



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 24 de mayo del 2023

Señores
CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Ciudad

El suscrito: Silvia Cristina Carrera Quintana, con C.C. No. 55.065.088, Autor de la tesis titulada: **Desarrollo de un producto de filete de tilapia (*Oreochromis sp.*) mediante la aplicación de métodos de salado ahumado**, presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible.

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: SILVIA CRISTINA CARRERA QUINTANA

Firma: _____



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE FILETE DE TILAPIA (OREOCHROMIS SP.) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS DE SALADO-AHUMADO.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CARRERA QUINTANA	SILVIA CRISTINA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
GUTIERREZ GUZMAN	NELSON

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 110

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas__x_ Fotografías__ Grabaciones en discos__ Ilustraciones en general__ Grabados__
Láminas__ Litografías__ Mapas__ Música impresa__ Planos__ Retratos__ Sin ilustraciones__ Tablas
o Cuadros__

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

Inglés

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. Agroindustria | 1. Agroindustry |
| 2. Análisis microbiológico | 2. Microbiological analysis |
| 3. Ahumado | 3. Smoked |
| 4. Aceptación sensorial | 4. Sensory acceptance |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Durante el año 2021 Colombia destino cerca del 11,72% de la producción nacional de tilapia para el mercado de exportación, en donde el filete fresco concentró el 73% de las exportaciones, siendo el departamento del Huila el principal productor y exportador. Desafortunadamente, hasta el momento no se han desarrollado innovaciones en la presentación de este producto que permitan explorar nuevos mercados y prolongar por mucho más tiempo su vida útil. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un producto salado-ahumado a partir de filetes de tilapia (*Oreochromis sp.*) con una adecuada aceptación y alcanzando estándares de calidad. Inicialmente se caracterizó la materia prima, luego se realizó la etapa de salado considerando los siguientes factores: concentración de sal-ahumada (6, 10 y 14% p/p), tiempo de salado (8, 24 y 48h) y condiciones de empaque (aire y vacío). El proceso de salazón se realizó agregando directamente la cantidad de sal-ahumada dosificada sobre el filete de tilapia. Después de la salazón, se realizaron las determinaciones analíticas, microbiológicas y sensoriales para evaluar el producto final y la aceptación por parte de los posibles consumidores. De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo observar que la cantidad de sal dosificada afectó significativamente el pH, la actividad de agua (aW), humedad, contenido de sal y color del filete de tilapia, mientras que el tiempo de procesamiento fue significativo solo para la actividad de agua, humedad y contenido de sal, a diferencia del tipo de empaque (E) el cual presentó un efecto significativo solamente sobre contenido de sal en fase líquida ZNaCl ($p < 0,01$) y aW ($p < 0,01$). Los filetes obtenidos a una concentración de 6% de sal ahumada y empacados al vacío dieron los niveles más cercanos a los estipulados por las normas vigentes y fue el tratamiento seleccionado para la evaluación bioquímica, microbiológica y sensorial por 28 días el cual fue comparado con el filete sin ningún tipo de proceso como control. La concentración de nitrógeno básico volátil total (NBV-T) en las muestras con sabor a humo aumentó gradualmente a lo largo del período de almacenamiento. Los valores oscilaron entre 11,8 y 18,5 mg N/100 g de pescado para los filetes salados-ahumados y de 11,8 a 26,1 5 mg N/100 g para el control. Igualmente, los valores de índice de ácido tiobarbitúrico TBA aumentaron progresivamente a lo largo del estudio, alcanzando un valor final de 0,39 mg MDA/kg para los filetes salados ahumados y de 0,41 mg MDA/kg para el control a los 28 días de almacenamiento presentado diferencias significativas ($p < 0,05$). Los recuentos de coliformes totales y fecales fueron bajos durante todo el estudio llegando a valores de 2,4 y 1,9 Log UFC/g respectivamente. En cuanto a los recuentos de *Staphylococcus* se observó que los valores iniciales de los filetes de tilapia salados-ahumados fue de cero hasta el día 21 de almacenamiento y luego aumentó hasta un valor final de 2,2 Log UFC/g. *Listeria monocytogenes* y *Salmonella sp.* no aparecieron en los filetes salados-ahumados. El 80% de los participantes manifestó no ser consumidores habituales de pescado, debido a que no se sienten atraídos por su sabor y porque prefieren otro tipo de proteína animal, pero el 90% de los panelistas afirmaron que suelen consumir otros productos con sabor a humo. Se presentaron diferencias significativas en la puntuación de los parámetros de sabor, color y textura entre las muestras evaluadas ($p < 0,05$), a diferencia del parámetro olor y aceptación



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 4

general, siendo este parámetro evaluado en general como bueno (>4), así mismo el 85% de los panelistas contestaron que si comprarían el producto evaluado. Los resultados que se lograron obtener demostraron que la técnica del salado-ahumado permite obtener productos a base de filete de tilapia con características aceptadas por parte del consumidor y estables microbiológicamente durante el almacenamiento. Así mismo ofrece alternativas respecto a los procesos tradicionales de ahumado, donde se logran reducir etapas del proceso, la disminución de residuos y la protección del producto frente a contaminaciones futuras.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

During 2021, Colombia destined about 11.72% of the national production of tilapia for the export market, where fresh fillet accounted for 73% of exports, with the department of Huila being the main producer and exporter. Unfortunately, so far, no innovations have been developed in the presentation of this product that would allow exploring new markets and extending its shelf life for much longer. The objective of this research was to develop a salted-smoked product from tilapia fillets (*Oreochromis* sp.) with an adequate acceptance and reaching quality standards. Initially, the raw material was characterized, then the salting stage was carried out considering the following factors: salt concentration (6, 10 and 14% w/w), salting time (8, 24 and 48h) and packaging conditions (air and vacuum). The salting process was carried out by directly adding the dosed amount of salt-smoke to the tilapia fillet. After salting, analytical, microbiological, and sensory determinations were carried out to evaluate the final product and its acceptance by potential consumers. According to the results obtained, it was observed that the amount of salt dosed significantly affected pH, water activity (aW), moisture, salt content and color coordinates of the tilapia fillet, while processing time was significant only for water activity, moisture and salt content, unlike the type of packaging (E), which had a significant effect only on salt content in liquid phase ZNaCl, ($p < 0.01$) and aW ($p < 0.01$). The fillets obtained at a concentration of 6% smoked salt and vacuum-packed gave the levels closest to those stipulated by current standards and was the treatment selected for the biochemical, microbiological, and sensory evaluation for 28 days, which was compared with the fillet without any type of process as a control. The concentration of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in the smoke-flavored samples increased gradually throughout the storage period. Values ranged from 11.8 to 18.5 mg N/100 g of fish for the salted-smoked fillets and from 11.8 to 26.1 5 mg N/100 g for the control. Likewise, TBA thiobarbituric acid index values increased progressively throughout the study, reaching a final level of 0.39 mg MDA/kg for the salted-smoked fillets and 0.41 mg MDA/kg for the control at 28 days of storage presented significant differences ($p < 0.05$). Total and fecal coliform counts were low throughout the study, reaching values of 2.4 and 1.9 Log CFU/g respectively. As for Staphylococcus counts, it was observed that the initial counts of salted-smoked tilapia fillets were zero until day 21 of storage and then increased to a final value of 2.2 Log CFU/g. *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* sp. did not appear in the salted-smoked fillets. Eighty percent of the participants stated that they are not regular consumers of fish, because they are not attracted by its taste, but 90% of the panellists stated that they usually consume smoked-flavored products. There were significant differences in the score of the parameter's odor, flavor, color and texture among the samples evaluated ($p < 0.05$), in contrast to the general acceptance of the presentations, this parameter being generally evaluated as good (>4). The results obtained showed that the salting-smoking technique allows obtaining tilapia fillet-based products with characteristics accepted by the consumer and microbiologically stable during storage. It also offers alternatives to traditional smoking processes, where processing steps are reduced, waste is reduced, and the product is protected against future contamination.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado: ANA FUENTES LÓPEZ

Firma: Firmado por FUENTES
LOPEZ ANA -
44850883D el día
29/05/2023 con un
certificado emitido

Nombre Jurado: JAIRO HUMBERTO LÓPEZ VARGAS

Firma:

Nombre Jurado: RUBEN DARIO VALBUENA VILLARREAL

Firma:



DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE FILETE DE TILAPIA (*OREOCHROMIS SP.*) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS DE SALADO-AHUMADO.

SILVIA CRISTINA CARRERA QUINTANA

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
DOCTORADO EN AGROINDUSTRIA Y DESARROLLO AGRICOLA
SOSTENIBLE
NEIVA
2023**

**DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE FILETE DE TILAPIA (*OREOCHROMIS*
SP.) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS DE SALADO-AHUMADO.**

SILVIA CRISTINA CARRRERA QUINTANA

**Memoria de grado para optar el título de Doctor en Agroindustria y
Desarrollo Agrícola Sostenible**

PhD. Nelson Gutiérrez Guzmán

Director

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

**DOCTORADO EN AGROINDUSTRIA Y DESARROLLO AGRICOLA
SOSTENIBLE**

NEIVA

2023

RESUMEN

Durante el año 2021 Colombia destino cerca del 11,72% de la producción nacional de tilapia para el mercado de exportación, en donde el filete fresco concentró el 73% de las exportaciones, siendo el departamento del Huila el principal productor y exportador. Desafortunadamente, hasta el momento no se han desarrollado innovaciones en la presentación de este producto que permitan explorar nuevos mercados y prolongar por mucho más tiempo su vida útil. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un producto salado-ahumado a partir de filetes de tilapia (*Oreochromis* sp.) con una adecuada aceptación y alcanzando estándares de calidad. Inicialmente se caracterizó la materia prima, luego se realizó la etapa de salado considerando los siguientes factores: concentración de sal-ahumada (6, 10 y 14% p/p), tiempo de salado (8, 24 y 48h) y condiciones de empaque (aire y vacío). El proceso de salazón se realizó agregando directamente la cantidad de sal-ahumada dosificada sobre el filete de tilapia. Después de la salazón, se realizaron las determinaciones analíticas, microbiológicas y sensoriales para evaluar el producto final y la aceptación por parte de los posibles consumidores. De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo observar que la cantidad de sal dosificada afectó significativamente el pH, la actividad de agua (a_w), humedad, contenido de sal y color del filete de tilapia, mientras que el tiempo de procesamiento fue significativo solo para la actividad de agua, humedad y contenido de sal, a diferencia del tipo de empaque (E) el cual presentó un efecto significativo solamente sobre contenido de sal en fase líquida Z^{NaCl} ($p < 0,01$) y a_w ($p < 0,01$). Los filetes obtenidos a una concentración de 6% de sal ahumada y empacados al vacío dieron los niveles

más cercanos a los estipulados por las normas vigentes y fue el tratamiento seleccionado para la evaluación bioquímica, microbiológica y sensorial por 28 días el cual fue comparado con el filete sin ningún tipo de proceso como control. La concentración de nitrógeno básico volátil total (NBV-T) en las muestras con sabor a humo aumentó gradualmente a lo largo del período de almacenamiento. Los valores oscilaron entre 11,8 y 18,5 mg N/100 g de pescado para los filetes salados-ahumados y de 11,8 a 26,1 5 mg N/100 g para el control. Igualmente, los valores de índice de ácido tiobarbitúrico TBA aumentaron progresivamente a lo largo del estudio, alcanzando un valor final de 0,39 mg MDA/kg para los filetes salados ahumados y de 0,41 mg MDA/kg para el control a los 28 días de almacenamiento presentado diferencias significativas ($p < 0,05$). Los recuentos de coliformes totales y fecales fueron bajos durante todo el estudio llegando a valores de 2,4 y 1,9 Log UFC/g respectivamente. En cuanto a los recuentos de *Staphylococcus* se observó que los valores iniciales de los filetes de tilapia salados-ahumados fue de cero hasta el día 21 de almacenamiento y luego aumentó hasta un valor final de 2,2 Log UFC/g. *Listeria monocytogenes* y *Salmonella* sp. no aparecieron en los filetes salados-ahumados. El 80% de los participantes manifestó no ser consumidores habituales de pescado, debido a que no se sienten atraídos por su sabor y porque prefieren otro tipo de proteína animal, pero el 90% de los panelistas afirmaron que suelen consumir otros productos con sabor a humo. Se presentaron diferencias significativas en la puntuación de los parámetros de sabor, color y textura entre las muestras evaluadas ($p < 0,05$), a diferencia del parámetro olor y aceptación general, siendo este parámetro evaluado en general como bueno (>4), así mismo el 85% de los panelistas contestaron que si comprarían el producto evaluado. Los resultados

que se lograron obtener demostraron que la técnica del salado-ahumado permite obtener productos a base de filete de tilapia con características aceptadas por parte del consumidor y estables microbiológicamente durante el almacenamiento. Así mismo ofrece alternativas respecto a los procesos tradicionales de ahumado, donde se logran reducir etapas del proceso, la disminución de residuos y la protección del producto frente a contaminaciones futuras.

