaban de llevar a cabo este proceso, se dieron cuenta de que las carnes conservadas con sal presentaban, después de la cocción, un color rojo y un sabor diferente a la carne cocinada sin sal.

La naturaleza de este color y sabor fue descubierta a finales del siglo XIX cuando las investigaciones demostraron que se debía a la presencia de salitre (nitratos) como impureza en la sal. Los nitratos eran reducidos por las bacterias a nitritos, que reaccionaban con la mioglobina del músculo, dando lugar al color rojo y sabor característicos (*Binkerd & Kolari, 1975*).

Estos descubrimientos fueron clave para establecer las bases de la química del curado de la carne, lo que resultó en la generación de mejoras muy significativas en la realización de dicho proceso.

Cuando se aprobó el uso de nitritos adicionados de forma directa a la carne en 1925 se creía que su única función era la de desarrollar color. No obstante a finales de esa década, se demostró que poseían efectos antimicrobianos y antioxidantes, por lo que su uso en la industria cárnica se fue haciendo cada vez más común (*Flores, 2008*).

3.4.1. Formación de color

El color de la carne, depende fundamentalmente del estado de oxidación de la mioglobina (Mb), la cual es una proteína globular que posee un grupo hemo b, que es responsable del enlace O₂-Mb, y su función es almacenar y facilitar la difusión del oxígeno en el músculo (*Austin et al., 1974*). Debido a su forma y polaridad la mioglobina es capaz de asociarse y disociarse rápidamente con la molécula de O₂ y con otras moléculas diatómicas, (*Blomberg et al., 2005*). En la Figura 6 se esquematizan los distintos estados de oxidación de esta molécula en función del ligando al que se encuentra unida.

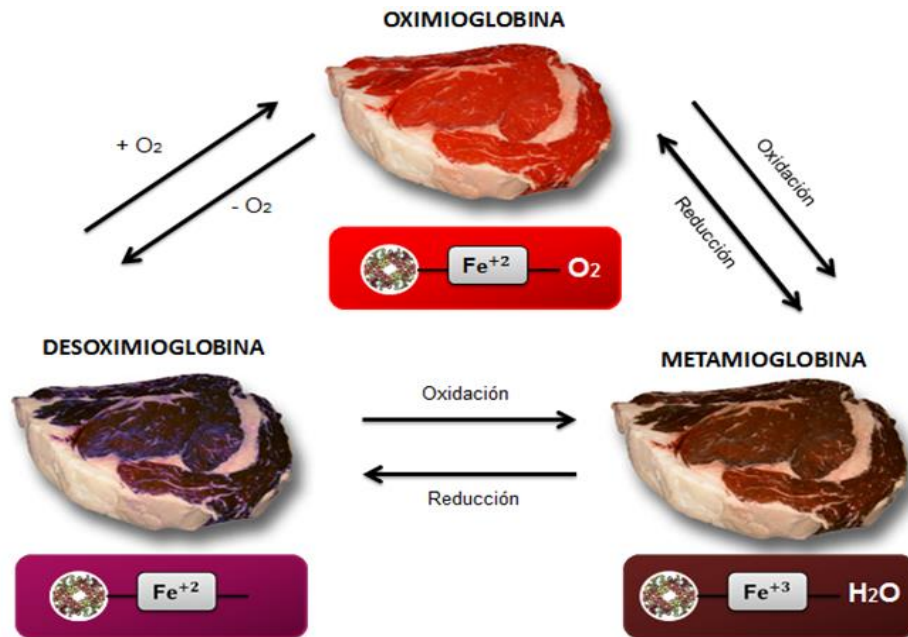


Figura 6. Color de la carne en función de los estados de oxidación de la mioglobina

Imagen modificada de: <https://carnicoss.wordpress.com/2013/04/15/alteraciones-que-puede-sufrir-la-carne/>

Durante el proceso de curado, el nitrito presente en el medio cárnico, es reducido a óxido nítrico o monóxido de nitrógeno (NO), el cual reacciona con el grupo hemo de la mioglobina (Figura 6).

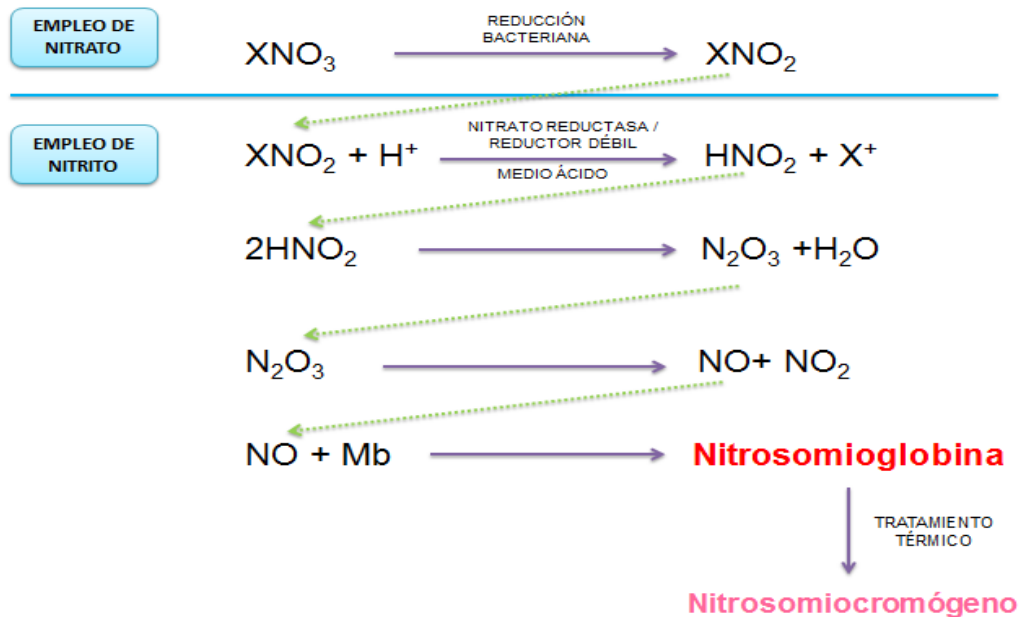


Figura 6. Mecanismo de reacción de la formación de color de curado en embutidos

Imagen modificada de: <http://slideplayer.com.br/slide/6087514/19/images/25/Rea%C3%A7%C3%B5es+envolvidas.jpg>

Se estima que del 5 al 15% del nitrito adicionado a la carne puede fijarse a los pigmentos. La cantidad mínima de nitrito necesaria, para la formación del color de curado en la carne y productos cárnicos es de 30 a 50 ppm (*Wirth, 1992*).

3.4.2. Efectos sobre el aroma y sabor

Los productos cárnicos curados presentan además del color, un aroma y sabor característicos, que difieren mucho a los de la carne tratada únicamente con sal común.

Estos efectos se acentúan a medida que aumenta la concentración de nitrito añadida, hasta un máximo de 200 ppm (*Redfield, 2014*).

Si bien el aroma a curado surge de la interacción del nitrito y sus derivados con compuestos propios de la carne, las reacciones implicadas y los productos finales no están bien definidos. Se ha observado que en los productos curados hay una menor proporción de compuestos carbonilo en comparación con carnes elaboradas sin la adición de nitritos, lo que, probablemente, se deba a la reducción de la oxidación lipídica.

En estudios de *Wirth (1992)*, para la formación del típico aroma y sabor a curado, en el producto cárnico, son suficientes de 20 a 40 ppm de nitrito.

3.4.3. Acción conservadora

La necesidad tecnológica del uso de los nitritos en la Industria Cárnica se fundamenta no sólo en las propiedades organolépticas que le confieren a los productos, sino también, en sus efectos antimicrobianos y antioxidantes.

3.4.3.1. Efectos antimicrobianos

A principios de siglo, se descubrió que los nitritos son capaces de impedir el desarrollo de microorganismos, patógenos y toxigénicos en los alimentos, así como de inhibir la formación de toxinas bacterianas.

Se han realizado numerosos estudios sobre la sensibilización de diversas especies de microorganismos frente al nitrito. Encontrándose que, no tiene efectos sobre el desarrollo de hongos, levaduras y bacterias Gram positivas, como las ácido-lácticas y microcáceas. Desde el punto de vista de la tecnología de productos cárnicos se demuestra el papel que desempeñan los nitritos y nitratos en la fabricación de embutidos desecados, cuyo proceso se orienta hacia el desarrollo de la flora microbiana, para la fermentación y maduración de los embutidos (*Flores, 2008*).

El primordial efecto conservador de los nitritos radica en su control sobre el desarrollo de células vegetativas y esporas de clostridios, principalmente *Clostridium botulinum* y la inhibición de la síntesis de la toxina botulínica.

En el proceso inhibitorio se combinan los efectos de muchas condiciones e ingredientes: pH del producto, nivel de sal, nitrito residual, nivel de esporas botulínicas viables y células vegetativas, temperatura, nivel de ascorbato o isoascorbato, nivel de hierro disponible en el producto, el proceso térmico aplicado al producto, el crecimiento de flora competitiva, tipo de carne y otros ingredientes de la formulación (*Bello, 2008*).

Con respecto al mecanismo de acción de los nitritos se sabe que, tanto la formación de ácido nitroso como la de los óxidos que derivan del mismo, son responsables de los efectos bactericidas y bacteriostáticos. En el caso del ácido nitroso, se sabe que se debe a la molécula no disociada, porque se ha comprobado que la actividad se incrementa cuando disminuye el pH de la carne. Según parece, en ambos casos se produce una inhibición del crecimiento microbiano, debido a la unión del compuesto químico con los grupos amino del sistema deshidrogenasa de las células microbianas.

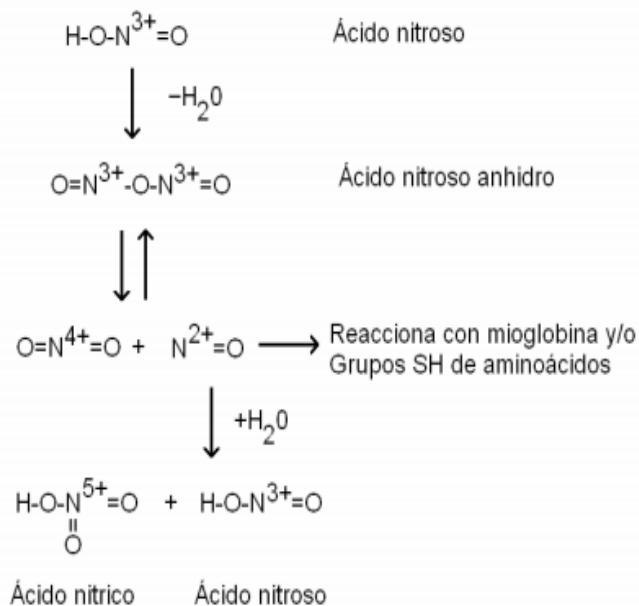


Figura 7. Reacción del ácido nitroso en sistemas cárnicos

Imagen adaptada de *Honikel, 2008*

Las bases bioquímicas de esta inhibición aunque no han sido descifradas en su totalidad, han podido explicarse algunos aspectos metabólicos de los microorganismos que son afectados por la acción inhibidora de los nitritos como:

- ✓ Restricción del empleo del hierro y otros metales esenciales, lo cual interfiere con el metabolismo y los mecanismos de reparación de la bacteria.
- ✓ Modificación de la permeabilidad de membranas celulares que limita el transporte de sustratos para el crecimiento de la célula bacteriana.
- ✓ Daño al ADN por oxidación.

Según Wirth (1992), las especies que originan intoxicación alimentaria, como clostridios, salmonelas, listerias, estafilococos y estreptococos son inhibidas en su desarrollo por concentraciones de 80 a 150 ppm de nitrito.

3.4.3.2. Efecto antioxidante

Además de sus propiedades antimicrobianas, el nitrito posee también un efecto inhibitor sobre la degradación oxidativa de la grasa de los productos cárnicos,

aunque, en este caso, se desconoce la concentración mínima necesaria para conseguir dicho efecto.

Los productos que no han sido tratados con nitritos y/o nitratos, durante el almacenamiento, desarrollan aromas y sabores extraños que, en la bibliografía científica, se conocen como WOF (Warmed Over Flavor), los cuales son consecuencia de la oxidación de los fosfolípidos de la carne que son muy sensibles a la oxidación por su contenido en dobles enlaces (*Igene, et al., 1979*).