ABSTRACT

During 2021, Colombia destined about 11.72% of the national production of tilapia for the export market, where fresh fillet accounted for 73% of exports, with the department of Huila being the main producer and exporter. Unfortunately, so far, no innovations have been developed in the presentation of this product that would allow exploring new markets and extending its shelf life for much longer. The objective of this research was to develop a salted-smoked product from tilapia fillets (*Oreochromis* sp.) with an adequate acceptance and reaching quality standards. Initially, the raw material was characterized, then the salting stage was carried out considering the following factors: salt concentration (6, 10 and 14% w/w), salting time (8, 24 and 48h) and packaging conditions (air and vacuum). The salting process was carried out by directly adding the dosed amount of salt-smoke to the tilapia fillet. After salting, analytical, microbiological, and sensory determinations were carried out to evaluate the final product and its acceptance by potential consumers. According to the results obtained, it was observed that the amount of salt dosed significantly affected pH, water activity (a_w), moisture, salt content and color coordinates of the tilapia fillet, while processing time was significant only for water activity, moisture and salt content, unlike the type of packaging (E), which had a significant effect only on salt content in liquid phase Z^{NaCl} , ($p < 0.01$) and a_w ($p < 0.01$). The fillets obtained at a concentration of 6% smoked salt and vacuum-packed gave the levels closest to those stipulated by current standards and was the treatment selected for the biochemical, microbiological, and sensory evaluation for 28 days,

which was compared with the fillet without any type of process as a control. The concentration of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in the smoke-flavored samples increased gradually throughout the storage period. Values ranged from 11.8 to 18.5 mg N/100 g of fish for the salted-smoked fillets and from 11.8 to 26.1 5 mg N/100 g for the control. Likewise, TBA thiobarbituric acid index values increased progressively throughout the study, reaching a final level of 0.39 mg MDA/kg for the salted-smoked fillets and 0.41 mg MDA/kg for the control at 28 days of storage presented significant differences ($p < 0.05$). Total and fecal coliform counts were low throughout the study, reaching values of 2.4 and 1.9 Log CFU/g respectively. As for *Staphylococcus* counts, it was observed that the initial counts of salted-smoked tilapia fillets were zero until day 21 of storage and then increased to a final value of 2.2 Log CFU/g. *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* sp. did not appear in the salted-smoked fillets. Eighty percent of the participants stated that they are not regular consumers of fish, because they are not attracted by its taste, but 90% of the panellists stated that they usually consume smoked-flavored products. There were significant differences in the score of the parameter's odor, flavor, color and texture among the samples evaluated ($p < 0.05$), in contrast to the general acceptance of the presentations, this parameter being generally evaluated as good (> 4). The results obtained showed that the salting-smoking technique allows obtaining tilapia fillet-based products with characteristics accepted by the consumer and microbiologically stable during storage. It also offers alternatives to traditional smoking processes, where processing steps are reduced, waste is reduced, and the product is protected against future contamination.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. MARCO REFERENCIAL	21
3.1 Tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.)	21
3.2 Métodos de conservación del pescado.....	21
3.3 Características fisicoquímicas del pescado salado-ahumado.....	27
3.3.1 pH	22
3.3.2 Actividad de agua (a_w).....	22
3.3.3 Contenido de cloruro de sodio (NaCl).....	22
3.3.4 Color	28
3.4 Degradación bioquímica del pescado.....	28
3.5 Degradación microbiológica del pescado	30
3.6 Análisis sensorial en pescado	31
3.7 Importancia nutricional de productos a base de pescado salado y/o ahumado	33
3.8 Consumo de pescado salado-ahumado	34
3.9 Legislación vigente para productos salados-ahumados.....	36
4. METODOLOGÍA.....	39

4.1 Materia prima.....	39
4.2 Diseño experimental.....	40
4.3 Determinaciones analíticas:.....	42
4.3.1 Contenido de humedad.....	42
4.3.2 Contenido de Lípidos.....	43
4.3.3 Contenido de proteínas.....	35
4.3.4 pH.....	35
4.3.5 Contenido de agua (a_w).....	35
4.3.6 Color.....	45
4.3.7 Determinación de contenido de NaCl.....	45
4.3.8 Determinación del contenido en Nitrógeno Básico Volátil Total (NBVT).....	47
4.3.9. Determinación de la oxidación lipídica índice de TBA.....	47
4.5 Análisis sensorial.....	50
5. RESULTADOS.....	52
5.1 Caracterización de la materia prima.....	52
5.2 Caracterización fisicoquímica del filete de tilapia sometido a procesos de salado-ahumado.....	53
5.3 Análisis bioquímico.....	60
5.4 Análisis microbiológico.....	61
5.5 Análisis sensorial.....	63
6. DISCUSIÓN.....	65

7.	CONCLUSIONES	80
9.	PRODUCTOS GENERADOS Y BENEFICIARIOS.....	82
10.	BIBLIOGRAFÍA	84
11.	ANEXOS.....	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del filete de tilapia fresco producido en del departamento del Huila-Colombia. Valores promedios (n=3).....	52
Tabla 2. Niveles de significancia obtenidos en la ANOVA multifactorial para los parámetros fisicoquímicos, según los factores: Tipo de empaque (E), tiempo de salazón (t) y concentración de sal (C).....	53
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de filetes de pescado fresco (materia prima) sometidos a procesos de salado y/o ahumado.	67
Tabla 4. Determinación del contenido en Nitrógeno Básico Volátil Total (NBVT) y Índice TBA en muestras de pescado sometidos a procesos de salados y/o ahumados mantenidos en refrigeración (4 °C).....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Factores y procesos representativos que permiten preservar la calidad del pescado (Tomado de Nie <i>et al.</i> ,2022) con algunas modificaciones.	22
Figura 2. Diseño experimental.....	41
Figura 3. Valores de pH de las muestras de filete salado-ahumado empacadas al vacío (A) y al aire (B), con dosis de sal (6, 10 y 14%) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).....	54
Figura 4. Valores de humedad de las muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), dosis de sal (6, 10 y 14%) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).....	55
Figura 5. Valores de actividad de agua (a_w) de las muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), dosis de sal (6, 10 y 14% NaCl) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).....	56
Figura 6. Valores del contenido de sal en fase líquida en muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), con dosis de sal (6, 10 y 14%) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).....	57
Figura 7. Variación de masa de las muestras de tilapia en cada uno de los tratamientos propuestos.....	46
Figura 8. Coordenadas de color de las muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), con dosis de sal (6, 10 y 14% NaCl) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).....	59

Figura 9. Cambios en el índice de A) NBV-T (nitrógeno básico volátil total), y B) Índice de TBA (ácido tiobarbitúrico) en muestras de filete de tilapia con sabor a humo (6% NaCl) y filete fresco (control) durante empacados al vacío durante 28 días de almacenamiento a 4 °C.	60
Figura 10. Cambios en (A) Coliformes totales, (B) Coliformes fecales, (C) <i>Salmonella</i> (D) <i>Staphylococcus</i> en muestras de filete de tilapia saladas a 6% con sabor a humo y filetes sin ningún proceso (control) durante 28 días de almacenamiento a 4 °C y empacadas al vacío.	62
Figura 11. Evaluación sensorial del filete de tilapia salado ahumado al 6% empacado al vacío en tres presentaciones: SAA: Salado-ahumado asado, SAC: salado-ahumado crudo y SAV: salado-ahumado al vapor.	64

LISTA DE ABREVIATURAS

aw:	Actividad de agua
NaCl:	Cloruro de Sodio
DHA:	Acido docosahexaenoico
UE:	Unión Europea
NBV-T:	Nitrógeno Básico Volátil Total
TBA:	Acido tiobarbitúrico
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
HAPs:	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
OMS:	Organización Mundial de la Salud
$X^{NaCl}Bh$:	Contenido de sal en fase húmeda
$X^{NaCl}Bh$:	Contenido de sal en fase seca
Z^{NaCl} :	Contenido de sal en fase líquida
X^w :	Contenido de humedad
AOAC:	Association of Analytical Communities
L*:	Luminosidad
a*:	Coordenadas rojo/verde

b*: Coordenadas amarillo/azul

BAL: Bacterias del ácido láctico

TMA: Trimetilamina

MDA: Malonadehido

1. INTRODUCCIÓN

En la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible se reconoce la importancia de garantizar el acceso a alimentos inocuos, nutritivos y suficientes para todas las personas y de erradicar todas las formas de malnutrición. De acuerdo con la FAO (2020) la producción mundial de pescado llegó a 179 millones de toneladas en 2018, de los cuales 82 millones procedieron de la actividad acuícola. Del total general, 156 millones de toneladas se destinaron al consumo humano, es decir casi el 88% mientras que el 12% restante se utilizó para fines no alimentarios. En las economías más desarrolladas la elaboración de pescado se ha diversificado especialmente en productos de alto valor añadido en forma preparada o en conserva, aumentando del 4% al 9%, especialmente en productos conservados mediante salazón, fermentación, secado y/o ahumado (FAO, 2020).

La tilapia es considerada uno de los peces con mayor futuro comercial, debido a su corto período de crecimiento y alta adaptabilidad a los ambientes de producción a los que se enfrenta (Vásquez-Salazar *et al.*, 2014). Posee unas propiedades en particular tales como su carne blanca, su fácil fileteado, escasas espinas, suave sabor y versatilidad en la cocción, que la ubican como uno de los peces más comercializados en el ámbito internacional (Rodríguez de Souza & Freire-Maranhão, 2001), además constituye una fuente importante de proteína por su bajo contenido calórico (Gatti-Junior *et al.*, 2014), presencia de vitaminas (Li *et al.*, 2021) y alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados como el omega-3 (Souza-Duarte *et al.*, 2021).

La producción piscícola en Colombia actualmente está representada por el cultivo de tres especies: la tilapia, la cachama y la trucha arco iris, que reúnen múltiples actividades económicas relacionadas que van desde la producción de alevines hasta su cría, engorde y comercialización (Carrera-Quintana *et al.*, 2022). De acuerdo con las cifras reveladas en la Evaluación Agropecuaria 2021, el departamento del Huila produjo alrededor de 67.675 toneladas de tilapia, que corresponde al 39% de la producción piscícola nacional de los cuales cerca de 11.596 toneladas fueron exportadas como filete fresco principalmente a países como Estados Unidos y Canadá. En Colombia, la tilapia se comercializa principalmente en presentación entera y filete congelada, sin ningún grado de transformación o mínimamente procesados (Carrera *et al.*, 2022). Teniendo en cuenta el gran volumen de producción actual y la disponibilidad que hay en el mercado de este producto, la tilapia se convierte en una excelente opción en la industria acuícola para el desarrollo de nuevos productos procesados (Ruiz-Alonso *et al.*, 2021).

El ahumado es un antiguo método de conservación del pescado que aumenta su vida útil potenciando su sabor, color y textura, debido a los efectos combinados de una salazón preliminar y la actividad antimicrobiana de algunos componentes del humo (Cunha *et al.*, 2021). Esta técnica de conservación data de hace más de 90.000 años y hoy en día es ampliamente utilizada en la industria alimentaria (Ledesma *et al.*, 2017). La aplicación original consistía en colocar el producto sobre el fuego, en contacto directo con el humo para protegerla de los animales (Arvanitoyannis & Kotsanopoulos, 2011). Se estima que esta tecnología se utiliza

para tratar entre el 40% y el 60% de los productos cárnicos y el 15% de productos pesqueros en todo el mundo (Stolyhwo & Sikorski, 2005). Los productos de pescado ahumado se prefieren porque se conservan por mucho más tiempo en comparación con el pescado fresco sin procesar, por sus propiedades organolépticas específicas, que han venido modernizándose para evitar la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos- HAP (Slamova *et al.*, 2021) y para optimizar las distintas etapas del proceso en donde la salazón juega un papel muy importante. Un proceso de salado en el que se pueda dosificar directamente la cantidad exacta de sal a absorber por el pescado, combinado con el envasado al vacío, podría ser una alternativa interesante, debido a que se reduciría los tiempos de procesamiento y generación de residuos (Rizo *et al.*, 2013).

A nivel internacional se han encontrado varios estudios en donde se ha evaluado la técnica del salado y/o ahumado sobre especies comerciales como el salmón (Sigurgisladottir *et al.*, 2000; Bencze-Røra *et al.*, 2003; Hultmann *et al.*, 2004; Rizo *et al.*, 2013; Rizo *et al.*, 2015; Rizo *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2020), lubina (Fuentes *et al.*, 2008), bacalao (Rizo *et al.*, 2016), sardinas (Gómez-Estaca *et al.*, 2010), sábalo y carpa (Basti *et al.*, 2006), bagre dorado (Pacheco *et al.*, 2010), sábalo de cola roja (Rodríguez de Souza *et al.*, 2010), bagre marino (Corzo *et al.*, 2013), trucha (Cakli *et al.*, 2016; Rizo *et al.*, 2017), arenque (Cardinal *et al.*, 2006), dorada (Vasiliadou *et al.*, 2005; Goulas & Kontominas *et al.*, 2007), caballa del pacífico (Goulas & Kontominas *et al.*, 2005), atún (Guizani *et al.*, 2014). En cuanto a la tilapia existen algunos estudios en donde se ha evaluado la concentración de sal en el proceso de ahumado sobre el pescado entero para determinar su vida útil

(Yanar *et al.*, 2006), los cambios fisicoquímicos y/o sensoriales sobre el filete mediante el proceso de salado y/o ahumado (Chaijan, 2011; Chen *et al.*, 2012; Bouzgarrou *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2020), la determinación de compuestos volátiles sobre el procesamiento (Sheng *et al.*, 2013), el efecto de diferentes pesos de tilapia sobre el rendimiento y calidad de sus filetes sometidos a procesos de ahumado (Rodríguez de Souza *et al.*, 2005), así como el efecto de la concentración de salmuera, temperatura, tiempo y material de madera sobre los filetes (Lelwela *et al.*, 2020). A nivel nacional existen algunos estudios hechos por la Universidad Nacional de Colombia en donde se trabajó con humo líquido sobre el filete de tilapia (Ruiz-Alfonso *et al.*, 2021) y la Universidad Surcolombiana evaluando la cinética del salado del filete utilizando sal ahumada (Betancourt-Sambony *et al.*, 2020).

En Colombia el desarrollo de tecnologías de salado-ahumado no se han desarrollado como tal, existen algunas empresas locales que producen pescado entero ahumado a pequeña escala de forma tradicional utilizando hornos con filtros, sin embargo, el ahumado en condiciones tecnológicas no controladas puede conducir a enormes contenidos de HAP en los alimentos, es así como el pescado ahumado que se consume en el país viene de importaciones realizadas por empresas como El Gran Langostinos SAS y de países como Ecuador (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2021).

Finalmente, el trabajo planteado busca determinar las condiciones del proceso para obtener un producto innovador de filete de tilapia (*Oreochromis sp.*) salado con sabor a humo que sea aceptado por los consumidores.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVO GENERAL:

Obtener un producto de filete de tilapia (*Oreochromis* sp.) a partir de la implementación de la técnica de salado-ahumado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la caracterización fisicoquímica del filete de tilapia producido en el departamento del Huila
- Evaluar el efecto de las concentraciones de sal, tiempo de salado-ahumado y envasado sobre el filete de tilapia en condiciones de almacenamiento.
- Determinar la presencia de microorganismos sobre los tratamientos propuestos teniendo en cuenta la normatividad aplicable a este tipo de productos.
- Realizar un monitoreo fisicoquímico, bioquímico y sensorial a los diferentes tratamientos propuestos.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Tilapia (*Oreochromis* sp.)

La tilapia es un pescado de origen africano que se ha explotado en el mundo de manera intensiva, se encuentra entre las especies más consumidas y representa la cuarta especie de agua dulce más importante con una producción aproximada de 1030 millones de toneladas en el 2018 (FAO, 2020). Las tilapias comúnmente conocidas en Colombia como mojarra roja pertenecen a una gran familia de peces conocida como *Cichlidae*, que se caracterizan, desde el punto de vista morfológico, por tener un cuerpo oblongo provisto de aletas dorsales largas que tienen de 23 a 31 espinas. Son peces originarios de África, muy apreciados mundialmente por la calidad de su carne, por las bondades que presentan para el cultivo y actualmente son unas de las variedades de peces más importantes en Latinoamérica (Torres & Espejo, 2001), debido en parte a que actualmente es considerada como una de las especies que pueden contribuir a lograr la meta de seguridad alimentaria al desarrollar su cultivo mediante el uso diferentes sistemas simples y efectivos (Bouzgarrou *et al.*, 2020).

3.2 Métodos de conservación del pescado:

El pescado por ser un producto altamente perecedero una vez que se cosecha, requiere de prácticas seguras por parte del sector agroindustrial que vayan de la mano con la seguridad y la salud humana (Nie *et al.*, 2020). El almacenamiento congelado a -18°C es el método más sencillo y efectivo para extender la vida útil de los productos pesqueros, pero requiere de un proceso de descongelación

aumentando el tiempo del proceso y daños causados por los cristales de hielo a la estructura de los productos resultando en una baja calidad sensorial (Yu *et al.*, 2019). Los métodos alternativos para conservar filetes de pescado que se han explorado actualmente incluyen tratamientos físicos (Tavares *et al.*, 2021), el uso de películas comestibles a base de compuestos naturales (Choulitoudi *et al.*, 2017), envasados en atmósferas modificadas (Kontominas *et al.*, 2021), extracto de algas (Sáez *et al.*, 2021), procesos de ahumado (Nithin *et al.*, 2020) o una combinación de algunos de ellos cuyo objetivo general es mantener la calidad del producto final (Figura 1). Los métodos de secado y/o ahumado del pescado difieren entre países y dentro de las mismas regiones, según la especie de pescado y el tipo de producto deseado (Chukwu & Shaba 2009), así mismo es uno de los métodos más simples que no requiere mano de obra altamente calificada ni equipo sofisticado (Olayemi *et al.* 2011).

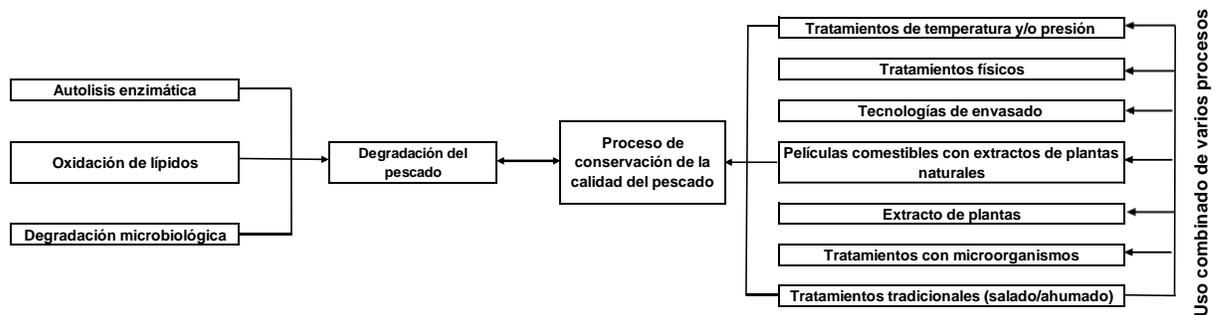


Figura 1. Factores y procesos representativos que permiten preservar la calidad del pescado (Tomado de Nie *et al.*, 2022) con algunas modificaciones.

3.2.1 Salado: La salazón del pescado es un proceso de conservación tradicional muy utilizado desde la antigüedad con el objetivo de almacenar por meses los productos en condiciones adecuadas (Oliveira *et al.*, 2012). La salazón se usa debido a que la mayoría de las bacterias, hongos y otros organismos potencialmente patógenos no pueden sobrevivir en un ambiente altamente salado, por la presión osmótica que crea la sal. Cualquier célula viva en un ambiente con altas concentraciones de sal tiende a deshidratarse y/o inactivarse (Sampels, 2015). Esta extracción de agua del producto supone una disminución de la actividad del agua (a_w) y por consiguiente una disminución de la actividad de las bacterias y enzimas (Oliveira *et al.*, 2012).

Generalmente, el factor a_w en el pescado está cerca de 1 y puede reducirse hasta 0,8 y 0,7 después de un salado y secado. Solo algunos organismos de los denominados halófilos tienen la capacidad de crecer en actividades de agua de hasta 0,75, causando deterioro en el pescado (Moody *et al.*, 2000). Así mismo además de la conservación, la sal es importante en la percepción sensorial y la aceptación de un producto por parte del consumidor (Almli & Hersleth, 2013).

3.2.2 Tipos de procesos de salado

3.2.2.1 Salado en seco: Una de las formas más tradicionales de procesamiento es la salazón en seco, donde la sal se aplica sobre el pescado o el pescado se cubre con sal seca (Moody *et al.*, 2000). En la salazón en seco, un alto contenido de grasa en el filete actúa como barrera para la difusión de la sal y, por lo

tanto, el proceso requiere desde 12 a 14 días, conduciendo a una pérdida significativa de peso (Gallart-Jornet *et al.*, 2007). La salazón en seco se puede realizar con sales aromatizantes de humo lo cual proporcionan sal y un sabor ahumado al producto en una sola etapa, de modo que el tiempo total de procesamiento se acorta significativamente (Rizo *et al.*, 2013). El método en seco se recomienda en especies de pescados con bajo contenido graso ~ al 8 % (Betancourt-Sambony *et al.*, 2020).

3.2.2.2 Salado por inyección: La salazón por inyección consiste en la inserción de salmuera en los filetes mediante numerosas agujas distribuidas uniformemente. La tecnología de salazón por inyección es ventajosa en comparación con la salazón en seco, ya que brinda una distribución uniforme de la sal en los filetes, un control más fácil de la cantidad de sal, un tiempo de proceso corto y un alto rendimiento de producción (Birkeland *et al.*, 2007).

3.2.2.3 Salmuera: En este tipo de salado, el pescado se coloca en una solución de sal durante un tiempo relativamente corto como tratamiento previo para otro paso de procesamiento como, por ejemplo, el ahumado, comúnmente utilizada en el caso de productos grasos. En el caso de la salazón con salmuera saturada, el producto que se obtiene tiene alta concentración de sal, pero con un rendimiento considerablemente mayor. Sin embargo, también se pueden utilizar

concentraciones de salmuera más bajas para aumentar la capacidad de retención de agua y obtener mayores rendimientos (Barat *et al.*, 2002).

3.2.3 Ahumado: El ahumado es un antiguo método de conservación del pescado. El proceso de ahumado conserva el pescado mediante la acción sinérgica de diferentes factores, como la incorporación de sal, el efecto conservante de los compuestos del ahumado y la deshidratación a la que se somete el pescado durante su elaboración (Rizo *et al.*, 2013). Estos cambios retrasan los cambios microbiológicos y oxidativos que conducen al deterioro, extendiendo la vida útil del pescado procesado (Rizo *et al.*, 2015).

3.2.4 Tipos de ahumado

3.2.4.1 Ahumado en frío: El ahumado en frío generalmente se realiza a temperaturas que oscilan entre 20 y 30 °C durante 2 a 12 h a una tasa de humedad de 60 a 75 % y se usa con mayor frecuencia con salazón en seco (Birkeland *et al.*, 2005). Bajo estas condiciones, no se produce ni la cocción ni la coagulación de las proteínas. Generalmente los alimentos ahumados en frío se requiere un procesamiento térmico adicional antes del consumo (Arvanitoyannis & Kotsanopoulos, 2011).

3.2.4.2 Ahumado en caliente: El ahumado en caliente se lleva a cabo durante 2 a 4 h a temperaturas superiores a 60 °C (generalmente 100 a 120 °C). En ambos procesos, el humo se produce al arder virutas o aserrín de cierto tipo de

madera (haya, nogal, roble) en el horno directamente debajo del pescado colgante. Además, el humo podría añadirse en la cámara de ahumado desde generadores de humo externos en condiciones controladas de temperatura y primavera (Cunha *et al.*, 2021)

3.2.4.3 Ahumado líquido: El ahumado líquido es similar al ahumado tradicional, pero su proceso requiere menos tiempo. La aplicación de humo líquido incluye presurización, remojo/ducha, inyección directamente en el filete o uso como parte de un adobo o condimento. En general, tanto los generadores de humo externos como los humos líquidos reducen la presencia de compuestos indeseables como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) formados durante la combustión (Cunha *et al.*, 2021) y son muchos más económicos y menos dañinos a medio ambiente (Martínez *et al.*, 2007).

3.2.5 Empaque al vacío: El empaquetado al vacío fue una de las tecnologías pioneras desarrolladas por la industria cuyo objetivo es eliminar el aire ambiental del envase y sellarlo herméticamente (Nie *et al.*, 2022). Este enfoque se utilizó para complementar el almacenamiento en hielo o refrigeración. El envasado al vacío reduce aún más el deterioro y proporciona la capacidad de comercializar un producto pesquero de alta calidad, seguro y con una vida útil prolongada, reduciendo pérdidas económicas (Aberoumand & Baesi, 2020). Recientemente, se han investigado materiales con altas tasas de transmisión de vapor de agua (Bolsas permeables al vapor WP) cuyas aplicaciones se ha centrado en la carne vacuna. El

uso de bolsas de alta permeabilidad (WP) facilita el control de la deshidratación del producto manejando las condiciones de temperatura y humedad (Rizo *et al.*, 2015).