En los productos curados, el nitrito actúa como antioxidante debido a que el átomo de hierro de la mioglobina, susceptible a ser oxidado, forma un complejo con el óxido nítrico (nitrosomioglobina), que evita su oxidación a la forma férrica que es la que actúa como catalizador de las reacciones de oxidación de los lípidos más lábiles, como los fosfolípidos (*Morrisey & Apte, 1988*).

Diversos estudios indican que los valores de ácido tiobarbitúrico y hexanal (productos derivados de la oxidación de lípidos), se reducen de manera significativa en productos tratados con nitrito. (*Greene & Price, 1975; McDonald, et al., 1980*).

3.4.4. Reacciones del nitrito en el medio cárnico

La carne es una matriz biológica extremadamente compleja que ofrece múltiples constituyentes; al entrar en contacto con una sustancia química tan reactiva como el nitrito, ocurren una serie de reacciones dando origen a la formación de una gran cantidad de productos.

Pruebas de que el nitrito reacciona cuando es añadido a la carne son, no sólo los efectos ya mencionados sobre su color, aroma y conservación, sino también el hecho de que una parte del nitrito adicionado inicialmente no se logra detectar en el producto terminado con la metodología utilizada.

Del total del nitrito agregado a los productos cárnicos, una fracción importante queda ligada a las proteínas del músculo, mientras que una porción menor reacciona con los tejidos conectivo y adiposo. Se sabe además que se llevan a cabo otras reacciones

como la oxidación a nitratos, la transformación a gases y la unión a grupos sulfhídrico (Cuadro 6).

Cuadro 6. Reacciones del nitrito en el medio cárnico

REACCIÓN	PORCENTAJE *
Unión a proteínas	20 - 30
Unión a mioglobina	5 - 10
Unión a lípidos	1 - 5
Oxidación a nitratos	1 - 10
Transformación a gas	1 - 5
Unión a grupos sulfhídrico	5 - 10

(Bazan, 2008)

*Del total de nitrito agregado.

El nitrito que no reacciona con ninguno de los componentes del medio cárnico, queda intacto en el producto como nitrito residual, aunque se ha documentado que esta cantidad decrece con el tiempo de almacenamiento (Sindelar, et al., 2011).

Varios estudios han revelado que el nitrito residual en los productos curados se ve involucrado en otras reacciones como la formación de nitrosaminas con efectos tóxicos y cancerígenos. Debido a estos hallazgos, surgieron en todo el mundo una serie de regulaciones para el uso seguro de este aditivo en los alimentos.

En el *Codex Alimentarius*, la norma CODEX-STAN-096-1981. NORMA DEL CODEX PARA EL JAMÓN CURADO COCIDO. (REV. 1 1991), establece que la Dosis máxima añadida (expresada como nitrito sódico) no debe sobrepasar los 200 mg/kg en total de nitrito. Mientras que la dosis máxima calculada sobre el contenido neto total del producto final no debe exceder los 125 mg/kg.

En México la NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. Establece como límite máximo (refiriéndose a la cantidad añadida como aditivo) 156 mg/kg.

3.5. EFECTOS DE LOS NITRITOS EN LA SALUD HUMANA

Los nitratos y nitritos están presentes de forma natural en el medio ambiente como consecuencia del ciclo del nitrógeno, que puede ser alterado por diversas actividades agrícolas e industriales.

Debido a esto, los nitratos y nitritos se encuentran ampliamente distribuidos en los alimentos, principalmente vegetales y agua potable.

Los niveles ingeridos de nitrito y nitrosocompuestos a partir de fuentes alimentarias exógenas son, generalmente, muy bajos (Cuadro 7) . Sin embargo, los niveles ingeridos de su precursor, nitrato, y los niveles de nitrito y nitrosocompuestos formados endógenamente en algunos fluidos del organismo humano son considerablemente más elevados (*Sindelar & Milkowski, 2012*).

Cuadro 7. Niveles de exposición humana a nitratos y nitritos provenientes de distintas fuentes

FUENTE DE EXPOSICIÓN	% NITRATO	% NITRITO
Dieta	83	2
Productos cárnicos curados	2	5
Agua	15	0.2
Saliva	0	92.8

(*Archer, 2002*)

Resulta difícil estimar un promedio de ingesta de nitratos / nitritos porque esta depende de la dieta individual y del contenido de estos iones en el agua potable, que varían según la región (*Almudena & Lizaso, 2001*).

Se ha postulado que la exposición a los nitratos y nitritos posee varios efectos perjudiciales para la salud. Por un lado, se encuentran los efectos tóxicos producidos por un exceso de nitratos/nitritos en la dieta y por otra parte, la formación endógena de nitrosocompuestos, de efectos cancerígenos.

3.5.1. Formación de metahemoglobina

Estudios epidemiológicos y clínicos en el hombre han demostrado que la principal manifestación tóxica derivada de la ingestión de nitritos e indirectamente de nitratos, es la metahemoglobinemia (García & Cañas, 1994).

Al entrar al torrente sanguíneo, los nitritos se unen a la hemoglobina, provocando la oxidación del hierro del grupo hemo de su estado ferroso al férrico, produciendo metahemoglobina (Figura 8).

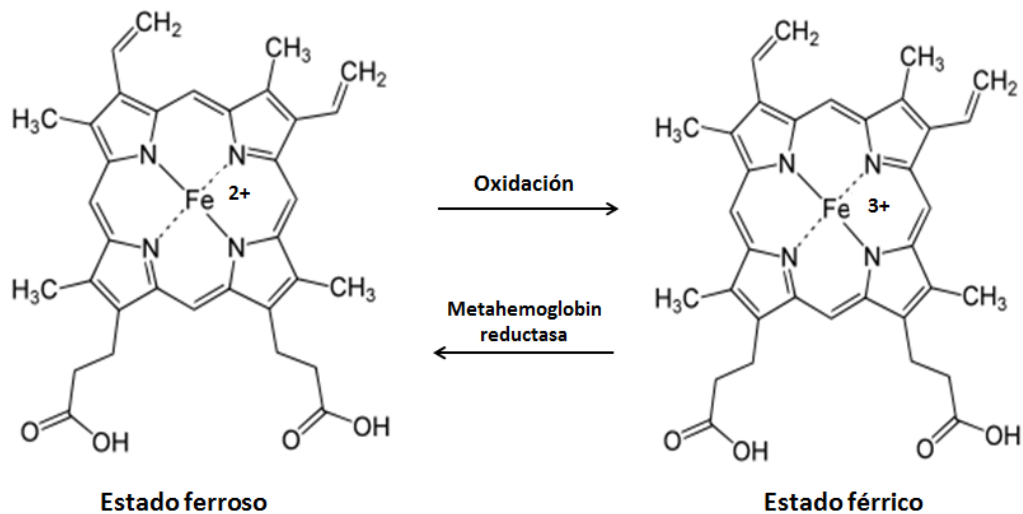


Figura 8. Oxidación del hierro en el grupo hemo

Imagen modificada de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2012000200005

La metahemoglobina no es capaz de transportar el oxígeno a los tejidos, pudiendo dar lugar a efectos tóxicos graves e incluso la muerte.

La sintomatología causada por la metahemoglobinemia está relacionada con la disminución de la oxigenación de los tejidos. Enfermedades previas como las pulmonares, insuficiencia cardíaca y anemia incrementan la toxicidad.

Los pacientes cuyos niveles de metahemoglobina se encuentran entre 10 y 15% de la hemoglobina total, con frecuencia presentan como único síntoma cianosis (coloración azulada en piel y/o mucosas).

Niveles de metahemoglobina de entre 20 y 40% producen además de cianosis, cefaleas, fatiga, debilidad, vértigo y taquicardias. Con niveles mayores del 40% se agregan disnea, braquicardia, letargia, convulsiones, acidosis metabólica y en ocasiones puede inducir al estado de coma (*Reynoso, 2014*).

Cuando la cantidad de metahemoglobina es superior al 70% de la hemoglobina total puede producirse la muerte, si no se da atención inmediata.

Este efecto se produce casi exclusivamente en los lactantes debido a la menor acidez de su estómago (que favorece el crecimiento de microorganismos capaces de reducir el nitrato a nitrito), a la presencia de hemoglobina fetal (que es más fácilmente oxidable por el nitrito) y a la existencia de un cierto déficit del sistema enzimático (NADHmetahemoglobin-reductasa) capaz de reducir la metahemoglobina (*Benz & Ebert, 2013*).

Para el tratamiento de esta patología se recurre principalmente a la administración de azul de metileno al 1%, en dosis de 1-2 mg/kg de peso corporal. Tratamientos alternativos incluyen la administración intravenosa de ácido ascórbico, oxigenoterapia hiperbárica, transfusión de glóbulos rojos y exanguinotransfusiones (*MedlinePlus, 2016*).

Debido a que en diferentes partes del mundo se han registrado intoxicaciones graves por nitritos tanto en niños como en adultos, el Comité Conjunto de Expertos de FAO/OMS asignó en su 44^a reunión llevada a cabo en Ginebra en 1995, una IDA (Ingesta Diaria Admisible) de 0 a 0.06 mg de nitrito por kg de peso corporal, expresada como ión de nitrito. Esta IDA se aplica a todas las fuentes de ingesta. Se estableció además que el nitrito no debe emplearse como aditivo de los alimentos para lactantes menores de tres meses. Asimismo el comité en esta reunión decidió mantener la IDA de nitrato establecida previamente de 0 a 3.7 mg/kg de peso corporal, expresada como ión de nitrato (*OMS/FAO, 1995*).

3.5.2. Formación de nitrosaminas

Los nitrosocompuestos fueron identificados por primera vez en 1863 por Geuther, pero fue hasta el año 1937 que se describieron sus efectos tóxicos en humanos (*Freund, 1937*).

En 1961, Ridd señaló que los nitrosocompuestos podrían formarse a partir de la reacción de un agente nitrosante sobre un grupo que presente un nitrógeno secundario. Si la unión se realiza con amina secundaria, el producto es una *nitrosamina*; si se trata de una amida, da lugar a *nitrosamidas*; la urea origina *nitrosoureas*, etc.

El pH óptimo de la reacción (Cuadro 8), así como la estabilidad del producto, varía en función del sustrato.

Cuadro 8. Valores de pH óptimo de N-nitrosación para diferentes sustratos

COMPUESTO NITROGENADO	pH ÓPTIMO DE N-NITROSACIÓN
Amina secundaria	3 – 3.5
Amina terciaria	3 – 3.4
Sales de amonio cuaternario	5.6
Aminoácidos (prolina)	2.5
Amidas, alquilureas, etc.	<2

(Hill, 1991)

La exposición humana a los N-nitrosocompuestos puede provenir de dos fuentes:

- **Exógena:** Por exposición ambiental / ocupacional. Consumo de tabaco. A través de la ingesta de nitrosocompuestos preformados en los alimentos.
- **Endógena:** Donde los nitrosocompuestos son sintetizados en el cuerpo a partir de precursores provenientes de la dieta.

Estimaciones sobre la exposición muestran que el aporte de nitrosocompuestos preformados a través de la dieta representa un 72 %, seguido de la exposición ocupacional (25 %), tabaco (2 %) y otras fuentes (1 %).

La presencia de nitrosocompuestos en los alimentos se debe a diferentes procesos realizados para su elaboración. Entre los que destacan el curado, el ahumado, el deshidratado y la salazón (*Hotchkiss, 1989; Tricker & Preussman, 1991*).

Para fines del presente trabajo, nos enfocaremos en el estudio de las nitrosaminas puesto que son el grupo de nitrosocompuestos que se encuentra mayormente relacionado con el tema de los productos “curados”, y que en los últimos años ha tomado gran importancia en las líneas de investigación científica puesto que se les ha señalado como sustancias altamente cancerígenas.

La dieta además de aportarnos nitrosaminas preformadas puede ser la vía de entrada de nitratos y nitritos que son sustratos para la formación endógena de dichos compuestos.

El nitrito, por sí mismo, no es un agente nitrosante activo, sin embargo, otros compuestos (N_2O_3 , N_2O_4 , NO^+) que proceden químicamente del comportamiento del nitrito en solución ácida, si lo son.

El balance entre las diferentes especies químicas que se forman depende del pH en concreto. Se conocen una serie de catalizadores (tiocianato, cloruro) e inhibidores (amonio, urea y vitamina C) de estas reacciones, algunos de los cuales pueden ser importantes para la regulación de la nitrosación en el medio ácido del estómago (*Archer, 2002; Shuker, 1988*)

La propiedad química más relevante de las nitrosaminas es su capacidad mutagénica, ya que pueden convertir sustancias electrofílicas en agentes alquilantes. Dichos agentes tienen la capacidad de reaccionar con el ADN alterando la configuración de sus bases e iniciar el proceso de carcinogénesis (*Saffill et al, 1985*).