3.3 Características fisicoquímicas del pescado salado-ahumado

Por su composición nutricional y características intrínsecas, el pescado es una matriz alimentaria altamente perecedera, sensible a diversos cambios bioquímicos que comprometen la calidad del alimento (Amorim-Gomes *et al.*, 2021), ya que cualquier tipo de procesamiento provoca cambios en sus propiedades que deben ser evaluadas (Ruiz-Alonso *et al.*, 2021). Dentro de esas características tenemos:

3.3.1 pH: El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. Generalmente el proceso de ahumado tradicional provoca una disminución significativa del pH en el pescado, explicado por la mayor fuerza iónica de la solución interna en las células del músculo del pescado (Leroi & Joffraud, 2000). Así mismo una disminución del pH durante el almacenamiento también refleja el deterioro del producto (Ndrianaivo *et al.*, 2016).

3.3.2 Actividad de agua (a_w): La actividad del agua es un parámetro físico adimensional que mide la disponibilidad de agua y está relacionado con el crecimiento microbiano (Chan *et al.*, 2022). El proceso de salado-ahumado, independientemente de las condiciones empleadas, reduce significativamente el contenido de agua y los valores de a_w (Rizo *et al.*, 2015).

3.3.3 Contenido de Cloruro de Sodio (NaCl): En concentraciones altas de sal la proteína se desnaturaliza, aumentando la contracción y, en consecuencia, la pérdida de agua del músculo (Brás & Costa, 2010). La sal ahumada, debido a su composición, azúcares 50%, NaCl 49% y grasas 1%, tiende a la incorporación solutos de forma más lenta y uniforme en comparación con los tratamientos realizados con NaCl (Betancourt-Sambony *et al.*, 2020). El proceso principal en la salazón es la difusión, que provoca el transporte de agua y sal a contracorriente entre la sal y el músculo y da como resultado una alta concentración de sal en la superficie del filete (Chan *et al.*, 2022).

3.3.4 Color: El proceso de salado ahumado afecta significativamente la apariencia y color del pescado (Valø *et al.*, 2020). Generalmente el procesamiento de ahumado de los filetes de pescado produce filetes más oscuros, menos rojizos y más amarillentos en comparación con el filete sin ningún tipo de procesamiento (Lerfall *et al.*, 2011). Este cambio de color está relacionado con reacciones carbonil-amino del tipo de maillard inducidas por el humo (Martins *et al.*, 2001).

3.4 Degradación bioquímica del pescado

El deterioro del pescado durante el almacenamiento se atribuye a diferentes mecanismos como el deterioro microbiológico, deterioro por actividad enzimática endógena (autólisis) y la oxidación de los lípidos (Tavares *et al.*, 2021). La descomposición y la formación de nuevos compuestos son responsables de los cambios de olor, sabor y textura que se producen a lo largo del proceso de

descomposición (Prabhakar *et al.*, 2020) disminuyendo a si el valor nutricional del producto final (Pinto de Rezende *et al.*, 2022).

El crecimiento microbiano es el primer mecanismo que deteriora el pescado, siendo el factor de deterioro que más afecta la calidad del pescado ya sea fresco o ligeramente conservado. La elevada actividad del agua, la baja acidez ($\text{pH} > 6$) y la gran cantidad de compuestos nitrogenados no proteicos típicos del pescado dan lugar a un rápido crecimiento de los microorganismos, lo que provoca cambios indeseables en el aspecto, la textura, el sabor y el olor, reduciendo su calidad. Los principales compuestos formados durante el deterioro microbiológico son las aminas biógenas (Tavares *et al.*, 2021).

Las aminas biógenas son compuestos nitrogenados que se forman por la transformación de los aminoácidos que se encuentran en los alimentos por la acción de enzimas generadas por microorganismos. La cantidad y los tipos de aminas biogénicas formadas están influenciados por la composición de los alimentos, la flora microbiana y otros parámetros, como la temperatura de almacenamiento de los alimentos, las condiciones de maduración y el envasado (Yan-Fong *et al.*, 2021).

La calidad del pescado también puede verse afectada por la oxidación de los lípidos, que consiste en la reacción del oxígeno con los dobles enlaces de los ácidos grasos poliinsaturados (Losada *et al.*, 2007). La oxidación de lípidos puede ocurrir de forma enzimática o no enzimática en los peces. En el proceso de hidrólisis enzimática (lipólisis), los glicéridos son divididos por lipasas, formando ácidos grasos libres que son responsables del mal sabor común (rancidez) y de la desnaturalización de proteínas (Landines-Parra & Zambrano-Navarrete, 2009). La

oxidación no enzimática se desencadena por la catálisis de compuestos como la hemoglobina, a diferencia de la carne de mamíferos, la hemoglobina (Hb) contribuye de manera importante a la oxidación de lípidos en el pescado y los productos pesqueros, ya que la sangre prácticamente no se elimina antes del procesamiento (Maqsood *et al.*, 2012).

3.5 Degradación microbiológica del pescado

El deterioro microbiano es otra de las causas de la degradación de la calidad del pescado, y representa hasta un 25-30 % de pérdida en dichos productos (Ghaly *et al.*, 2010). Aunque las poblaciones microbianas disminuyen después de salado-ahumado, los organismos sobrevivientes pueden crecer durante el almacenamiento (Economou *et al.*, 2022). La degradación del pescado a causa de los microorganismos puede darse de dos formas diferentes: 1) microorganismos que no son necesariamente dañinas para el consumidor, pero que degradan el producto (sabor, olor, color, consistencia) y restringen su vida útil y 2) microorganismos patógenos que pueden estar presentes en cantidades tan pequeñas que no conducen a un efecto directamente observable (sabor, olor, color, consistencia) del producto, pero que por ingestión de cantidades mínimas pueden causar intoxicación alimentaria e incluso la muerte (Løvdal, 2015).

Dentro del grupo de microorganismos que producen deterioro encontramos bacterias del ácido láctico, Enterobacterias (*Escherichia coli*, *Salmonella*) *Aeromonas* spp. y en algunos casos, mohos y levaduras (Gram & Dalgaard, 2002; Chaillou *et al* 2014; Economou *et al.*, 2022).

Entre las especies bacterianas que constituyen peligros potenciales para la salud se encuentran *Listeria monocytogenes*, una bacteria psicrótrfica, no formadora de esporas, que da origen a la enfermedad listeriosis, y que resulta fatal en un 20-30% de los casos (Aalto-Araneda *et al.*, 2019). *L. monocytogenes* crece tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas, en un amplio rango de temperatura y pH (-1,5-45 °C; pH 4,3-9,6) y resiste hasta un 10% de salinidad, impidiendo el control de la bacteria en la cadena alimentaria a través de los medios tradicionales de salazón, refrigeración y envasado en atmósferas modificadas (Ekonomou *et al.*, 2022).

3.6 Análisis sensorial en pescado

Las demandas de los consumidores de alimentos con alto valor nutricional o ciertas propiedades sensoriales específicas son el resultado de la conciencia del impacto de los productos alimenticios en su salud, placer o preferencia (Freitas *et al.*, 2021). La ciencia de los alimentos en la década de 1970 consideró la evaluación sensorial como un medio para definir la calidad y la competitividad de un producto en el mercado y hoy en día puede contribuir a comprender la respuesta de los diferentes consumidores (Tuorila & Monteleone, 2009). Los aspectos cualitativos de un producto incluyen el aroma, apariencia, sabor, textura, que lo hacen diferente de otro, por tal motivo el análisis sensorial permite cuantificar estos aspectos del producto para facilitar su descripción y aceptación (Murray *et al.*, 2001).

Existen varias metodologías que permiten realizar una evaluación sensorial a cualquier tipo de producto comercial dentro de las cuales se encuentran: 1)

esquema de la Unión Europea (UE), 2) el análisis sensorial de Torry y 3) método del índice de calidad (QIM). Sin embargo, muchas de estas metodologías pueden complementarse entre sí y ofrecer estimaciones aceptables. Independientemente del método elegido y las razones detrás de él, las evaluaciones sensoriales seguirán siendo un factor clave, ya que las pistas sensoriales son los principales parámetros que un consumidor puede seguir al comprar pescado fresco (Freitas *et al.*, 2021). No vale la pena producir, distribuir o comercializar ningún alimento o bebida sin tener al menos una idea aproximada de que su calidad sensorial es aceptada por los consumidores, por lo tanto, la evaluación sensorial o evaluación de productos se ha incorporado durante mucho tiempo al control de calidad de alimentos y bebidas comercialmente importantes ((Tuorila & Monteleoneb, 2009).

Las decisiones de los consumidores sobre un producto alimenticio no dependen únicamente del placer asociado o de sus propiedades organolépticas (Matos *et al.*, 2017), también dependen de las expectativas personales que varían entre los consumidores, así como con la influencia cultural o geográfica (Almli & Hersleth, 2013). La sal además de la conservación es importante en la percepción sensorial y la aceptación de un producto por parte del consumidor, tiene un sabor característico y es uno de los cinco sabores básicos perceptibles en nuestra lengua que funciona como potenciador del sabor (Albarracin *et al.*, 2011).

3.7 Importancia nutricional de productos a base de pescado salado y/o ahumado

El pescado es un alimento altamente valorado debido a que proporciona alrededor del 15% de la ingesta media per cápita de proteína animal de más de 4500 millones de consumidores (Lelwela *et al.*, 2020). El consumo mundial de pescado ha ido aumentando a lo largo de los años debido al incremento de la población mundial, así como a la concienciación sobre los efectos beneficiosos de la inclusión del pescado en una dieta equilibrada para la salud humana (Messina *et al.*, 2021).

Los beneficios nutricionales de la ingesta de pescado se deben principalmente al contenido de: 1) Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, como el ácido docosahexaenoico (DHA) y ácido eicosapentaenoico entre otros (Sroy *et al.*, 2021), 2) al contenido de proteínas de alta calidad y fácil digestibilidad (Kwasek *et al.*, 2020) y 3) a la presencia de micronutrientes como vitaminas y minerales (Bhowmik *et al.*, 2022).

En la actualidad, cada vez se presta más atención al consumo de pescado debido a los beneficios que trae para la salud humana, por ejemplo, se sabe que la falta de proteínas de alta calidad en las dietas de los niños pequeños puede causar problemas con su crecimiento (Semba *et al.*, 2016); El DHA y yodo son esenciales para el desarrollo del cerebro y del sistema nervioso (Petsini & Fragopoulou, 2018).

Los métodos de procesamiento tienen un efecto considerable en el valor nutricional del pescado, es así como el proceso de ahumado mejora la calidad nutricional de los filetes debido al mayor contenido de proteínas y cenizas en el producto ahumado en comparación con el producto fresco (Sokamte *et al.*, 2020).

En general, los productos ahumados presentan un contenido de sal elevado que puede variar entre 1,3-5% (Birkeland & Skåra, 2008). El sodio (Na) es un nutriente esencial para la homeostasis celular y la función fisiológica, y se estima que la ingesta diaria mínima requerida es de 200 a 500 mg (Farquhar *et al.*, 2015). Sin embargo, se sabe que la ingesta excesiva de sal es uno de los principales factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares, como la enfermedad coronaria y el accidente cerebrovascular, que representan un grave problema de salud pública (Muñoz *et al.*, 2020). Es así como la industria alimentaria busca mejorar la calidad y los aspectos saludables de los productos finales, especialmente debido a la evidencia de que el consumo de este tipo de alimentos está fuertemente relacionado con la salud (Fuentes *et al.*, 2010).

3.8 Consumo de pescado salado-ahumado

El aumento del consumo de pescado ahumado comenzó en la década de 1990 con la promoción de las compras de salmón ahumado, siendo ahora uno de los productos más vendidos, seguido de la trucha y el arenque (Cardinal *et al.* 2006). Existe una alta demanda en el mercado de productos ahumados, siendo la producción mundial de pescado ahumado de unas 160.000 toneladas (FAO, 2020). El salmón y el arenque son las especies ahumadas más importantes con una producción aproximada de 51.000 y 15.000 toneladas respectivamente en 2006, aunque en el mercado se pueden encontrar otros pescados ahumados como el bacalao, el atún, la caballa o la trucha. Hoy en día, el pescado salado sigue siendo considerado un producto muy popular debido a la gran demanda y facilidad de preparación (Gallart-Jornet *et al.*, 2003). El consumo anual de productos salados a

base de éscado de las pesquerías del Atlántico Norte puede estimarse en más de 150.000 toneladas (Oliveira *et al.*, 2012).

En Europa el consumo de pescado ahumado se inició en el norte y centro, y recientemente se ha extendido al sur donde estos productos son considerados manjares, por lo que esta técnica se considera como una alternativa para obtener productos de alto valor agregado a partir de peces de baja comercialización (Guillén *et al.* 2006).

En muchos países africanos, el pescado ahumado desempeña un papel importante en la alimentación diaria y es una fuente esencial de ingresos para muchas comunidades costeras. Por lo general, la elaboración de pescado en pequeña escala se caracteriza por los procesos de ahumado en caliente y secado, en los que las mujeres están a cargo (FAO, 2020).

En América del norte se estima que el 30% de todos los productos cárnicos son ahumados (Ledesma *et al.*, 2017). El proceso de ahumado industrial y/o artesanal del pescado no es usado con mucha frecuencia en Colombia, por cuanto este producto es generalmente comercializado fresco, congelado y seco-salado exceptuando algunos productos enlatados de ciertas especies que se comercializan con algún tipo de proceso agroindustrial (Carrera *et al.*, 2022). Por esta razón resulta importante introducir tecnologías aplicadas en otros países tales como la combinación de salado-ahumado no solamente para lograr el mejor aprovechamiento del músculo de pescado, sino también para iniciar un proceso de educación en el consumo de este tipo de alimento, así como para aumentar la demanda de la tilapia a nivel internacional, en donde los productos derivados de la

pesca salados y/o ahumados son apetecidos generando oportunidades de comercialización.

3.9 Legislación vigente para productos salados-ahumados

Hacia el año de 1962 La FAO junto con la Organización mundial de la salud OMS establecieron el conjunto de normas reglamentarias para los alimentos, cuyo objetivo principal es la protección de la salud de los consumidores y el aseguramiento de buenas prácticas en el comercio de alimentos conocido como Codex alimentarius (Dawson, 1995).

CXS 311-2013: Norma para el pescado ahumado, pescado con sabor a humo y pescado secado con humo. La presente norma se aplica al pescado ahumado, con sabor a humo y secado con humo, elaborado con materia prima fresca, refrigerada o cruda y congelada. Se ocupa del pescado entero, filetes y productos rebanados de los mismos, o productos similares. La norma se aplica al pescado, ya sea para consumo directo, para ulterior elaboración, o para ser agregado a productos picados o especializados, en el que el pescado constituye sólo parte del contenido comestible.

En Colombia el proceso de normalización es realizado a través del Icontec, lo cual es una organización privada, sin ánimo de lucro, con amplia cobertura internacional; con el objetivo de responder a las necesidades de los diferentes sectores económicos, a través de servicios específicos al desarrollo y competitividad de las organizaciones. Entre sus labores se destaca la reproducción de normas

técnicas y la certificación de normas de calidad para empresas y actividades profesionales, a continuación, relacionamos algunas que tienen estrecha relación con productos a base de pescado.

NTC 6178 del 2016: Establece los requisitos de calidad del pescado ahumado, con sabor a humo y secado con humo, elaborado con materia prima recién capturada (o cosechada) refrigerada y/o congelada, y los métodos de ensayo para evaluar su calidad.

GTC 222 del 2021: Guía para la evaluación sensorial para productos pesqueros y acuícolas (pescados, crustáceos y moluscos) en laboratorio.

NTC 6128 del 2015: Productos de la pesca y de la acuicultura. pescado salado.

NTC 4491-3 del 2004: Microbiología de alimentos y alimentos para animales. preparación de muestras para ensayo, suspensión inicial y diluciones decimales para análisis microbiológico. parte 3. reglas específicas para preparación de muestras de pescado y productos de la pesca.

Resolución N.º 0810 del 2021: Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional y frontal que deben cumplir los alimentos envasados o empacados para el consumo humano.

Resolución N.º 719 de 2015: Por la cual se establece la clasificación de alimentos para consumo humano de acuerdo con el riesgo en salud pública.

Resolución 228 de 2007: Por la cual se establece el procedimiento para la inscripción de fábricas de productos de la pesca y acuicultura para la exportación a la Unión Europea.

Resolución 730 de 1998: Por la cual se adopta el Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control - HACCP-, en los productos pesqueros y acuícolas para consumo humano, de exportación e importación.

Así mismo para el año 2020 el Ministerio de Salud y Protección Social estableció la resolución N° 0002013, por la cual se establece el reglamento técnico que define los contenidos máximos de sodio de los alimentos procesados priorizados en el marco de la Estrategia Nacional de Reducción del Consumo de Sodio y se dictan otras disposiciones. Aunque en dicha resolución el pescado salado-ahumado no se encuentra dentro del anexo 2 de la misma resolución, si es pertinente mencionar que el Ministerio formuló la "Estrategia nacional para la reducción del consumo de sal/sodio en Colombia 2012 - 2021" con el propósito de disminuir el consumo de sal/ sodio en la población, en virtud de lo establecido en el artículo 9º de la Ley 1355 de 2009 y comprende el conjunto unificado e integrado de acciones, a través de diferentes líneas de trabajo que incluye aspectos de regulación, información, educación, comunicación e investigación, entre otros, con la participación de la industria de alimentos.

4. METODOLOGÍA

4.1 Materia prima: Los filetes de tilapia fresca se obtuvieron de la comercializadora Export pez SAS ubicada en el municipio de Rivera, departamento del Huila, cuyo peso promedio estuvieron en 109 ± 38 g y cuyo grosor estaba entre 2 y 3 cm, posteriormente fueron llevados al laboratorio de Agroindustria de la Universidad Surcolombiana en cavas de poliestireno para mantener su frescura e iniciar con la caracterización de la materia prima. Para la realización del proceso de salado-ahumado se utilizó sal ahumada de la casa comercial Hacendado el cual contiene azúcar, sal marina refinada salazón, bicarbonato sódico, aroma de humo y anti aglomerante E536.

4.2 Diseño experimental: Para establecer las condiciones óptimas de salado-ahumado sobre el filete de tilapia se estudió el efecto de la cantidad de sal dosificada sobre el filete (C), el tiempo de salado (T) y tipo de envasado (E) sobre las propiedades fisicoquímicas del producto final. Para ello se estableció un diseño factorial de 2x3x3 en donde se evaluó el tipo de empaque (al vacío y al aire), la concentración de sal ahumada (6, 10 y 14 gr sal/ 100 gr de pescado fresco) y tiempo de salado (8, 24 y 48 horas). La sal se distribuyó sobre la superficie del músculo del pescado y las muestras se colocaron individualmente dentro de las bolsas de plástico para ser almacenadas a una temperatura de $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Una vez finalizado proceso del salado-ahumado se realizaron las determinaciones analíticas para cada uno de los tratamientos (Figura 2).

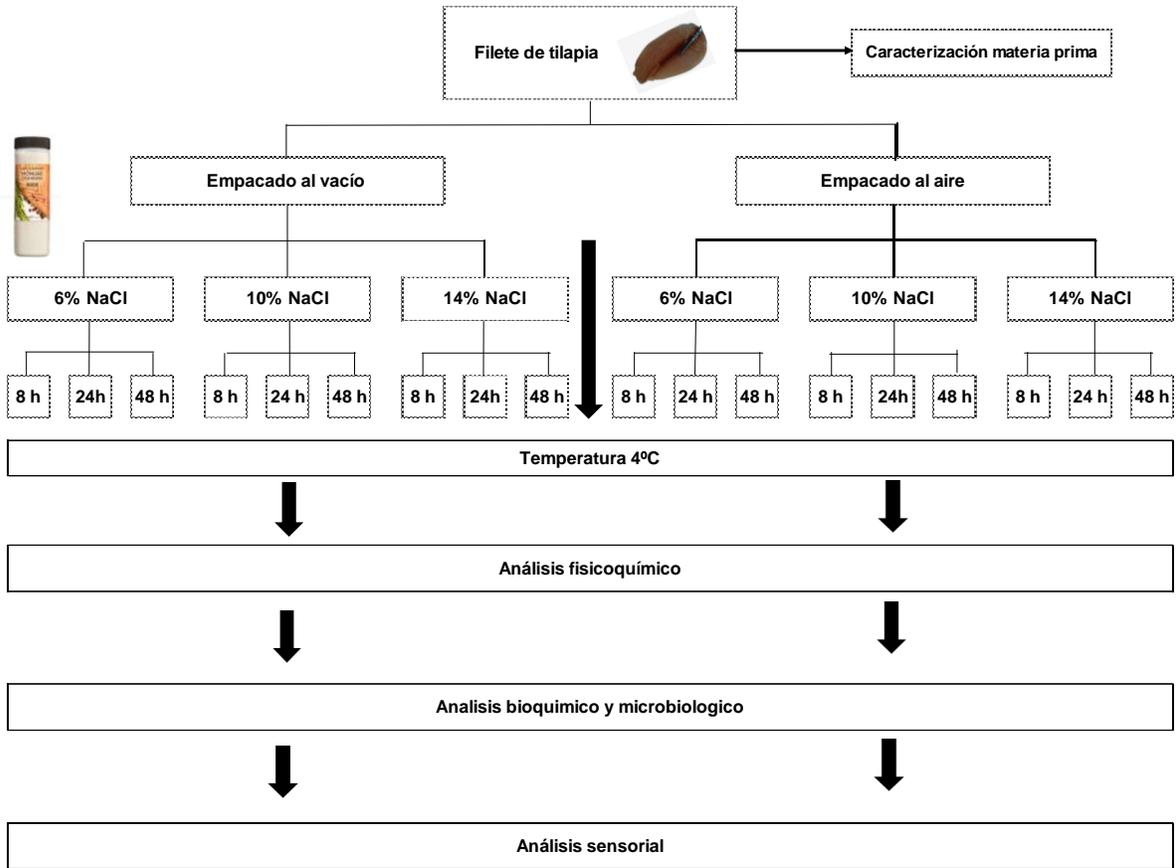


Figura 2. Diseño experimental

4.3 Determinaciones analíticas:

4.3.1 Contenido de humedad (X^w): La determinación de la humedad se realizó de acuerdo con los procedimientos establecidos por AOAC (2019). Se depositaron ~3 gramos de arena de mar en pesa-sustancias metálico y una varilla de vidrio, se secaron en estufa UF30plus (Mettler GmbH - Alemania) a 105 °C durante 24 horas. Posteriormente, se atemperaron en un desecador y se pesaron en una balanza analítica y se añadieron ~3 gramos de muestra previamente triturada. Con la varilla de vidrio se homogenizó la muestra junto con arena de mar para favorecer la salida de agua del producto. Las muestras se llevaron a 105 °C durante otras 24 horas, periodo tras el cual, los pesa-sustancias se atemperaron en el desecador, para luego registrar su peso. El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(p_1 - p_2)}{(p_0)} \times 100$$

Donde:

P_1 : Peso inicial de la muestra, varilla y pesa-sustancias en gramos

P_2 : Peso final de la muestra, varilla y pesa-sustancias en gramos

P_0 : Peso de la muestra

4.3.2 Contenido de Lípidos: La determinación del contenido de lípidos se realizó por extracción en Soxhlet con éter de petróleo según la AOAC (2019). Se pesaron ~10 g de muestra por triplicado en una pesa sustancias, se homogeneizaron con arena de mar y se secaron hasta obtener un peso constante en estufa a 103 ± 2 °C. El contenido de la pesa sustancias se introdujo en un cartucho de extracción de celulosa Albet® 900 (Filalbet, Barcelona, España) y se tapó con algodón. Este cartucho se colocó en la cámara de extracción del equipo Soxhlet (ST 255 TM) al que se le adicionó éter de petróleo. El montaje del Soxhlet constaba de refrigerante acoplado a la cámara de extracción y a un matraz esférico previamente pesado totalmente limpio y seco. La grasa se extrajo durante 6 horas, el disolvente residual se eliminó con ayuda de un rota vapor. Posteriormente los matraces se enfriaron en un desecador hasta temperatura ambiente y se pesaron en balanza analítica. El cálculo del porcentaje de lípidos en la tilapia se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ grasa} = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_0)} \times 100$$

Donde:

P₁: Peso del matraz vacío

P₂: Peso del matraz con el extracto

P₀: Peso de la muestra

4.3.3. Contenido de proteínas: La determinación de proteínas se realizó según el método Kjeldahl, tal y como se describe en el método 928.08 de la (AOAC, 2019) el cual consiste en la determinación del contenido de nitrógeno de muestras orgánicas en tres pasos: digestión, destilación y titulación. Para ello se colocaron ~0,5 g de muestra en tubos Kjeldahl por triplicado en donde se le agregaron 3 g de catalizador compuesto por K₂SO₄, CuSO₄ y Se (10:10:1), 10 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) y 5 mL de peróxido de hidrógeno (H₂O₂). Los tubos se colocaron en el digestor a 450 °C hasta cuando la disolución contenida en el tubo se tornaba de color verde esmeralda. Posteriormente la disolución obtenida tras la digestión se diluyó en frío con 50 mL de agua destilada y se llevó a una unidad de destilación semiautomática Selecta PRO-NITRO S donde se añadió un exceso de hidróxido sódico 10 N y se destiló durante 4 min. El amoníaco liberado durante la destilación se recogió sobre 50 mL de una disolución de ácido bórico. El amoníaco recogido sobre el ácido bórico se valoró con H₂SO₄ 0.3 N en presencia del indicador Shiro T-Shiro (disolución de rojo de metilo al 0,2% y azul de metileno al 0,1% en alcohol etílico), hasta el viraje de la disolución de verde (medio básico) a violeta (medio ácido). Paralelamente se realizó un ensayo en blanco. La cantidad de proteína se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(Vm - Vb) \cdot N_{H_2SO_4} \cdot f \cdot Peq_{N_2} \cdot 6.25}{m} \times 100$$

4.3.4. pH: La determinación del pH se realizó utilizando un pH metro BP3001 (Trans-Instruments, Singapur), con un electrodo combinado y sensor de

temperatura incorporado previamente calibrado con las disoluciones de pH 7, 4 y 10. Las medidas se realizaron por triplicado a una solución de pescado y agua destilada en una relación 1:10 p/v.