4. METODOLOGÍA

4.1. Elaboración de embutido tipo jamón a base de tilapia

La formulación del embutido tipo jamón elaborado a base de tilapia (*Oreochromis spp*), se desarrolló a partir de la consulta bibliográfica del proceso de elaboración de los jamones cocidos.

Además se tomó como referencia la Norma Oficial Mexicana (NOM-122-SSA-1994) que señala las disposiciones sanitarias de carácter obligatorio para las plantas productoras y para los puntos de venta, las cuales incluyen las especificaciones en materia de contenido máximo de microorganismos, metales pesados y aditivos.

4.1.1. Desarrollo de la formulación

Inicialmente se tomaron como referencia dos formulaciones distintas:

Cuadro 9. Formulación 1 jamón cocido de cerdo

Ingrediente	%
Carne	76.92
Agua	19.13
Carragenato	0.50
Dextrosa	0.70
Ascorbato	0.05
Sal	2.0
Fosfatos	0.50

(Peñas, 2014)

Cuadro 10. Formulación 2 salmuera para preparar 1 kg de jamón cocido de cerdo

Ingrediente	g / l de agua
Fécula de maíz	40
Azúcar	30
Sal de cura	25
Sal	50
Hamine	25

(SAGARPA)

Dichas formulaciones fueron adaptadas a las necesidades del proyecto y a la disposición de los aditivos en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Química.

A manera de prueba piloto se realizaron jamones con 100 gramos de filete de tilapia para cada una de las formulaciones, utilizando las siguientes proporciones de ingredientes:

Cuadro 9. Formulación 1

Ingrediente	%	g
Filete de tilapia	75.94	100
Agua	20	26.4
Carragenina	0.8	1.0534
Dextrosa	0.7	0.9217
Sorbato de potasio	0.05	0.0658
Sal	2	2.6336
Fosfatos	0.5	0.6584
Nitrito de sodio	0.01	0.0131
Total	100	131.6825

Cuadro 10. Formulación 2

Ingrediente	%	g
Filete de tilapia	48.55	100
Agua	46	94.7476
Carragenina	0.8	1.6477
Azúcar	1.3	2.6776
Fécula de maíz	1.84	3.7899
Sal	1	2.0597
Fosfato de sodio	0.5	1.0298
Nitrito	0.01	0.0205
Total	100	205.9728

4.1.2. Proceso de elaboración

Para garantizar las buenas prácticas de higiene se emplearon guantes desechables, cofia y cubre bocas durante todas las etapas del proceso. Todo el equipo y material fue lavado y desinfectado con solución detergente e hipoclorito antes y después de ser utilizado para evitar la contaminación del producto.

- **Lavado.** Los filetes de tilapia empleados se adquirieron libres de piel y espinas, congelados y empacados en bolsas individuales. Se mantuvieron en congelación hasta utilizados.

El lavado de los filetes se realizó de acuerdo a la técnica descrita por Rodger (1977), que recomienda una parte de pescado por dos partes de agua fría y un tiempo de agitación de 5 minutos.

Una vez terminado el proceso de lavado los filetes se colocaron en charolas para permitir que el exceso de agua se escurriera.

- **Picado.** Los filetes se cortaron en cubos de aproximadamente 1x1 cm.
- **Pesaje.** Con ayuda de una balanza granataria se pesaron 100 gramos de cubitos de filete de tilapia en charolitas de unicel, para cada formulación.
- **Preparación de salmuera.** Empleando una balanza analítica se pesaron cada uno de los ingredientes de acuerdo a lo establecido en cada formulación.

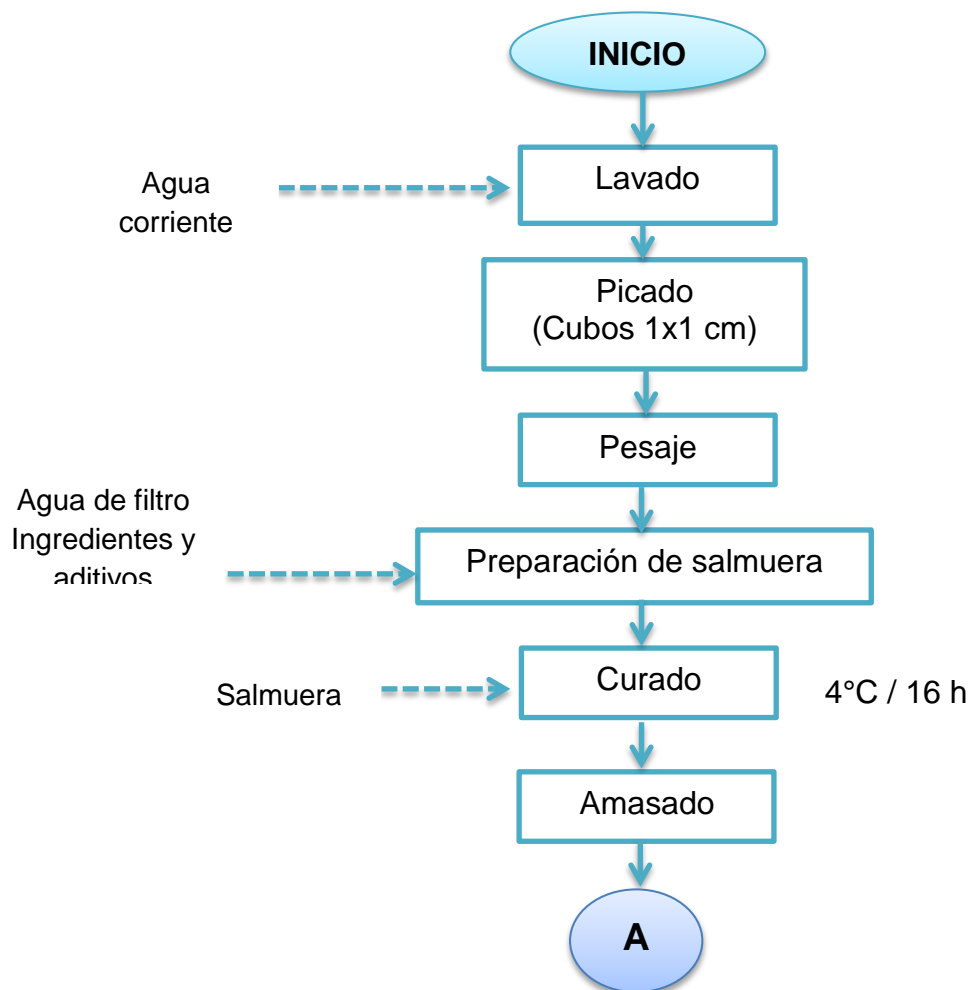
Se utilizó agua de filtro enfriada a 4°C; el volumen requerido para cada formulación se midió empleando una probeta limpia y desinfectada.

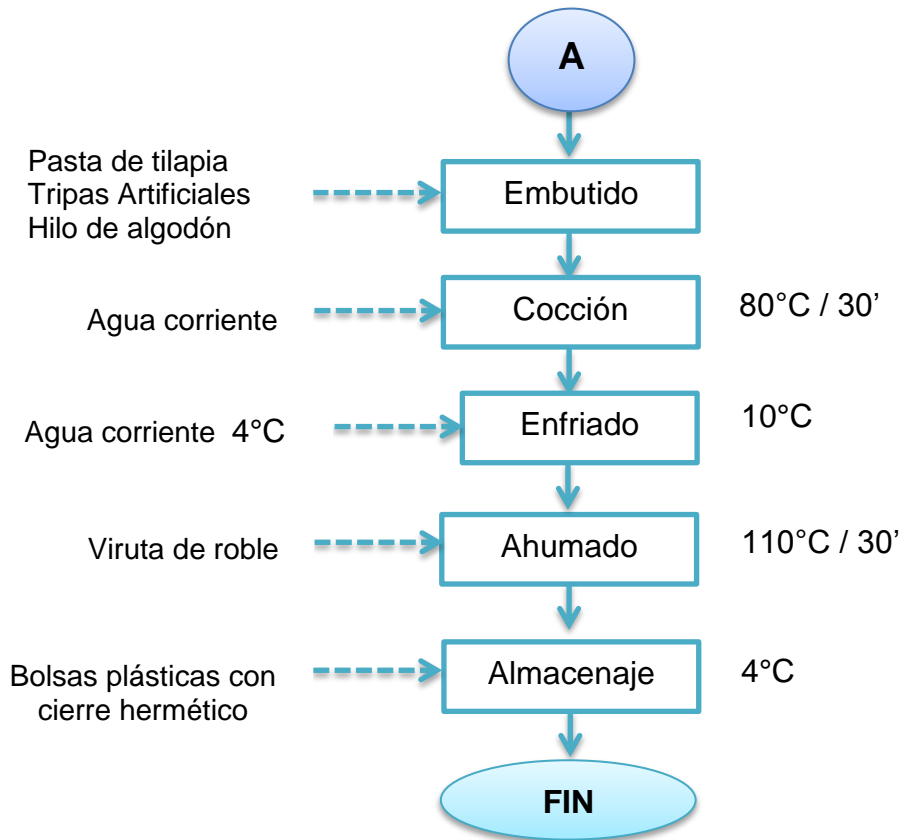
Una vez medidas las cantidades de cada ingrediente se realizó la disolución en recipientes con capacidad de 1 L.

- **Curado y amasado.** La mezcla del filete previamente picado y pesado con la salmuera, se homogenizó con ayuda de una batidora de inmersión hasta formar una pasta, la cual se dejó reposando en refrigeración durante 16 horas.
- **Embutido.** Transcurrido el tiempo de reposo se realizó el embutido de forma manual en tripas de celulosa con diámetro de 5 cm.
- **Cocción.** Se realizó en agua a 80°C durante un periodo de 30 minutos (Izquierdo, et al ,2007).

- **Enfriado.** Transcurrido el tiempo de cocción los embutidos fueron rociados con agua a 4°C , hasta alcanzar una temperatura de 10°C en su superficie
- **Ahumado.** Se llevó a cabo a una temperatura de 110°C durante 30 minutos en un ahumador eléctrico, empleando viruta de madera de roble.
- **Almacenaje.** empacados en bolsas plásticas con cierre hermético y almacenadas en refrigeración.

Diagrama 2. Diagrama general para la elaboración de embutido tipo jamón de tilapia (*Oreochromis spp*)





4.1.3. Optimización de la formulación en función de la evaluación de la textura y aceptación general.

Los embutidos fueron evaluados mediante una prueba de nivel de agrado utilizando una escala hedónica estructurada de cinco puntos (Anexo A).

La población que realizó la evaluación correspondió a 20 alumnos del Laboratorio de Tecnología de Alimentos, a los cuales se les ofrecieron cubos del embutido de aproximadamente 1.5 x 1.5 x 1.5 cm en platos desechables debidamente etiquetados con un número de tres dígitos elegido aleatoriamente para cada muestra. Cabe mencionar que a cada juez se le proporciono agua y pan blanco para comer entre muestra y muestra.

Tras el análisis de las pruebas se encontró que la formulación 1 fue la que obtuvo un mayor nivel de agrado entre la población.

A partir de la fórmula seleccionada se generaron tres nuevas formulaciones:

1. Sin adición de nitrito (Cuadro 11)
2. Con nitrito de sodio (Cuadro 12)
3. Con sal de cura (Cuadro 13)

En los siguientes cuadros se muestra la proporción de ingredientes que se empleó en cada una de las formulaciones, cabe mencionar que el proceso de elaboración fue el mismo que se explicó anteriormente, salvo que en esta ocasión previo a ser embutida, la masa de tilapia fue pesada y dividida en dos porciones. El 50 % de la masa embutida se dejó al natural y el 50 % restante se ahumó.

Cuadro 11. Formulación 1A. Embutido sin adición de sales nitrificantes

FORMULACIÓN 1A		
Ingrediente	%	Peso (g)
Filete de tilapia	76.95	540
Agua	20	140.3508
Carragenina	0.8	5.6140
Dextrosa	0.7	4.9122
Sorbato de potasio	0.05	0.3508
Sal	1	7.0175
Fosfato de sodio	0.5	3.5087
Total	100	701.754

Cuadro 12. Formulación 1B. Embutido adicionado con nitrito de sodio

FORMULACIÓN 1B		
Ingrediente	%	Peso (g)
Filete de tilapia	76.94	540
Agua	20	140.3691
Carragenina	0.8	5.6147
Dextrosa	0.7	4.9129
Sorbato de potasio	0.05	0.3509
Sal	1	7.0184
Fosfato de sodio	0.5	3.5092
Nitrito de sodio	0.01	0.0701
Total	100	701.8453

Cuadro 12. Formulación 1C. Embutido adicionado con sal de cura

FORMULACIÓN 1C

Ingrediente	%	Peso (g)
Filete de tilapia	76.72	540
Agua	20	140.7716
Carragenina	0.8	5.6308
Dextrosa	0.7	4.9270
Sorbato de potasio	0.05	0.3519
Sal	1	7.0385
Fosfato de sodio	0.5	3.5192
Sal de cura	0.23	1.6188
Total	100	703.8578

4.2. Determinaciones fisicoquímicas.

4.2.1. pH y acidez

El pH (potencial de hidrógeno) se define como la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en un medio, y sirve para expresar el grado de acidez o alcalinidad del mismo.

En el tejido muscular del animal vivo el pH es prácticamente neutro. Cuando el animal muere, el músculo se ve privado de riego sanguíneo y por lo tanto de oxígeno. Esto hace que se bloquee la síntesis de ATP, que es la fuente ordinaria de obtención de energía muscular, con lo cual el músculo se ve obligado a adquirir esa energía por vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, dando lugar a la producción de ácido láctico y como consecuencia la disminución del pH, por lo cual este, puede proporcionar información acerca de la condición de la carne (Castillo, 2014).

La determinación del pH se basa en la medición de la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata /cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidronio (NOM-F-317-S-1978).

Por otro lado la acidez de una sustancia se puede determinar por métodos volumétricos. Esta medición se realiza mediante una titulación, la cual implica

siempre tres agentes o medios: una disolución de concentración exactamente conocida (reactivo valorante), una disolución de concentración desconocida (reactivo a valorar) y un indicador con la capacidad de virar de color una vez que la reacción química entre las dos disoluciones sea completa.

Método para la determinación de pH

NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos

- a) Pesar 10 g de carne y adicionar 80 mL de agua destilada.
- b) Moler en una licuadora durante un minuto.
- c) Filtrar la muestra molida con manta de cielo.
- d) Aforar a 100 mL en un matraz aforado.
- e) Determinar el pH de la muestra en el potenciómetro.
- f) Realizar la determinación por triplicado.

Método para la determinación de acidez

Manual de Prácticas. Laboratorio de Tecnología de Alimentos. (2016)

- a) Pesar 10 g de carne y adicionar 80 mL de agua destilada.
- b) Moler en una licuadora durante un minuto.
- c) Filtrar la muestra molida con manta de cielo.
- d) Aforar a 100 mL en un matraz aforado.
- e) Colocar la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y titular con NaOH 0.1N, usando fenolftaleína como indicador
- f) Realizar la determinación por triplicado.

Resultado obtenido como porcentaje de ácido láctico:

$$\frac{\text{Volumen gastado NaOH (ml)} \times \text{Concentración NaOH (N)} \times \text{Peso ácido láctico (meq)}}{\text{Peso muestra (g)}}$$

4.2.2. Nitritos

Como se mencionó anteriormente, la adición de nitritos tiene un importante papel tecnológico en los productos cárnicos procesados, ya que provee características organolépticas particulares, además de que ayuda a su preservación.

Además de sus aplicaciones tecnológicas, los nitritos cobran vital importancia por sus implicaciones toxicológicas, además de su relación con la formación de cáncer. Por lo que se han desarrollado en todo el mundo legislaciones para controlar su uso.

Una de las medidas tomadas para verificar el cumplimiento del uso de nitritos dentro de los límites permitidos, es el monitoreo de los niveles de nitrito residual en distintos productos cárnicos. Las metodologías empleadas para este fin son técnicas espectrofotométricas, las cuales se fundamentan en la relación que existe entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración.

La metodología empleada para la determinación de nitritos en los embutidos generados en este proyecto fue la descrita por la Asociación de Comunidades Analíticas (AOAC por sus siglas en inglés) en el método oficial 973.3 , el cual se fundamenta en la reacción del nitrito presente en las muestras con la sulfanilamida para formar una sal de diazonio que reacciona con el clorhidrato de N-1- naftiletilendiamina para formar un azocompuesto color púrpura-rojizo cuya absorbancia se mide a 540 nm (*Cabrera, et al., 2003*).

Método para la determinación de nitritos

AOAC -OFFICIAL METHOD - 973.31 (Modificado)

I. Preparación solución estándar

- a) Solución stock (1000 ppm) .Disolver 0.1 g de NaNO_2 en agua destilada y diluir a 100ml.
- b) Solución intermedia (100 ppm) .Diluir 10 mL de la solución stock a 100 ml con agua destilada.

- c) Solución de trabajo (1 ppm) .Diluir 1 mL de la solución intermedia a 100 ml con agua destilada.

II. Curva de calibración

- a) En matraces aforados de 50 mL colocar alícuotas de la solución estándar como se indica en la siguiente tabla:

Volumen solución std (mL)	Concentración (ppm)
0	0
10	0.2
20	0.4
30	0.6
40	0.8

- b) Agregar a cada matraz 2.5 mL de reactivo sulfanilamida, mezclar y dejar reposar durante 5 minutos. Agregar 2.5 mL de reactivo NED.
- c) Transferir las soluciones a las celdas del espectrofotómetro y medir la absorbancia a 540 nanómetros.

III. Reactivos

- **Reactivo NED.** Disolver 0.2 g de N-(1-naftil)etilendiamina·2HCl en 150 ml de CH₃COOH 15% (v/v).Filtrar si es necesario. Almacenar en frasco color ámbar y mantener en refrigeración.
- **Reactivo Sulfanilamida.** Disolver 0.5 g de sulfanilamida en 150 mL de CH₃COOH 15 % (v/v).Filtrar si es necesario. Almacenar en frasco color ámbar y mantener en refrigeración.
- **Solución Carrez I.** Disolver 3.60 g de hexacianoferrato de potasio (II) en 100 mL de agua destilada. Almacenar a temperatura ambiente.
- **Solución Carrez II.** Disolver 7.20 g de sulfato de zinc en 100 mL de agua destilada. Almacenar a temperatura ambiente.
- **Solución NaOH.** Disolver 1 g de NaOH en 250 mL de agua destilada. Almacenar a temperatura ambiente.

III. Tratamiento de las muestras

- a) Moler con ayuda de una licuadora o procesador de alimentos la muestra y mezclar homogéneamente.
- b) Pesar 10 g (aprox) de muestra en un matraz Erlenmeyer de 100 mL, agregar 40 mL de agua destilada y mezclar hasta homogenizar.
- c) Colocar un tapón al matraz y llevar al autoclave durante 20 min (T 121°C / P 15 lb). Enfriar a temperatura ambiente.
- d) Transferir la mezcla a un matraz aforado de 250 mL, realizando lavados con agua destilada y llevar a la marca.
- e) Mezclar y filtrar.
- f) Colocar 60 mL del filtrado en un matraz aforado de 100 mL, agregar 5 mL de solución Carrez I, 5 mL de solución Carrez II y 10 mL de solución de NaOH. Mezclar cada vez que añada un componente. Llenar el matraz hasta la marca, mezclar y esperar a que sedimente.
- g) Tomar 1 mL de la parte superior del matraz (muestra clarificada) en un tubo de ensayo y completar el volumen con agua destilada a 10 mL.

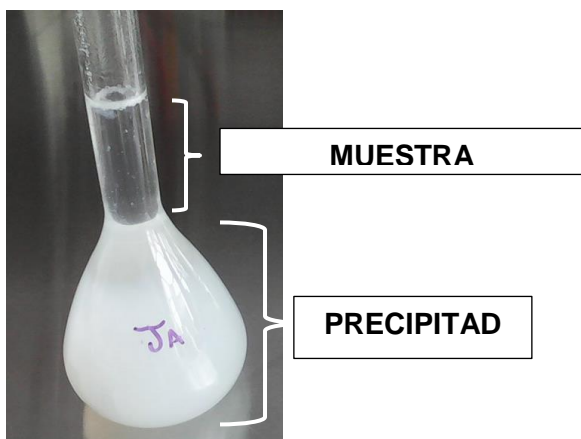


Figura 9. Muestra de jamón tras el proceso de clarificación con soluciones de Carrez.

- h) Agregar 2.5 mL de reactivo sulfanilamida, mezclar y dejar reposar durante 5 minutos. Agregar 2.5 mL de reactivo NED.
- i) Transferir la solución a la celda del espectrofotómetro y medir la absorbancia a 540 nanómetros.

4.3. Determinación de la vida de anaquel

4.3.1. Determinación de bases volátiles

La determinación de bases volátiles totales, es uno de los métodos más ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad de los productos pesqueros.

Es un término general que incluye la medición de trimetilamina (producida por deterioro bacteriano), dimetilamina (producida por enzimas autolíticas durante el almacenamiento en congelación), amoníaco (producido por desaminación de aminoácidos y catabolitos de nucleótidos) y otros compuestos nitrogenados básicos volátiles asociados con el deterioro de los productos pesqueros (FAO, 1998).

Las bases volátiles se extraen en un medio alcalinizado, y su concentración se determina mediante valoración de las bases absorbidas.

Un producto se considera fresco cuando el valor de BVT es inferior a 20 mg /100g, valores superiores son indicativos de alteración e inadecuados para su consumo cuando se alcanzan valores superiores a 35 mg /100g.

Método para la determinación de bases volátiles totales

NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.

(Modificado de acuerdo a Patiño, G. & Moreno, R. ,1996)

- a) Pesar 10 g de muestra molida y transferir a un tubo para digestión con ayuda de 20 mL de agua destilada. Agregar 0.5 g de óxido de magnesio.
- b) Montar el tubo en el equipo de destilación Kjeldhal
- c) Colocar en un matraz Erlenmeyer 50 mL de solución de ácido bórico al 2 % y unas gotas de indicador rojo de metilo.
- d) Recuperar 125 mL del destilado en el matraz Erlenmeyer.
- e) Titular utilizando HCl 0.1 N.
- f) Correr un blanco de reactivos bajo las mismas condiciones.

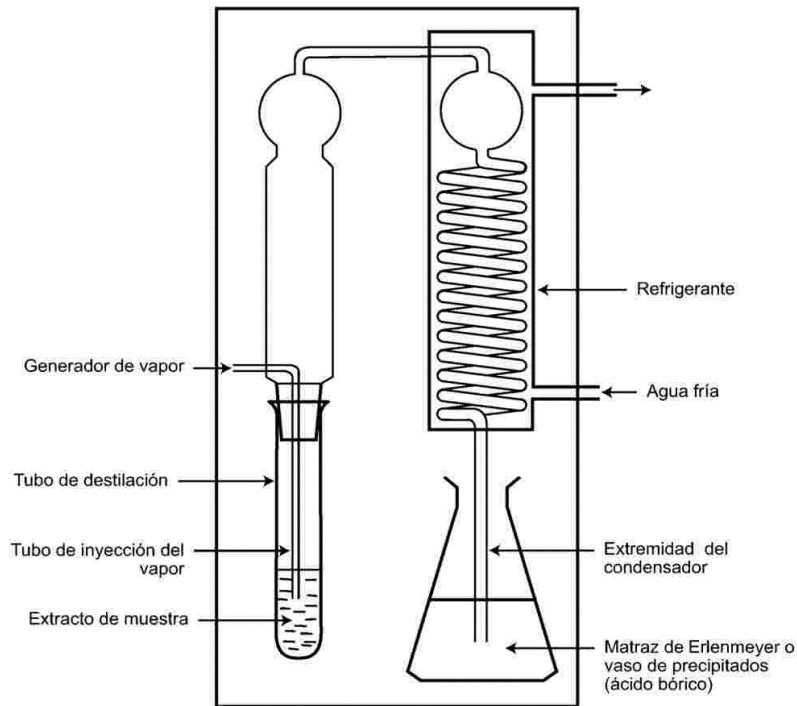


Figura 10. Microdestilador para la determinación de BVT

Imagen tomada del sitio web:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A02005R2074-20160603>

La cantidad de bases volátiles totales se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{mg BVT /100g} = \frac{(V_m - V_b)(N)(14)}{m} \times 100$$

Dónde:

V_m = Volumen de HCl (mL) gastado en la muestra
 V_b = Volumen de HCl gastado en el blanco

N = Concentración del HCl (Normalidad)
 M = Peso de la muestra en gramos

4.3.2. Análisis microbiológico

La finalidad del análisis microbiológico de los alimentos es evaluar la posible presencia de bacterias u organismos de importancia para la salud pública, y proporcionar una impresión sobre su calidad higiénica durante su manipulación y procesamiento. En general, los resultados microbiológicos no proporcionan ninguna información sobre la calidad comestible y la frescura del alimento.