4.3.5 Actividad de agua (a_w): Las medidas de actividad de agua (a_w) se realizaron a partir de un Vapor Sorption Analyzer - Aqualab VSA

4.3.6 Color: La determinación del color de las muestras de tilapia se realizó directamente sobre los filetes, para la medición de los parámetros de color por el método CIE (Comisión Internacional Eclairage) se utilizó un colorímetro móvil CR-410 HEAD de marca Konica Minolta. A partir de las coordenadas colorimétricas del sistema CIE (1994), L^* (luminosidad), a^* (desviación hacia el rojo y el verde) y b^* (desviación hacia el amarillo y el azul).

4.3.7 Determinación de contenido de NaCl: Para la determinación del contenido de cloruro sódico se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Fuentes *et al.*, (2010) con algunas modificaciones, para ello se tomó aproximadamente ~1 g homogéneo de muestra previamente triturada, empleando un homogeneizador Ultra-turrax T-25, el sobrenadante obtenido se filtró con ayuda de una bomba de vacío y se tomó una alícuota de 100 μ L de este filtrado para su valoración en el analizador automático de cloruros Sherwood mod 926S (Sherwood Scientific Ltd., Cambridge, UK). Las concentraciones totales de cloruro de sodio en base húmeda ($X^{\text{NaCl}}\text{Bh}$), El contenido de cloruro sódico en base seca ($X^{\text{NaCl}}\text{Bs}$) y en fase líquida (Z^{NaCl}) se determinaron mediante las siguientes ecuaciones:

$$X^{\text{NaCl}}_{\text{Bh}} = \frac{\text{g NaCl}}{100 \text{ g muestra}} = \frac{\text{lectura} \times V \times 58.5}{p \times 35.5 \times 10}$$

$$X^{\text{NaCl}}_{\text{Bs}} = \frac{\text{g NaCl}}{\text{g materia seca}} = \frac{X^{\text{NaCl}}_{\text{Bh}}}{1 - X_{\text{W Bh}}}$$

$$Z^{\text{NaCl}} = \frac{\text{g NaCl}}{\text{g fase liquida}} = \frac{X^{\text{NaCl}}_{\text{Bh}}}{X^{\text{NaCl}}_{\text{Bh}} + X_{\text{W Bh}}}$$

Donde:

Lectura: Valor dado por el equipo (mg Cl/L)

V: Volumen de la disolución de pescado (L)

p: Masa de la muestra (g)

Los cambios en la masa total de los filetes (ΔM_t) durante el proceso de salado se obtuvieron a partir del peso de las muestras (M_0) a los tiempos determinados mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta M_t = \frac{M_0 - M_t}{M_0}$$

4.3.8 Determinación del contenido en Nitrógeno Básico Volátil Total

(NBVT): La determinación del contenido de NBVT consta de una desproteinización inicial de la muestra, un proceso de destilación y una valoración final del destilado obtenido. La determinación del NBVT se realizó mediante la metodología descrita por Ruiz-alonso *et al.*, (2021) con algunas modificaciones. Para ello se tomaron ~10 g de muestra de pescado, se homogenizaron en Ultra-turrax con 200 mL de agua destilada y se le adicionaron 2 g de óxido de magnesio (MgO), el homogeneizado se filtró a través de una bomba de vacío. Posteriormente se procedió a la destilación de la mezcla a través de un montaje sencillo. El destilado se recogió en una solución de 25 mL de ácido bórico en un matraz. Finalmente, el destilado se valoró usando HCL 0,1 N y utilizando Shiro T-Shiro como indicador. Los resultados se expresaron como mg de NBVT por 100 g de producto por triplicado.

4.3.9. Determinación de la oxidación lipídica índice de TBA

La oxidación de lípidos de las muestras se realizó midiendo las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBA) como describen Mohdaly *et al.*, (2021). Una muestra de ~10 g de pescado triturado se homogenizó con 50 mL de agua destilada. Posteriormente el homogeneizado se transfirió a un matraz de destilación con 47,5 mL de agua destilada, se añadieron 2,5 mL de HCl 4 N. Se recogió el destilado (50 mL), y se pipetearon 5 mL en un tubo con tapón de vidrio mezclado con 5 mL de reactivo TBA, y luego la mezcla se calentó durante 35 min en un baño maría, se dejó enfriar a temperatura ambiente y la absorbancia del sobrenadante se midió mediante un espectrofotómetro Genesis 10S-UV-Vis marca Thermo Scientific a una longitud de 532 nm teniendo en cuenta un blanco de agua destilada. Los valores de

TBARS presentes en los filetes de tilapia con sabor a humo y el control se calcularon en mg de MDA/kg.

4.4 Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos se realizaron a los 0, 7, 14, 21 y 28 días de preparado el producto a base del filete de tilapia con una concentración de sal del 6% y empacados al vacío, ya que fue el tratamiento que más cerca estuvo de cumplir con los estándares estipulados en el Codex alimentarius, así como también se realizaron los análisis al filete sin ningún tipo de tratamiento como control.

La preparación de las muestras de filetes de pescado se llevó a cabo según la técnica de maceración del músculo recomendado por ICMSF (1986), ~10 gr de filete de pescado de cada uno de los tratamientos por triplicado fueron colocados en un matraz estéril con 90 mL de agua peptonada estéril al 0,1%, se homogenizaron por 2 minutos y posteriormente se realizaron diluciones seriadas, de cada dilución se tomó 1 mL de muestra para ser sembrado en placas de agar con los medios de cultivo seleccionados para cada microorganismo.

La determinación de coliformes se determinó a partir del crecimiento observado en las placas con medio de cultivo agar bilis rojo violeta, el cual fue incubado a 35°C por 48 h para la determinación de coliformes totales y a 44,5°C por 24 h para la determinación de coliformes fecales. Para el caso de listeria, las inoculaciones se realizaron en caldo Listeria, incubado a 35°C por 24 h como enriquecimiento. El aislamiento selectivo se realizó en agar Oxford el cual fue

incubado a 35°C por 48 h. Las colonias fueron confirmadas mediante las pruebas de Gram, movilidad, catalasa y oxidasa. Para la detección de *Salmonella* spp. se realizó un enriquecimiento a partir de la dilución inicial por 24 a 35°C. Posteriormente, se realizó un enriquecimiento selectivo utilizando caldo selenito y caldo tetracionato, incubados a 35 y 43°C por 24 h. El aislamiento selectivo se realizó con agar XLD y agar Hecktoen, los cuales se incubaron a 35°C por 24 h. Para *Staphylococcus coagulasa* positivo se utilizó agar Baird Parker a una temperatura de 35-37 °C y se incubaron durante 24-48 h. Las colonias sospechosas se identificaron mediante la prueba de la coagulasa (APHA, 2001). Los resultados se expresaron como logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (Log UFC/g).

4.5 Análisis sensorial: Tras seleccionar las condiciones óptimas para el proceso de ahumado-salado, se realizó un análisis sensorial para comprobar la aceptabilidad del producto obtenido. Las muestras analizadas se procesaron al 6% de contenido de sal, empacados al vacío y con un tiempo de preparación de 24 horas. El análisis sensorial se realizó con un panel conformada por 30 personas distribuidos entre hombres y mujeres.

Las muestras de ~30-40 g se prepararon y se codificaron con números aleatorios de tres dígitos y se presentaron a los consumidores en un orden aleatorio. Se evaluaron tres productos, filete salado-ahumado crudo (SAC), filete salado-ahumado preparado al vapor (SAV) y filete salado ahumado asado (SAA). Cada evaluador respondió una evaluación tipo hedónica de cinco puntos (1= pésimo, 2= deficiente, 3 = regular, 4 = bueno y 5 = excelente) para determinar el nivel de aceptación de cada producto. Los atributos que se evaluaron fueron color, olor, sabor, textura y aceptación general. El atributo sabor se evaluó en los productos SAV y SAA solamente. Adicionalmente, se indagó a los panelistas si comprarían o no el producto.

4.6 Análisis estadístico

Los resultados de los análisis fisicoquímicos fueron evaluados a través de un ANOVA factorial para evaluar la influencia de la concentración de sal, el tiempo de salazón y el método de almacenamiento y sus interacciones. Los resultados del análisis bioquímicos, microbiológicos y sensoriales se procesaron con ANOVA unifactorial con el fin de Identificar diferencias significativas en cada atributo

verificando el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad, seguidas de la prueba de Tukey para establecer la existencia de diferencias significativas entre los factores.

Para los valores de NBV-T (nitrógeno básico volátil total) e Índice de TBA (ácido tiobarbitúrico) se realizó un análisis de regresión con respecto al tiempo, así como se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre los valores de Z^{NaCl} y la coordenada de color L^* y el pH. Los procedimientos estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics centurión XVI. (Manugistics Inc., Rockville, MD, EE.UU.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterización de la materia prima: La tabla 1 muestra los resultados para las determinaciones analíticas realizadas a la materia prima, los cuales se establecieron como valores de referencia. Los datos se expresaron en valores promedio y desviación estándar. El contenido de humedad lípidos y proteínas fue de 79,6, 3,13 y 19% respectivamente. En cuanto al contenido de agua (a_w) y pH del filete de tilapia estuvieron en valores de 0,99 y 6,61. Los filetes frescos presentaron una coloración blanca rosada, en este caso las coordenadas CIE L^* mostraron valores de 104, a^* de 13,9 y b^* de 24,2.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del filete de tilapia fresco producido en el departamento del Huila-Colombia. Valores promedios (n=3)

Parámetro	Filete de tilapia
Contenido de humedad (%)	79,6 ± 1,18
Grasas (%)	3,13 ± 0,22
Proteína %)	19,0 ± 0,06
pH	6,61 ± 0,10
a_w	0,99 ± 0,00
Coordenadas de color	
L^*	104,4 ± 7,28
a^*	13,9 ± 1,59
b^*	24,2 ± 0,71

5.2 Caracterización fisicoquímica del filete de tilapia sometido a procesos de salado-ahumado. El resultado del análisis estadístico del ANOVA multifactorial se muestra en la Tabla 2. Se comparó el efecto del tipo de empaque (E), tiempo de salazón (T) y concentración de sal (C) en todas las variables estudiadas y sus interacciones. En general se pudo observar que la cantidad de sal dosificada y el tiempo de salazón presentaron un efecto significativo en la mayoría de las variables evaluadas, a diferencia del tipo de empaque (E) el cual presentó un efecto significativo solamente sobre Z^{NaCl} ($p < 0,01$) y a_w ($p < 0,01$).

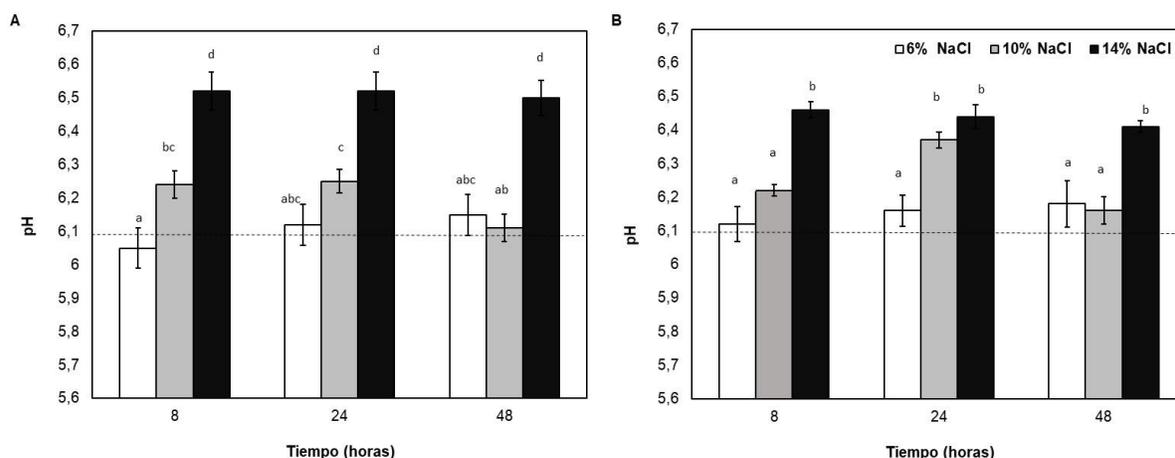
Tabla 2. Niveles de significancia obtenidos en la ANOVA multifactorial para los parámetros fisicoquímicos, según los factores: Tipo de empaque (E), tiempo de salazón (t) y concentración de sal (C).

Variable respuesta	E	C	T	(ExC)	(ExT)	(CxT)	(E x C x T)
pH	0.11 ^{ns}	108.43 ^{***}	3.08 ^{ns}	4.45 [*]	0.26 ^{ns}	3.96 ^{**}	0.66 ^{ns}
a_w	10.13 ^{**}	85.34 ^{***}	8.09 ^{**}	0.09 ^{ns}	0.84 ^{ns}	0.97 ^{ns}	0.94 ^{ns}
X^w	1.21 ^{ns}	55.99 ^{***}	14.62 ^{***}	0.08 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.28 ^{ns}
X^{NaClBh}	2.63 ^{ns}	269.83 ^{***}	16.04 ^{***}	0.58 ^{ns}	0.34 ^{ns}	2.02 ^{ns}	0.06 ^{ns}
X^{NaCLBs}	0.10 ^{ns}	189.27 ^{***}	8.06 ^{***}	0.02 ^{ns}	0.11 ^{ns}	2.63 ^{ns}	0.13 ^{ns}
Z^{NaCL}	7.50 ^{**}	330.30 ^{***}	10.80 ^{**}	3.90 [*]	1.20 ^{ns}	0.90 ^{ns}	0.30 ^{ns}
L^*	0.18 ^{ns}	117.15 ^{***}	0.63 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.86 ^{ns}
a^*	1.04 ^{ns}	47.40 ^{***}	0.09 ^{ns}	1.00 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.13 ^{ns}
b^*	2.04 ^{ns}	35.09 ^{***}	0.88 ^{ns}	0.60 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.41 ^{ns}	0.15 ^{ns}

ns: no significativo, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

Con relación al pH se presentaron diferencias significativas ($P=0,0000$) en las concentraciones de sal evaluadas (C). Las muestras saladas a una concentración del 14% exhibieron los mayores valores de pH, mientras que los

valores más bajos se obtuvieron con la concentración de sal al 6% (Figura 3). El tiempo (T) y tipo de empaçado (E) no tuvieron un efecto significado sobre el pH de las muestras ($p > 0,05$). Con relación al valor de referencia (pH filete fresco) se pudo observar que la mayoría de los tratamientos aumentaron este parámetro excepto los filetes salados al 6% después de 8 horas y empaçados al vacío.

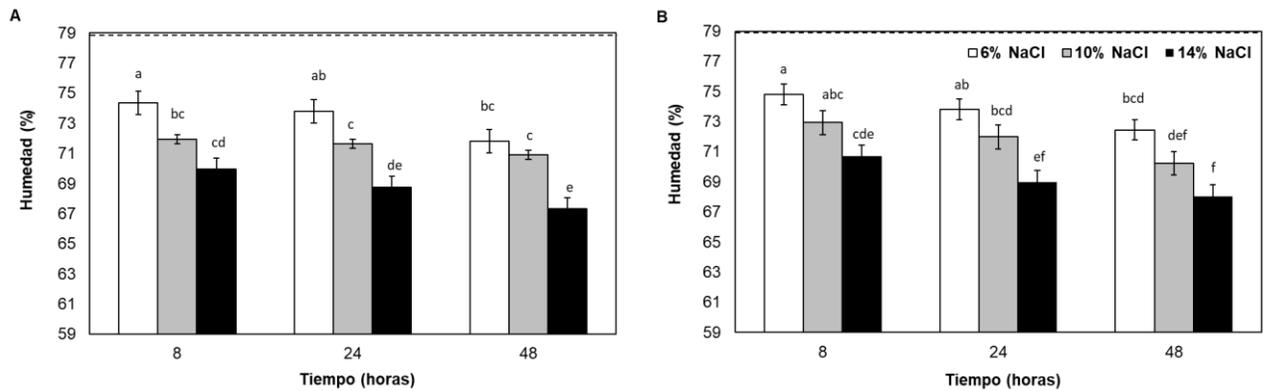


* La línea discontinua representa el valor de referencia. Letras similares indican grupos homogéneos.

Figura 3. Valores de pH de las muestras de filete salado-ahumado empaçadas al vacío (A) y al aire (B), con dosis de sal (6, 10 y 14%) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).

Con relación al contenido de humedad se observó una mayor pérdida a medida que aumenta la concentración de sal y el tiempo de salazón (Figura 4). En este sentido, se evidencia un efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo y la concentración sobre esta variable, pero no en las interacciones (Tabla 2). El tipo de empaque no tuvo efecto en el contenido de humedad de las muestras analizadas ($p > 0,05$). La mayor pérdida de humedad se obtuvo en los filetes salados al 14% en

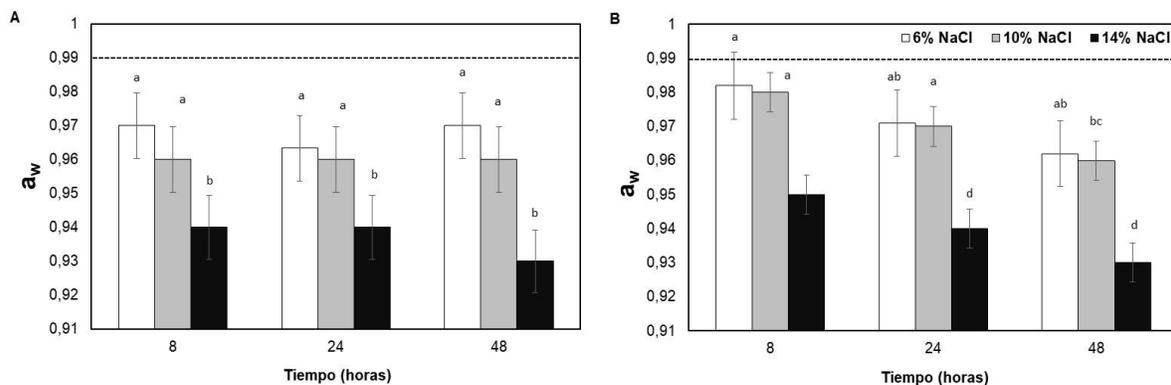
48 horas pasando de 70,3 a 67,6 %. Todos los tratamientos analizados presentaron una disminución de humedad con relación a la materia prima.



* La línea discontinua representa el valor de referencia. Letras similares indican grupos homogéneos.

Figura 4. Valores de humedad de las muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), dosis de sal (6, 10 y 14%) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).

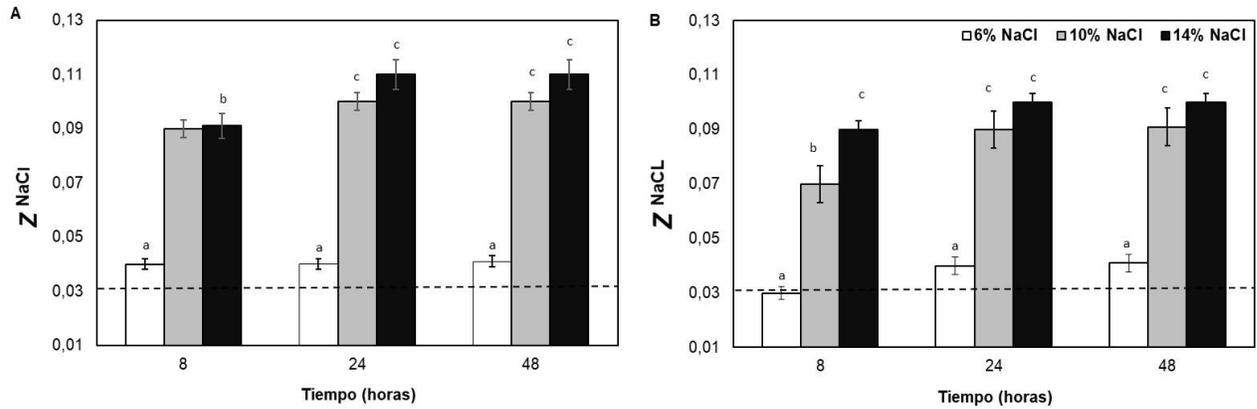
En cuanto a la Actividad de agua (a_w) se encontró que estuvo influenciado por el tipo de empaque ($P= 0,0028$), la concentración de sal ($P= 0,0000$) y el tiempo de salado ($P= 0,0011$) pero no por las interacciones de estas variables (Tabla 2). Se observó que las muestras saladas con envasado al vacío exhibieron menores valores en comparación con las muestras saladas al aire y que la actividad del agua disminuye al aumentar la concentración de sal (Figura 5). Todas las muestras saladas al 6% en los dos tipos de empaque exhibieron valores de a_w menores a 0,95 y todos los tratamientos presentaron un valor inferior al valor de referencia (filetes frescos).



*La línea discontinua representa el valor de referencia. Letras similares indican grupos homogéneos.

Figura 5. Valores de actividad de agua (a_w) de las muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), dosis de sal (6, 10 y 14% NaCl) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).

La concentración de sal aumentó significativamente con la dosis de sal (C), y el tiempo de procesamiento (T). Los filetes salados al 6% captaron la menor cantidad de sal, mientras que los valores del contenido de sal para la concentración de 14% fueron las más altas (Figura 6) en los dos tipos de empaque. El contenido de sal en fase líquida (Z^{NaCl}) estuvo influenciada por el tipo de empaque (E), concentración de sal (C) y tiempo (T) pero no por las interacciones de estas variables (Tabla 2). El valor de referencia que se tuvo en cuenta para esta variable fue la concentración mínima de sal en fase líquida establecida para pescado ahumado y pescado con sabor a humo para retardar la aparición de toxinas el cual es de $Z^{NaCl} = 0,03$, según el Codex alimentarius. La tasa más alta de absorción de sal de todos los tratamientos se obtuvo durante las primeras 24 h de salado, ya que después de ese tiempo este valor se mantuvo constante en todos los tratamientos



* La línea discontinua representa el valor de referencia. Letras similares indican grupos homogéneos.

Figura 6. Valores del contenido de sal en fase líquida en muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), con dosis de sal (6, 10 y 14%) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).

Con respecto a la pérdida de masa se encontró que esta variable aumenta a medida que aumenta la concentración de sal, a excepción de los filetes empacados al aire y a una concentración de sal al 14% en donde hubo un aumento de masa (Figura 7).