El recuento total, representa el número total de bacterias capaces de formar colonias visibles en un medio de cultivo a una temperatura dada.

De acuerdo con la literatura las bacterias más propicias a desarrollarse en los embutidos, son las que pertenecen al grupo de los mesófilos (bacterias que se desarrollan a una temperatura de 25-37 °C) y al de los psicrófilos (cuya temperatura óptima de crecimiento es de 0°C - 5°C).

La carga microbiana de un alimento puede determinarse a través del recuento total en placa.

El fundamento de la técnica consiste en contar las colonias, que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación, presuponiendo que cada colonia proviene de un microorganismo de la muestra bajo estudio (*NOM-210-SSA1-2014*).

Método para la cuenta en placa de bacterias

Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. (2009)

I. Preparación de la dilución primaria.

- a) Pesar 10 g de la muestra en una bolsa con cierre hermético estéril de tamaño adecuado.
- b) Adicionar un volumen de 40 a 50 mL de agua peptonada y homogenizar.
- c) Permitir que las partículas grandes se sedimenten, y transferir tal contenedor con el sobrante de agua peptonada.

II. Preparación de las diluciones decimales adicionales.

- a) Transferir 1 mL de la dilución primaria, a un tubo con 9 mL de agua peptonada. Mezclar.
- b) Repetir el mismo procedimiento tomando 1 mL de la dilución anterior.

III. Recuento de mesófilos aerobios.

- a) Coloque la placa *Petrifilm*[™] en una superficie plana y nivelada. Levante la película superior.

- b) Con una pipeta perpendicular a la placa, coloque 1 mL de la muestra en el centro de la película cuadrículada inferior.
- c) Libere la película superior dejando que caiga sobre la muestra.
- d) Coloque el dispersor sobre la película superior cubriendo totalmente la muestra y presione suavemente.
- e) Espere 1 minuto a que se solidifique el gel. Incubar a 35°C 24-48 h.
- f) Contar y registrar el número de colonias.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Selección de la formulación en función a la evaluación de textura y aceptación general

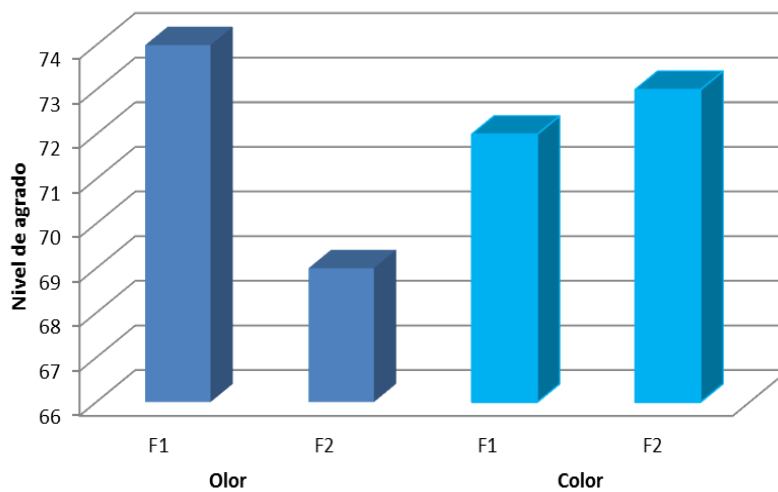
La fórmula del embutido de tilapia se desarrolló en base a dos formulaciones preestablecidas para la elaboración de jamón cocido de cerdo.

Ambas formulaciones fueron ajustadas a las necesidades del proyecto (adición de nitrito de sodio) y a la disponibilidad de aditivos en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos (sustitución de algunos aditivos por otros equivalentes).

Fueron elaborados dos embutidos empleando 100 gramos de filete de tilapia para cada formulación, con la finalidad de evaluar sus características sensoriales (textura, sabor, aroma y color).

Ambos embutidos fueron evaluados por 20 alumnos mediante una prueba de nivel de agrado, y se encontró que la formulación 1 fue la que obtuvo un mayor nivel de aceptabilidad.

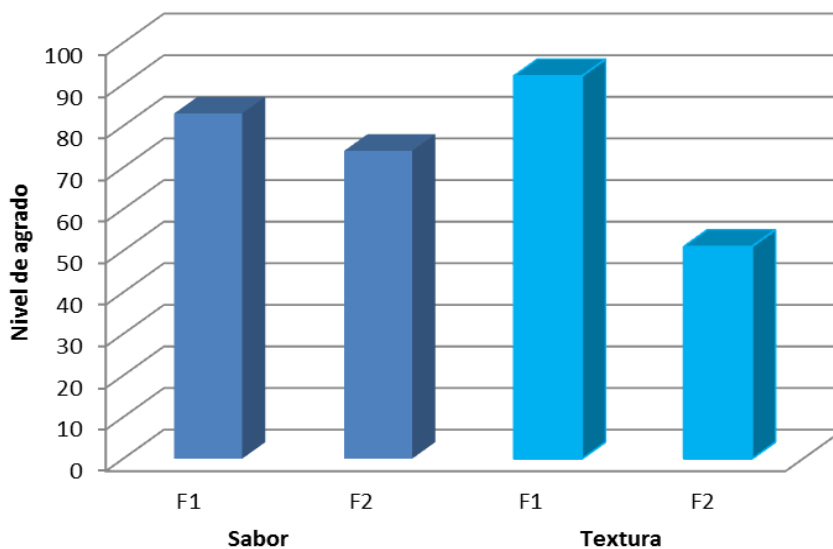
Con respecto al nivel de agrado del color y olor no hubo diferencias significativas entre ambas formulaciones (Gráfica 1).



Gráfica 1. Evaluación del nivel de agrado, respecto a color y olor de ambas formulaciones

Para la formulación 1 el 25% de los encuestados indicó que el olor les gustó muchísimo, mientras que para la formulación 2 sólo el 10% eligió esta puntuación. Con respecto al color el nivel de agrado para ambas formulaciones fue muy similar, puesto que, era casi idéntico en ambos embutidos.

En la gráfica 2 se muestra la evaluación del nivel de agrado con respecto a la textura y sabor.



Gráfica 2. Evaluación del nivel de agrado, respecto a sabor y textura de ambas formulaciones

Para la formulación 1 el 95 % de los jueces indicaron que el sabor les gustó muchísimo o moderadamente y hubo un solo juez que indicó que le gustó poco, pero a ninguno de ellos le disgustó el sabor. La textura fue calificada con puntuaciones superiores a los 3 puntos en la escala, obteniendo un muy buen nivel de aceptación.

El 60 % de los jueces indicó que el sabor de la formulación 2 le gustó muchísimo o moderadamente; con respecto a la textura el 35 % indicó que le disgustó muchísimo o moderadamente y sólo a un 5 % le gustó moderadamente, algunos de los jueces indicaron en el apartado de observaciones que la formulación 2 no era por completo de su agrado debido a que la textura era muy suave y diferente a la de los jamones convencionales, por lo que se descartó esta formulación.

5.2. Determinaciones fisicoquímicas

5.2.1. pH y acidez

En los alimentos el pH es uno de los principales parámetros a considerar para verificar la calidad de los mismos, ya que constituye un factor importante para su estabilidad puesto que determina el crecimiento de grupos de microorganismos específicos (SAGARPA, 2011).

En el cuadro 13 se muestran los valores de pH obtenidos para la materia prima y las tres formulaciones distintas, tanto en el jamón natural como en el jamón ahumado.

Cuadro 13. Valores de pH

Muestra	Formulación	pH
Filete de tilapia	-	6.68
Jamón cocido	1A	6.73
	1B	6.76
	1C	6.75
Jamón cocido y ahumado	1A	6.58
	1B	6.66
	1C	6.63

En el caso de la carne, el pH del músculo vivo está próximo a la neutralidad; cuando se produce la muerte del animal, el aporte de oxígeno a los tejidos cesa y predominan los procesos anaeróbicos (glucólisis anaeróbica) que generan la formación de ácido láctico a partir de glucógeno muscular (*Periago, 2009*), y por lo tanto un descenso del pH en el músculo.

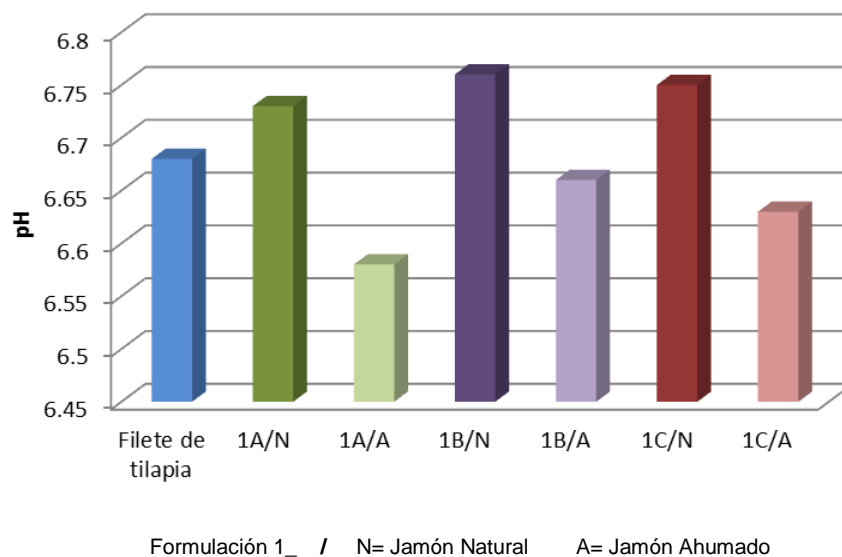
La cantidad de ácido láctico producido está relacionada con la cantidad de glucógeno almacenado en el tejido vivo. En general, el músculo de pescado contiene un nivel relativamente bajo de glucógeno, comparado con los mamíferos y por esta razón se genera mucho menos ácido láctico después de la muerte. El estado nutricional del pez y el grado de agotamiento al momento de la muerte, tienen un efecto dramático en los niveles de glucógeno almacenado y consecuentemente en el pH *post mortem* final (*FAO, 1998*).

Por lo general, el pH del pescado, inmediatamente después de su captura, es 7; luego desciende a 6.2-6.5, para volver a subir a 6.6-6.7. Lo que contribuye a su inestabilidad, ya que en estos valores de pH no se inhibe el desarrollo microbiano (*Pascual & Calderón, 2000*).

El pH obtenido en la materia prima (filete de tilapia) fue de 6.68, valor que se encuentra dentro del rango en el que se considera que el pescado es de buena calidad (*Guerrero & Rosmini., 2009*).

Cabe mencionar que el intervalo de acidez leve entre los valores de pH 5.8-7.3 es el más apropiado para la elaboración de jamones y embutidos cocidos y escaldados, ya que las características de la carne en este punto ofrecen ciertas ventajas tecnológicas, como una elevada capacidad de retención de agua (lo que la hace más apta para el curado) y mejores propiedades emulsionantes (*Jiménez & Carballo, 1989*).

Respecto a los embutidos, los valores de pH no mostraron diferencias significativas entre las tres formulaciones. Sin embargo, cabe resaltar que en los jamones ahumados hubo una disminución de pH de 0.12 unidades en promedio, lo que puede atribuirse a la concentración de los ácidos orgánicos generados por la combustión de la madera en la capa superficial de los embutidos (*Guerrero & Rosmini, 2009*).



Gráfica 3. Comparación de los valores de pH obtenidos para la materia prima y los embutidos

Como ya se mencionó el pH en los embutidos es un parámetro sumamente importante, ya que por un lado, influye sobre la estabilidad para la conservación de los productos, pero también tiene un papel importante en sus características organolépticas, debido a que pH bajos (menores a 4.5) pueden ser responsables de sabores ácidos y desagradables al consumidor (*Reuter, 1981; Frey, 1995*).

De forma adicional a la medición de pH se realizó la determinación de acidez en la materia prima y en los embutidos experimentales, los resultados se muestran a continuación en el cuadro 14.

Cuadro 14. Determinación de acidez, expresada como % de ácido láctico.

Muestra	Formulación	mL de NaOH (0.1 N)	Acidez (% ácido láctico)
Filete de tilapia	-	4.6	0.41
	1A	5.4	0.48
	1B	5.4	0.48
Jamón cocido	1C	5.5	0.47
	1A	6.3	0.56
Jamón cocido y ahumado	1B	6.0	0.54
	1C	5.3	0.49

El porcentaje de ácido láctico no presentó variaciones significativas entre los embutidos naturales (sin ahumar).

Con respecto a los jamones que fueron ahumados se observó que hubo un incremento leve en la acidez, el aumento más notable se dio en la formulación 1A (0.081 % mayor al jamón natural) seguida de la formulación 1B (0.054 %) y 1C (0.018 %). De acuerdo con lo descrito por Stiebing (1992) la acidez de los embutidos tiende a aumentar ligeramente tras recibir tratamiento térmico.

5.2.2. Nitritos

La NOM-213-SSA1-2002 establece como límite máximo permisible en productos cárnicos procesados 156 ppm (partes por millón = mg/kg) de nitratos/nitritos de sodio/potasio expresadas como nitritos. Refiriéndose este límite a la cantidad añadida como aditivo.

Los embutidos de tilapia elaborados se clasificaron en tres grupos, en función del tipo de agente nitrificante incorporado a cada formulación. El grupo A está constituido por las muestras control, es decir, carentes de aditivos nitrificantes. El grupo B incluye a las muestras elaboradas empleando nitrito de sodio como único agente nitrificante, y finalmente el grupo C comprendido por las muestras adicionadas con sal de cura comercial.

Se dio seguimiento a los tres grupos de embutidos durante un periodo de 6 semanas, partiendo desde la fecha de su elaboración. La medición de los niveles residuales de nitritos se realizó por duplicado para cada una de las muestras cada dos semanas durante este periodo.

Los resultados obtenidos en la determinación de los niveles residuales de nitrito en los embutidos de tilapia analizados se expresan en mg de NO_2^- /kg de embutido (ppm).

Cuadro 15. Determinación de los niveles de nitrito residual.

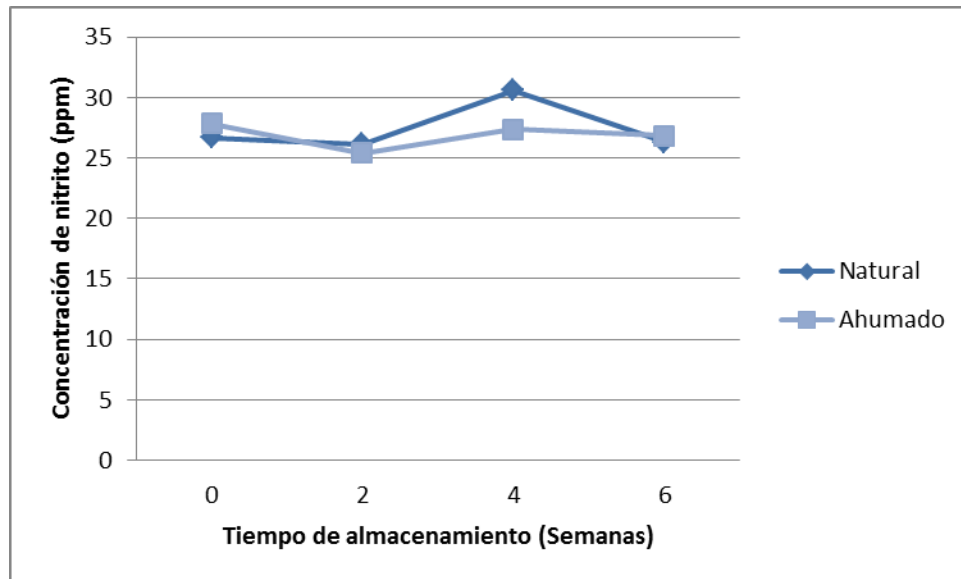
Semana	Muestra	Concentración NO ₂ ⁻ (ppm)	
		Jamón natural	Jamón Ahumado
0	F1A	26.65	27.82
	F1B	87.65	80.88
	F1C	127.11	111.29
2	F1A	26.13	25.42
	F1B	69.96	64.06
	F1C	74.26	87.16
4	F1A	30.59	27.37
	F1B	69.66	68.05
	F1C	107.09	87.86
6	F1A	26.28	26.85
	F1B	61.54	51.97
	F1C	58.89	62.07

Las muestras control grupo A (sin adición de agentes nitrificantes) fueron incluidas en el estudio con el propósito de obtener información sobre el aporte de nitrito de todos los ingredientes que han formado parte de la composición de los embutidos experimentales, al contenido total de nitrito residual en la muestra.

De acuerdo con Hammer (1992) entre 10 y 30 ppm de nitrito llegan al producto cárnico a partir de la carne, agua, aditivos y especias. Siendo el agua el factor de mayor importancia debido a que la concentración de nitritos en el agua potable es muy variable dependiendo de la región.

Esto puede explicar que se hayan encontrado concentraciones de 26.85 y 27.82 ppm de NO₂⁻ en los embutidos de la formulación 1A natural y ahumado respectivamente.

Las concentraciones de nitrito residual determinadas de los embutidos del grupo A fueron variando en función del tiempo de almacenamiento (Gráfica 4).



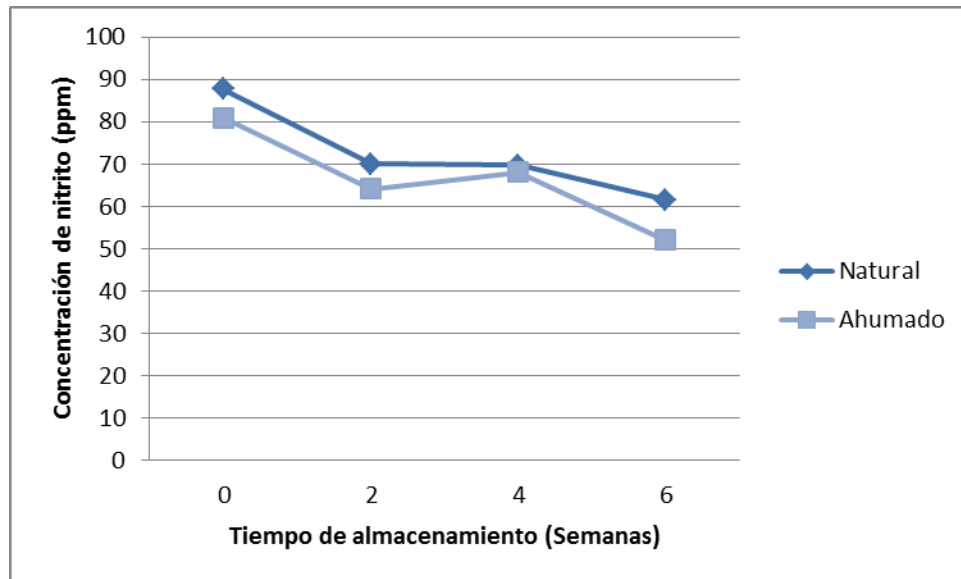
Gráfica 4. Niveles de nitrito residual en muestras del grupo A

De manera inicial la concentración de nitritos en las muestras del grupo A no mostraron diferencias significativas entre sí. En la segunda determinación de nitritos realizada (semana 2) se encontró que hubo una disminución en la concentración de nitritos de 0.52 y 2.4 ppm para el jamón natural y para el jamón ahumado respectivamente.

En la semana 4 se detectó un aumento considerable en la concentración de nitritos de ambas muestras, lo que podría explicarse en caso de que hubiera presencia de nitratos en el producto, los cuales con frecuencia se encuentran como contaminantes en el agua y la sal y al ser reducidos por acción bacteriana y/o enzimática se convierten en nitritos.

En la sexta semana hubo de nuevo un descenso en la concentración de nitritos. Este comportamiento era esperado puesto que varios estudios han confirmado que durante el almacenamiento, los niveles residuales de nitritos se van consumiendo de manera gradual dentro del medio cárnico, lo que resulta en la estabilidad organoléptica y microbiana del producto.

Con respecto a las muestras del grupo B, en la cuales se empleó nitrito de sodio como agente nitrificante se observó que hubo una disminución progresiva del nivel de nitrito residual en función al tiempo de almacenamiento (Gráfica 5).



Gráfica 5. Niveles de nitrito residual en muestras del grupo B

De acuerdo con lo descrito por Durand (1988), la reducción gradual del nitrito residual en productos cárnicos depende de varios factores tales como la temperatura y pH.

En la gráfica 5 se observa que los niveles de nitrito residual en las dos muestras de embutidos pertenecientes al grupo B, presentaron un comportamiento muy similar durante el periodo de estudio, esto puede atribuirse a que las condiciones almacenamiento (temperatura) fueron las mismas para ambas muestras y no se encontró además una diferencia significativa entre el valor de pH de cada muestra.

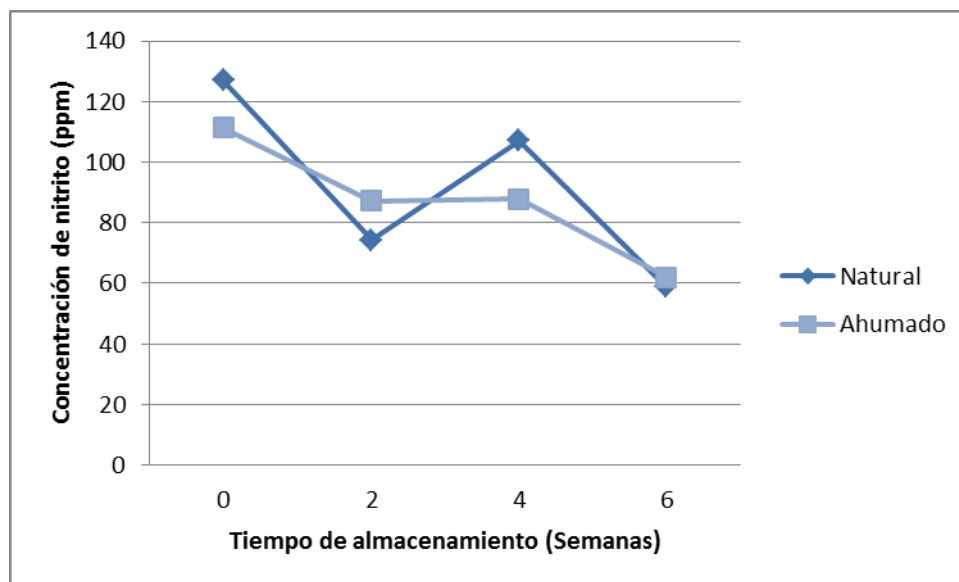
Es importante mencionar que la reducción gradual del nitrito residual ocurre de forma más rápida a pH ácido y temperaturas crecientes (*Lee, et al., 1976*).

Los embutidos pertenecientes al grupo C (Gráfica 6) mostraron un comportamiento similar al de los embutidos del grupo B, puesto que también se observó una disminución gradual en la concentración de nitritos en función al tiempo de almacenamiento, salvo en el caso del jamón natural, que en la cuarta semana presentó un aumento considerable en la concentración residual de nitritos.

Esta variación pudo haber ocurrido debido a que, a diferencia de los embutidos de los grupos A y B, los jamones de tilapia del grupo C contienen una cantidad de nitratos añadida, por el empleo de la sal de cura comercial como agente nitrificante,

la cual es una mezcla de cloruro de sodio , nitratos y nitritos. Al encontrarse una mayor cantidad de nitratos disponibles en el medio, la concentración de nitritos tiende a aumentar debido a la reducción bacteriana de los nitratos.

Es posible que en el caso del jamón ahumado no se haya observado el mismo aumento en la concentración de nitritos residuales que en el jamón natural debido a que la carga bacteriana es más baja (ver apartado 6.3.2. *Análisis microbiológico*) como consecuencia del propio proceso de ahumado.



Gráfica 6. Niveles de nitrito residual en muestras del grupo C

5.3. Determinación de la vida de anaquel

5.3.1. Determinación de bases volátiles

La *NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba*, establece como límite máximo de bases volátiles totales (BVT) 35 mg/100 g de músculo de pescado.

Las bases nitrogenadas volátiles se extraen en un medio alcalinizado, los componentes básicos volátiles se absorben en un receptor ácido y la concentración de BVT se determina mediante la valoración de las bases absorbidas.

La cantidad de BTV se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{mg BVT/100g} = \frac{(V_M - V_B) \times N \times 14}{m} \times 100$$

Dónde:

VM = Volumen de HCl utilizado para la titulación de la muestra (mL)

VB = Volumen de HCl utilizado para la titulación del blanco (mL)

N = Normalidad del HCl

14 = Miliequivalente de Nitrógeno

m = Peso de la muestra (g)

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la determinación de BVT para cada una de las formulaciones de los embutidos de tilapia a las 2 y 4 semanas posteriores a su elaboración.

Cuadro 16. Determinación de bases volátiles totales (BVT)

Tiempo	Muestra	BVT (mg/ 100g)
2 Semanas	F1A _N	5.19
	F1A _A	6.65
	F1B _N	10.93
	F1B _A	9.62
	F1C _N	10.39
	F1C _A	15.48
4 Semanas	F1A _N	5.50
	F1A _A	7.83
	F1B _N	11.10
	F1B _A	9.68
	F1C _N	10.83
	F1C _A	17.35

Durante el periodo de almacenamiento en que fueron monitoreadas las muestras, ninguna de ellas superó el límite máximo de BVT establecido en la *NOM-242-SSA1-2009*.

Pese a que las concentraciones de BVT en todas las muestras indican que estas son aptas para consumo hasta el momento de la última determinación (Semana 4), es importante mencionar que se encontraron variaciones importantes respecto a las cantidades de BVT entre las diferentes formulaciones e incluso entre embutidos pertenecientes a la misma formulación tras ser ahumados.

Las variaciones en la concentración de BVT entre las muestras naturales y ahumadas de embutidos provenientes de la misma formulación, pueden explicarse debido a que el proceso ahumado puede aportar derivados nitrogenados a la carne, aumentando su concentración en el producto (*Consumer, 2004*).

Con respecto a las variantes entre formulaciones, se encontró que en los embutidos adicionados con algún agente nitrificante (nitritos o sal de cura) había una mayor concentración de BVT en comparación con los embutidos control. Esto puede atribuirse a que los nitritos generan como producto de diversas reacciones (ver apartado 4.4.4. *Reacciones del nitrito en el medio cárnico*) compuestos nitrogenados en el medio cárnico, expresándose esto como un aumento en la concentración de BVT en el producto.

El aumento que se observa de manera general en todas las muestras a la cuarta semana de almacenamiento en la cantidad de BVT con respecto a la segunda semana era esperado, ya que con el tiempo los productos resultantes de la degradación microbiana y autolítica del tejido se acumulan en cantidades mayores.

5.3.2. Análisis microbiológico

De forma adicional a la determinación de BVT se realizó el análisis microbiológico de los embutidos a través del conteo en placa de mesófilos aerobios, con el propósito de complementar la información sobre la estabilidad de los productos durante el periodo de almacenamiento.

Debido a la disponibilidad de insumos únicamente se realizó una prueba a cada formulación. En el cuadro 17 se muestran los resultados de los conteos obtenidos para cada muestra.

Cuadro 17. Determinación de mesófilos aerobios en placa

MESÓFILOS AEROBIOS (a 35° C/ 24 hrs)						
Tiempo	Muestra	Serie duplicados	Diluciones			Total (UFC/g)
			10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	
2 SEMANAS	F1A _N	A	MNPC	187	35	26X10 ³
		B	MNPC	184	31	
	F1A _A	A	119	24	1	12X10 ²
		B	123	18	3	
4 SEMANAS	F1B _N	A	/	146	19	34X10 ³
		B	/	118	90	
	F1B _A	A	21	4	/	2x10 ² Valor estimado
		B	20	4	/	
	F1C _N	A	/	31	3	3X10 ³
		B	/	28	5	
	F1C _A	A	49	6	/	5X10 ²
		B	51	5	/	

La *NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.* Establece como límites máximos permisibles entre 10,000 y 60,000 UFC mesófilos aerobios /g en productos cocidos.

Al momento del análisis, todos los embutidos se encontraron dentro de los límites establecidos por la norma, por lo cual se considera que son aptos para su consumo hasta ese punto. Cabe resaltar que el análisis de las muestras del grupo F1A (sin adición de agentes nitrificantes) se realizó únicamente a las 2 semanas de almacenamiento, por lo cual es probable que a las 4 semanas podrían superar el límite máximo permitido de microorganismos mesofílicos, basándonos en estos resultados.

Por otro lado, las muestras de los grupos F1B (adicionadas con nitrito) y F1C (adicionadas con sal de cura) presentaron una menor carga de microorganismos respecto al grupo de embutidos control. El resultado era esperado debido a las propiedades bacteriostáticas y bactericidas que poseen los nitritos (ver apartado 4.4.3.1. *Efectos antimicrobianos*).

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede determinar que los efectos antimicrobianos del nitrito en conjunto con los del ahumado, proveen buena estabilidad al producto, evitando el desarrollo acelerado de microorganismos patógenos y que alteran el alimento.

6. CONCLUSIONES

- ✓ La tilapia (*Oreochromis spp*) posee características fisicoquímicas que la convierten en una materia prima valiosa y apta para la elaboración de embutidos de buena calidad.
- ✓ Los embutidos elaborados a partir de tilapia tienen buena oportunidad de ser comercializados con éxito, ya que tuvieron un buen nivel de aceptación entre los potenciales consumidores y tiene la ventaja competitiva de ser un producto novedoso, de alto valor nutricional y de producción accesible.
- ✓ Durante el periodo de almacenamiento la concentración de nitrito residual en los embutidos disminuye de forma gradual. Encontrándose que a la sexta semana de almacenamiento los embutidos conservan en promedio sólo el 38% del nitrito inicialmente adicionado; por lo que un producto elaborado de acuerdo a las especificaciones de la NOM-213-SSA1-2002 (con 156 ppm de nitrito adicionado) se consideraría apto para el consumo debido a que la concentración de nitritos residuales sería de aproximadamente 59.28 ppm , sin embargo, se sabe que los microorganismos que pueden originar intoxicaciones alimentarias son inhibidos a concentraciones de entre 80 y 150 ppm de nitrito, por lo que sería recomendable evaluar de forma conjunta la evolución de los nitritos y el crecimiento de la flora bacteriana del producto para determinar si las concentraciones de nitrito residual son capaces de controlar el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos.
- ✓ Los resultados en las determinaciones de nitritos en muestras naturales y ahumadas de la misma formulación no mostraron una tendencia clara, por lo que

no se puede establecer si existe una relación entre las concentraciones de nitrito residual y el proceso de ahumado.

- ✓ De acuerdo con los resultados obtenidos tanto las muestras adicionadas con nitrito de sodio, como las adicionadas con sal de cura cumplen con las especificaciones sanitarias establecidas por la NOM-213-SSA1-2002, por lo cual se consideran aptas para consumo humano.
- ✓ Debido a la carencia de información técnica por parte de los proveedores de sales de cura comerciales, resulta complicado determinar con precisión la concentración de nitrito residual en los productos cárnicos elaborados empleando este tipo de agentes nitrificantes. Esta falta de información podría desembocar en el incumplimiento de las especificaciones sanitarias para este tipo de productos poniendo en riesgo la salud de los consumidores.
- ✓ Puesto que el uso de agentes nitrificantes representa un riesgo para la salud de los consumidores, pero también aporta grandes ventajas tecnológicas para la producción de embutidos es importante determinar cómo es que estas sustancias se comportan a lo largo de la vida útil de los productos cárnicos. Por lo que se recomienda para futuros trabajos monitorear por periodos más prolongados y con más frecuencia los niveles de nitrito residuales; además de realizar estudios comparativos entre productos elaborados a partir carnes de diferentes especies animales.

- ALMUDENA, A.; LIZASO, J. (2001). *Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas*. Fundación Ibérica Para La Seguridad Alimentaria. Registro de Fundaciones de la Comunidad de Madrid .Tomo XXX, Folio 1-25, Fecha 15-01-2001.
- ARCHER, D. (2002). *Evidence that Ingested Nitrate and Nitrite Are Beneficial to Health*. Journal of Food Protection, Vol. 65, No. 5, 2002, pp 872–875.
- AUSTIN, R. y otros cinco autores. (1974). *Activation energy spectrum of a biomolecule: Photodissociation of carbon monoxide myoglobin at low temperature*, Phys. Review Letter: 32 (8) .pp 403-405.
- BAZAN, E. (2008). *Nitritos y nitratos: Su uso, control y alternativas en embutidos cárnicos*. Necameh .Vol. 2, No. 2. pp 160-187.
- BEDOLLA, S.; DUEÑAS, C.; ESQUIVEL, I.; FAVELA, T.; GUERRERO, R.; *et al.* (2004). *Introducción a la tecnología de alimentos*. Limusa. México. pp 70-71.
- BELLO, J. (2000). *Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos*. Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid, España. pp 467-471
- BELLO, J. (2008). *Jamón curado: Aspectos científicos y tecnológicos*. Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid, España. pp 193-197.
- BENZ, E.; EBERT, B. (2013). *Hematology: Basic Principles and Practice*. 6th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; 2013: cap 41.
- BINKERD, E.; KOLARI, O. (1975). *The history and use of nitrate and nitrite in the curing of meat*. Fd Cosmet. Toxicol Vol. 13. Pergamon Press. pp. 655--661.
- BLOMBERG, L.; BLOMBERG, M.; A. SIEGBAHN.(2005). *Theoretical study on the binding of O₂, NO and CO to heme proteins*, J. Inorganic Biochem.: 99, pp 949–958.
- BODWELL, C.; ANDERSON, B. (1986). *Muscle as a Food: Nutritional composition and value of meat and meat products*. Academic Press, Inc.: Orlando.

- BORDERÍAS, A.; TEJADA, M.; JIMÉNEZ, F.; MONTERO, P. (1987). *El músculo de pescado: conservación a bajas temperaturas*. Alimentaria. pp 25-36.
- CABRERA, E.; HERNÁNDEZ, L.; GÓMEZ, H.; CAÑIZARES, M. (2003). *Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar*. Journal of the Mexican Chemical Society, vol. 47, núm. 1, enero-marzo, 2003, pp. 88-92 Sociedad Química de México: Distrito Federal, México.
- CAMACHO, A.; GILES, A.; ORTEGÓN, M.; PALAO, B., *et al.* (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- CASTILLO, W. (2014). *Determinación de pH y acidez titulable en carnes vacunos, caprinos y porcinos*. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo .Universidad Señor de Sipán. Consultado el día 8/04/2017 en el sitio web : https://issuu.com/jenriquemeneses/docs/informe_n_07_-_100_.docx
- CAVERO, V. (2015). *Come pez: Es un tesoro*. Consultado en línea el día 12/11/2017 en el sitio web: <https://pontonutri.wordpress.com/2015/02/05/el-pescado-es-un-tesoro/>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2015). *La acuicultura*. Reporte junio 2015. Consultado el día 27/10/2016 en el sitio web: <http://www.cedrssa.gob.mx/includes/asp/download.asp?iddocumento=3057&idurl=4926>
- Consumer. (2004). *Análisis Comparativo: Salmón Ahumado Envasado*. Revista Consumer. Diciembre 26. Consultado el día 26/05/2017 en el sitio web : <http://revista.consumer.es/web/es/20041201/pdf/analisis.pdf>
- Codex Alimentarius. (1991). *CODEX-STAN-096-1981. Norma del CODEX para el jamón curado cocido*. Consultado en línea el día 05/03/2017 en el sitio web: www.fao.org/input/download/standards/159/CXS_096s_2015.pdf
- Diario Oficial de la Federación. (1978). *NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos*. Dirección General De Normas.
- Diario Oficial de la Federación. (1994). *Norma Oficial Mexicana NOM-122-SSA1-1994, Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, y curados emulsionados y cocidos. Especificaciones sanitarias*.

- Diario Oficial de la Federación. (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, *Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.*
- Diario Oficial de la Federación. (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, *Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.*
- Diario Oficial de la Federación. (2009). Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, *Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.*
- DURAND, P; ROSSET, R.; VENDEUVRE, J. (1988). *Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias.* Ed. Acibia, Zaragoza, Pp. 475-530.
- ESTEVAN, M. (2013). *El mercado del jamón y el embutido curado en México.* Estudios de Mercado: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México.
- FAO. (1995). *Quality and quality changes in fresh fish.* FAO. FISHERIES TECHNICAL PAPER – 348. Rome, 1995. Consultado el día 06/11/2016 en el sitio web: <http://www.fao.org/docrep/v7180e/V7180e05.htm#4.3Proteins>
- FAO. (1998). *El Pescado Fresco: Su Calidad y Cambios de su Calidad .*FAO Documento Técnico De Pesca 348. Consultado el día 06/04/2016 en el sitio web: <http://www.fao.org/docrep/v7180s/v7180s00.htm#Contents>
- FENNEMA O. (1982). *Introducción a La Ciencia de los Alimentos.* Reverté S.A.: España.
- FLORES, J. (2008). *Necesidad tecnológica de los nitritos y/o nitratos en los productos cárnicos curados.* Revista AICE, Junio, pp 30-43.
- FREIXANET, LL. (Sin fecha de publicación). *Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero.* Metalquimia .Pp 27-41. Consultado el día 10/11/2016 en el sitio web: <http://es.metalquimia.com/upload/document/article-es-12.pdf>

- FREUND, H. (1937). *Clinical manifestations and studies in parenchymatous hepatitis*. Ann. int. Med.1937; 10: pp 1144-1155.
- FREY, W. (1995). *Fabricación fiable de embutidos*. Acribia. Zaragoza, España. pp 31-35.
- GARCÍA M.; CAÑAS R. (1994). *Nitratos, Nitritos y Compuestos de N-Nitroso*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Serie Vigilancia 13.1994.
- GREENE, E.; PRICE, B. (1975) .*Oxidation-induce color and flavor changes in meat*. J. Agr. Food Chem., 23, pp 164-167.
- GONZÁLEZ, X. (2012). [¿Qué es el “Surimi”? Origen y usos en la industria cárnica.](https://otcmaster2011.wordpress.com/2012/02/06/que-es-el-surimi-origen-y-usos-en-la-industria-carnica/) Obtención y transformación de la carne. Consultado el día 06/11/2016 en el sitio web: <https://otcmaster2011.wordpress.com/2012/02/06/que-es-el-surimi-origen-y-usos-en-la-industria-carnica/>
- GONZÁLEZ, R.; TOTOSAUS, A.; CARO, I; MATEO, J. (2013). *Caracterización de Propiedades Químicas y Fisicoquímicas de Chorizos Comercializados en la Zona Centro de México*. Información Tecnológica Vol. 24 (2), 3-14 (2013)
- GUERRERO, I.; ROSMINI, M. (2009).*Tecnología de productos de origen acuático*. Limusa. México. pp 333-337.
- Guías empresariales: *Embutidos*. Consultado el día 30/09/2016 en el sitio web: http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresarial/embutidos.pdf
- HAMMER, G.F. (1992). *Tecnología de los embutidos escaldados: Sustancias aditivas y aditivos*. Acribia: Zaragoza, pp 83-105.
- HILL, M. (1991). *Nitrates and nitrites in food and water in relation to human disease*. Nitrates and nitrites in food and water. Ed. M. Hill, Ellis Horwood, Chichester, Londres, pp. 163-193.

- HONIKEL, K. (2008). *The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products*. Meat Science 78 (2008). pp 68–76.
- HOTCHKISS, J. (1989). *Preformed N-nitroso compounds in foods and beverages*. Cancer Surv. 1989; 8: pp 295-321.
- Instituto Nacional de la Pesca. (2003). *Memorias de la Reunión Nacional de Tilapia*. Primer foro internacional de acuicultura: un encuentro con el mercado. 19-21 de marzo del 2003. Cámara de Comercio de Guadalajara. pp 15-17.
- IGENE, J.; KING, J.; PEARSON, A.; CRAY, J. (1979). *Influence of Heme Pigments, Nitrite and Non-Heme Iron on Development of Warmed over Flavor (WOF) in cooked Meat*. 3. Agric. Food Chem., 27, 4, pp 838-842.
- IZQUIERDO, P.; GARCÍA, A.; ALLARA, M.; et al. (2007). *Análisis proximal, microbiológico y evaluación sensorial de salchichas elaboradas a base de cachama negra (Colossoma macropomum)*. Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XVII, No. 3. pp 294-300.
- JIMÉNEZ, F.; CARBALLO, J. (1989). *Principios básicos de elaboración de embutidos*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Dirección General De Investigación y Capacitación Agrarias .Hojas divulgadoras No. 4/89.
- KIESSLING, A.; AASGAARD, T.; STOREBAKKEN, T.; JOHANSSON, L.; KIESSLING, K. (1991). *Changes in the structure and function of the epaxial muscle of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) in relation to ration and age. III. Chemical composition*. Aquaculture. 93. pp 373-387.
- LEE, S.; CASSENS, R.; FENNEMA, O. (1976). *Effect of muscle type on residual nitrite in cured meat*. FoodSci. Vol 5, No 4, pp 100.
- MCDONALD; CRAY, J.; CIBBINS, L. (1980). *Role of nitrite in cured meat flavor: Antioxydant role of nitrite*. FoodSci. Vol 5, No 45, pp 893-897.
- MedlinePlus. (2016). *Enciclopedia Médica: Metahemoglobinemia*. Consultado el día 3/12/2016 en el sitio web: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000562.htm>

- MORRISEY, P.; APTE, S. (1988). *Influence of species, haem and non-haem iron fractions and nitrite on hexanal production in cooked muscle systems*. *Sciences des Aliments*, 8, 1, pp 3-14.
- MUÑOZ, M. (2014). *Tablas de uso práctico de los alimentos de mayor consumo*. Tercera edición: McGraw Hill. México. pp. 146.
- OMS/FAO. (1995). *Evaluation of certain Food Additives and Contaminants*. Joint FAO/WHO. Expert Committee on Food Additives. Technical Report Series; 859. Geneva: WHO. pp 36-43.
- OMS/FAO. (2003). *Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas*. Informe de una Consulta Mixta de Expertos OMS/FAO en Régimen Alimentario, Nutrición y Prevención de Enfermedades Crónicas. (OMS, Serie de Informes Técnicos; 916). Organización Mundial de la Salud: Ginebra.
- PASCUAL, M.; CALDERÓN, V. (2000). *Microbiología alimentaria: Metodología analítica para alimentos y bebidas*. Segunda edición: Díaz de Santos. Madrid, España. pp 247-250
- PATIÑO, G.; MORENO, R. (1996). *Evaluación de los parámetros de calidad en mojarra y cazón, durante el deterioro en almacenamiento*. UNAM, México.
- PEÑAS, R. (2014). *Planta para la elaboración de jamón cocido*. Facultad de ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática. Universidad de la Rioja. pp 11 .Consultado en línea el día 23/02/2017 en el sitio web : http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/R000001728.pdf
- PERIAGO, M. (2009). *Técnicas analíticas en carne y productos cárnicos*. Higiene, Inspección y Control Alimentario .Universidad de Murcia. Consultado en línea el día 26/04/2017 en el sitio web: <http://ocw.um.es/cc.-de-la-salud/higiene-inspeccion-y-control-alimentario-1/practicas-1/protocolos-control-de-calidad-carnicos.pdf>
- PIGOTT, G.; TUCKER, B. (1990). *Seafood effects of technology on nutrition*. CRC Press, May 16, 1990 - Technology & Engineering: New York.

- PEREA, A.; GÓMEZ, E.; MAYORGA, Y.; TRIANA, C. (2008). *Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 58(1), 91-97. Consultado el día 06/11/2016 en el sitio web: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000406222008000100013&lng=es&tlng=es.
- PROFECO. (2012). *Consumo de pescados y mariscos*. Revista del Consumidor: Radio Expres #15. Consultado el día 06/11/2016 en el sitio web: <http://revistadelconsumidor.gob.mx/?p=41103>
- Red de Genómica, Pesca y Acuicultura para la innovación. (2012). *La industria pesquera en México*. Consultado el día 25/10/2016 en el sitio web: http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/pesca_en_mexico.html
- REDFIELD, A. (2014). *Effects of Conventional and Alternative Curing Methods on Processed Turkey Quality Traits*. Theses and Dissertations in Animal Science. Paper 91. Consultado el día 28/11/2016 en el sitio web <http://digitalcommons.unl.edu/animalscidiss/91>
- REUTER, H. (1981). *La tecnología de embutidos en Alemania*. Fleishwirtschaft , Español No. 2, pp 46-49
- REYNOSO, G. (2014). *Toxicología: Manual de Laboratorio*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Departamento de Ciencias Biológicas: Sección de Bioquímica y Farmacología Humana. Pp 90-92
- RIDD, J. (1961). *Nitrosation, diazotisation and diamination*. Q Rev 1961; 15: pp 418-441
- RODGER, G.; WEDDLE, R.; CRAIG, O. (1977). *Effects of time, temperature, raw material type, processing and use of cryoprotective agents on mince quality*. Advances in fish Science and Technology. Inglaterra. pp. 199.

- RUÍZ, R.; MÉRIGO, C. (2006). *La industria pesquera*. Pesca, acuicultura e investigación en México. Comisión de pesca. pp 227 – 233
- SAFFILL, R. *Mechanisms of carcinogenesis induced by alkylating agents*. *Biochim Biophys Acta* 1985;823: pp 111-145.
- SAGARPA. (Sin fecha de publicación). Elaboración de productos cárnicos. Subsecretaría de Desarrollo Rural .Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Consultado en línea el día 23/02/2017 en el sitio web : <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Elaboraci%C3%B3n%20de%20productos%20c%C3%A1rnicos.pdf>
- SAGARPA. (2011). *Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne*. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Folleto Técnico No. 11. Octubre 2011. pp 7-11.
- SANTOYO, F.; MARISCAL, J.; GUTIÉRREZ, H.; GÓMEZ, C. (2015). *Aspectos pesquero-ambientales de la población de tilapia Oreochromis niloticus en la Laguna de Zapotlán El Grande, Jalisco, México*. *Ciencia Pesquera* (2015) 23(2). pp 59-72
- SHUKER, C.E.G. (1988). *The chemistry of N—nitrosation*. Nitrosamines: Toxicology and Microbiology. M.J. Hill ed., VCH Publishers, Cambridge, pp. 48-66.
- SINDELAR, J.; MILKOWSKI, A. (2011). *Sodium Nitrite in Processed Meat and Poultry Meats: A Review of Curing and Examining the Risk/Benefit of Its Use*. AMSA. White Paper Series. No 3: Noviembre, 2011. American Meat Science Association. pp 2-5
- SINDELAR, J.; MILKOWSKI, A. (2012). *Human safety controversies surrounding nitrate and nitrite in the diet*. *Nitric Oxide* 26 (2012). pp 259–266
- STIEBING, A. (1992). *Tecnología de los embutidos escaldados*. Acribia: Zaragoza, pp 171-190.
- SUZUKI, T. (1981). *Fish and krill protein: processing technology*. Applied Science Publishers: London.

- TOLEDO, S.; GARCÍA, M. (2000). *Nutrición y alimentación de tilapia cultivada en América Latina y el Caribe*. Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México. pp 83-137.
- TOVAR, A. (2003). *Guía de procesos para la elaboración de productos cárnicos*. Serie ciencia y tecnología, No. 21. Convenio Andrés Bello. Bogotá. pp 11-15.
- TRAVERSO, J.; AVDALOV N. (2014). *Beneficios del consumo de pescado*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. INFOPECA: Uruguay. pp 1-19.
- TRICKER, A.; PREUSSMANN R. (1991). *Carcinogenic N-nitrosamines in the diet: occurrence, formation, mechanisms and carcinogenic potential* *Mutat Res.* 1991 ; 259: pp 89-277.
- VÁZQUEZ, A.; COS, I.; LÓPEZ, C. (2005). *Alimentación y Nutrición: Manual teórico-práctico*. 2ª edición. Díaz de Santos: Madrid. pp 31
- VIDAL, J. (1997) .*Tecnología de los Embutidos Curados*. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Vol 1: No. 5, pp 129-133. Consultado el día 10/11/2016 en el sitio web: <http://dx.doi.org/10.1080/11358129709487572>
- VILLARINO, A.; MORENO, P.; ORTUÑO, I. (2005). *El pescado en la dieta: Valor nutritivo del pescado*. Nutrición y Salud. No. 6 .Universidad Complutense de Madrid. Nueva Imprenta: Madrid. pp 51- 55.
- WIRTH, F. (1992). *Curado-formación y conservación del color*. Tecnología de los embutidos escaldados. Acribia: Zaragoza, pp 127-148.

ANEXO A. Evaluación sensorial

EVALUACIÓN SENSORIAL DE PRODUCTO TIPO JAMÓN

Edad: _____

Sexo: _____

Frente a usted tiene tres muestras diferentes, pruebe cada una de ellas (bebiendo agua y/o comiendo pan entre muestra y muestra) y marque con una X la opción que mejor describa su nivel de agrado para cada uno de los atributos señalados en la tabla correspondiente.

❖ Muestra #1

	Olor	Color	Textura	Sabor
Me gusta muchísimo				
Me gusta moderadamente				
Ni me gusta ni me disgusta				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta muchísimo				

❖ Muestra #2

	Olor	Color	Textura	Sabor
Me gusta muchísimo				
Me gusta moderadamente				
Ni me gusta ni me disgusta				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta muchísimo				

❖ Muestra #3

	Olor	Color	Textura	Sabor
Me gusta muchísimo				
Me gusta moderadamente				
Ni me gusta ni me disgusta				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta muchísimo				

Comentarios :

¡GRACIAS!