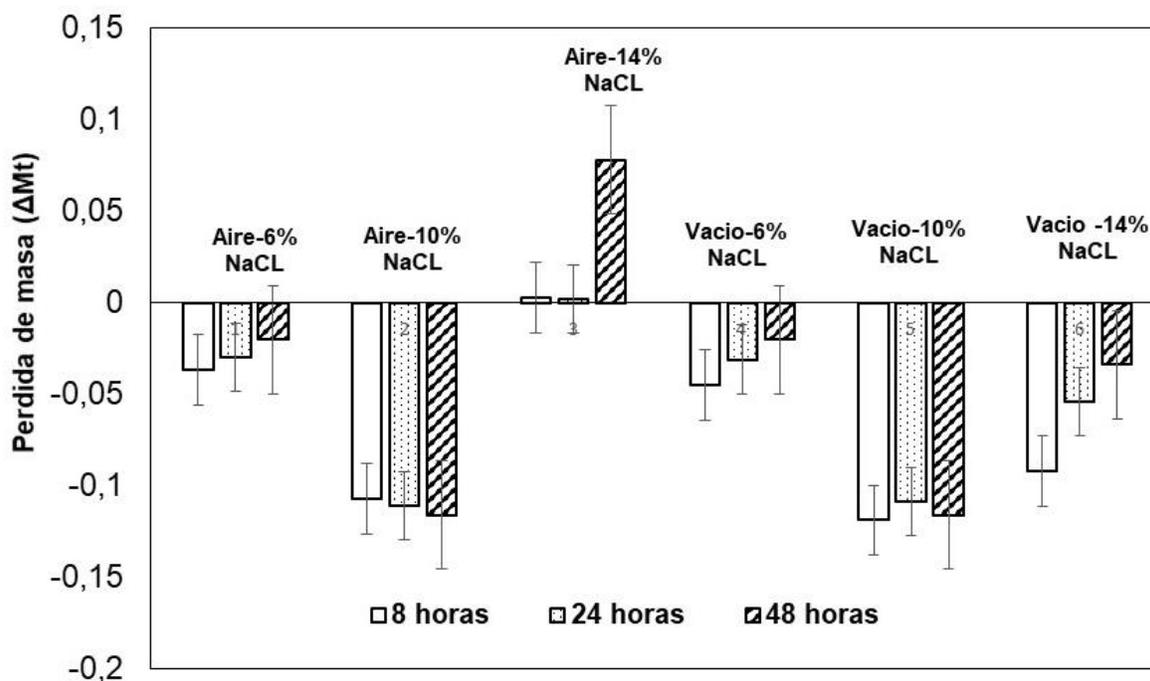
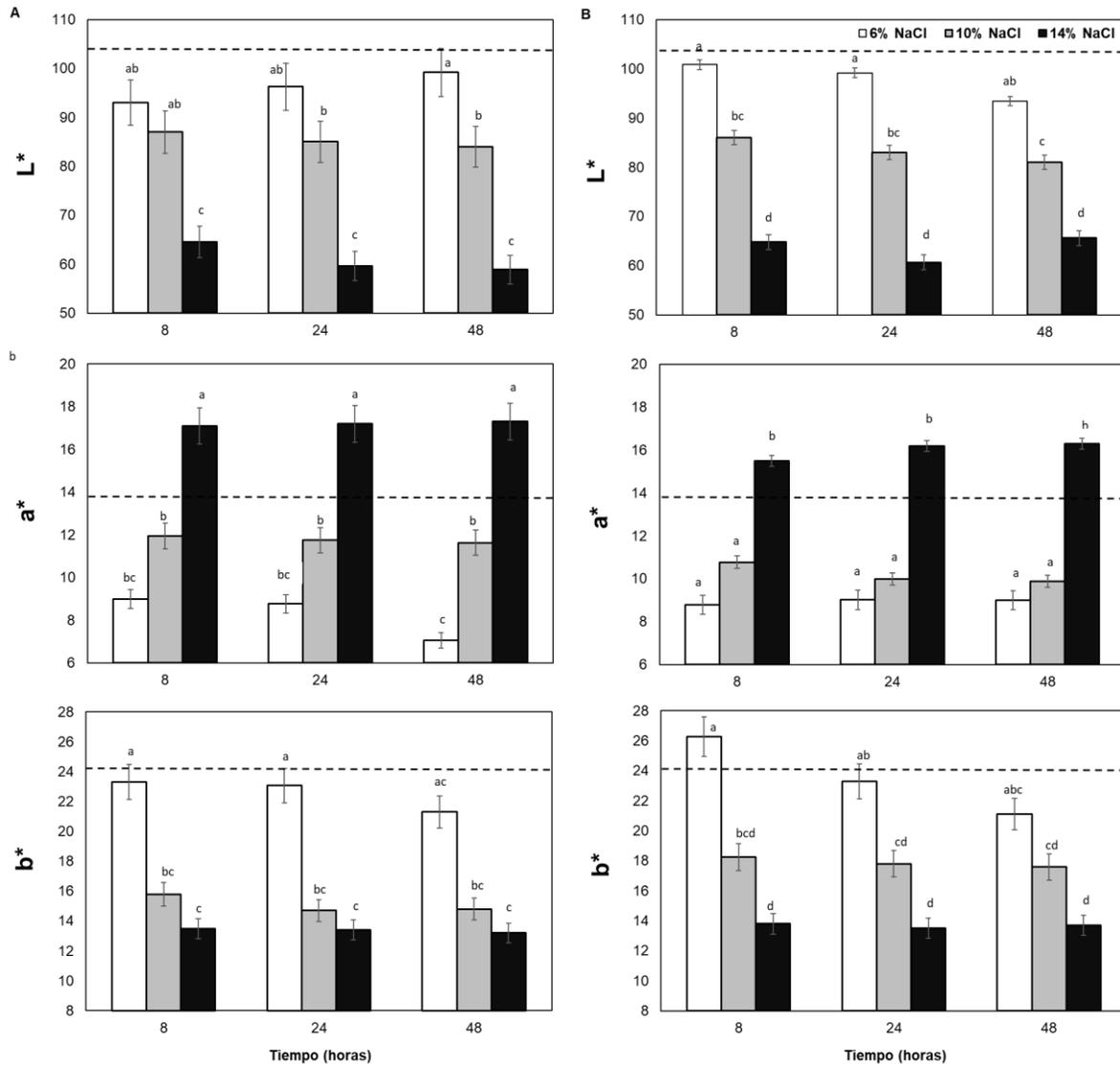


Figura 7. Variación de masa de las muestras de tilapia en cada uno de los tratamientos propuestos.

Con respecto al color se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para cada concentración de sal. El factor tipo de empaque y tiempo no tuvieron efecto en las coordenadas de color de las muestras ($p > 0,05$). Para la coordenada de luminosidad L^* , se observó que los valores son inversamente proporcionales a la concentración de sal agregada. El comportamiento de la coordenada a^* mostró que a medida que se incrementa la concentración de sal en los dos tipos de salado, aumenta la intensidad del rojo en las muestras. Los valores de la coordenada b^* disminuyen en la intensidad de amarillo (Figura 8). Con respecto a los valores de referencia se pudo establecer que todos los tratamientos evaluados produjeron valores en las coordenadas L^* y b^* menores al filete sin tratar. A diferencia de la coordenada a^* en donde los filetes salados a una concentración de 14% fueron

mayores al valor de la materia prima. Con relación al análisis de correlación de Pearson entre las variables Z^{NaCl} y L^* los resultados mostraron un coeficiente de correlación de $-0,7208$ y $P=0,000$



*La línea discontinua representa el valor de referencia. Letras similares indican grupos homogéneos.

Figura 8. Coordenadas de color de las muestras de filete con sabor a humo empacadas al vacío (A) y al aire (B), con dosis de sal (6, 10 y 14% NaCl) y tiempos de procesamiento (8, 24, 48 h).

5.3. Análisis Bioquímico: En la figura 9A se muestra los cambios de TVB-N en las muestras de filete salado-ahumado y control a través del tiempo. La concentración de TVB-N en las muestras con sabor a humo aumentó gradualmente a lo largo del período de almacenamiento. Los valores oscilaron entre 11,8 y 18,5 mg N/100 g de pescado para los filetes salados-ahumados y de 11,8 a 26,1 5 mg N/100 g para el control (Figura 9A). Para los filetes salados-ahumados se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) a partir de los 7 días de almacenamiento con respecto al control. Los valores de TBA aumentaron progresivamente a lo largo del estudio, alcanzando un nivel final de 0,39 mg MDA/kg para los filetes salados ahumados y de 0,41 mg MDA/kg para el control a los 28 días de almacenamiento (Figura 9B) presentado diferencias significativas ($p < 0,05$). Para los filetes salados ahumados se encontró una correlación exponencial entre los valores de TVB-N ($R^2 = 0,9383$) y TBA ($R^2 = 0,9343$) y el tiempo.

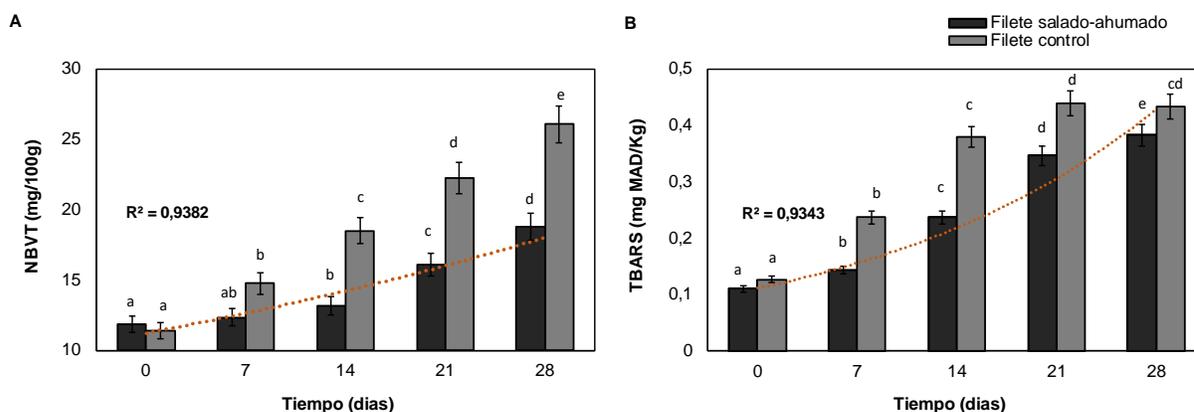


Figura 9. Cambios en el índice de A) NBV-T (nitrógeno básico volátil total), y B) Índice de TBA (ácido tiobarbitúrico) en muestras de filete de tilapia con sabor a humo

(6% NaCl) y filete fresco (control) empacados al vacío durante 28 días de almacenamiento a 4 °C.

5.4 Análisis microbiológico: Con relación al análisis microbiológico del producto elaborado a base de filete salado-ahumado el valor de los coliformes totales y fecales fueron de 2,4 y 1,9 Log UFC/g respectivamente en 28 días de almacenamiento a 5°C empacados al vacío (Figura 10A y 10B).

En cuanto a las *Pseudomonas* estas bacterias solo aparecieron en el filete control, mas no en los filetes salados-ahumados en ningún día de tratamiento (Figura 10C). En cuanto a los recuentos de *Staphylococcus* se observó que los recuentos iniciales de los filetes de tilapia salados-ahumados fue de cero hasta el día 21 de almacenamiento y luego aumentó hasta un valor final de 2,2 Log CFU/g el día 28 (Figura 10D). *Listeria monocytogenes* no apareció en ninguno de los tratamientos evaluados. Se evidenciaron diferencias significativas entre los filetes salados-ahumados y el filete tomado como control ($p < 0,05$)

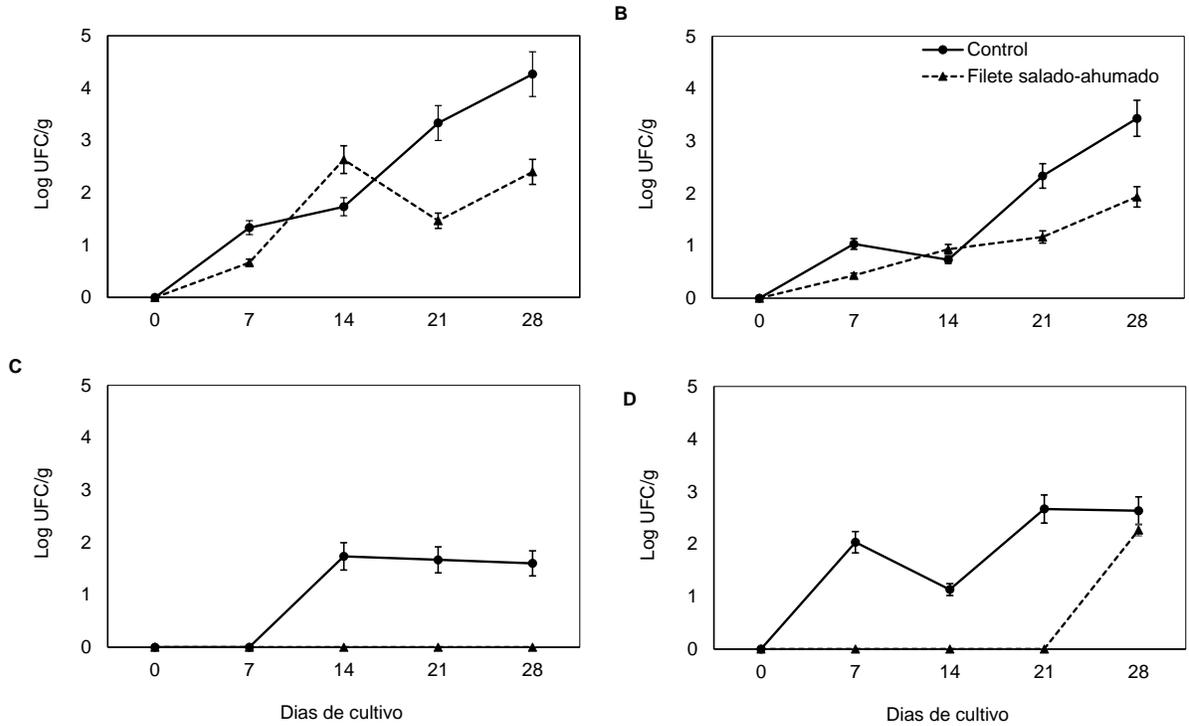


Figura 10. Cambios en (A) Coliformes totales, (B) Coliformes fecales, (C) Salmonella (D) Staphylococcus en muestras de filete de tilapia saladas a 6% con sabor a humo y filetes sin ningún proceso (control) durante 28 días de almacenamiento a 4 °C y empacadas al vacío.

5.5 Análisis sensorial: Con relación al análisis sensorial, el 80% de los participantes manifestó no ser consumidores habituales de filete de pescado, debido a 1) Que no se sienten atraídos por su sabor y 2) Culturalmente prefieren otro tipo de proteínas. Sin embargo, el 90% de los panelistas afirmaron que suelen consumir productos con sabor a humo tales como embutidos, jamones, etc.

La figura 11 muestra los resultados obtenidos para cada uno de los atributos evaluados. Con respecto al color se presentaron diferencias significativas en la puntuación entre las muestras evaluadas ($p > 0,05$) siendo las muestras saladas ahumadas asadas (SAA) las que presentaron la mayor puntuación (4,07) y el filete salado ahumado crudo el menor valor (2,6).

Con respecto al sabor igualmente se presentaron diferencias entre las dos presentaciones del producto SAA y SAV, siendo mayor en SAV (4,8) y menor en SAA (3,9). Con relación al parámetro de olor no se encontraron diferencias significativas entre las muestras analizadas ($P = 0,0540$).

En cuanto a la textura se encontró que los filetes salados ahumados asados y al vapor no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), pero los filetes salados-ahumados crudos sí ($p < 0,05$). En la aceptación general de las presentaciones evaluadas no se evidenció diferencias significativas, siendo este parámetro evaluado en general como bueno (> 4). El 85% de las personas manifestaron que si comprarían el producto.

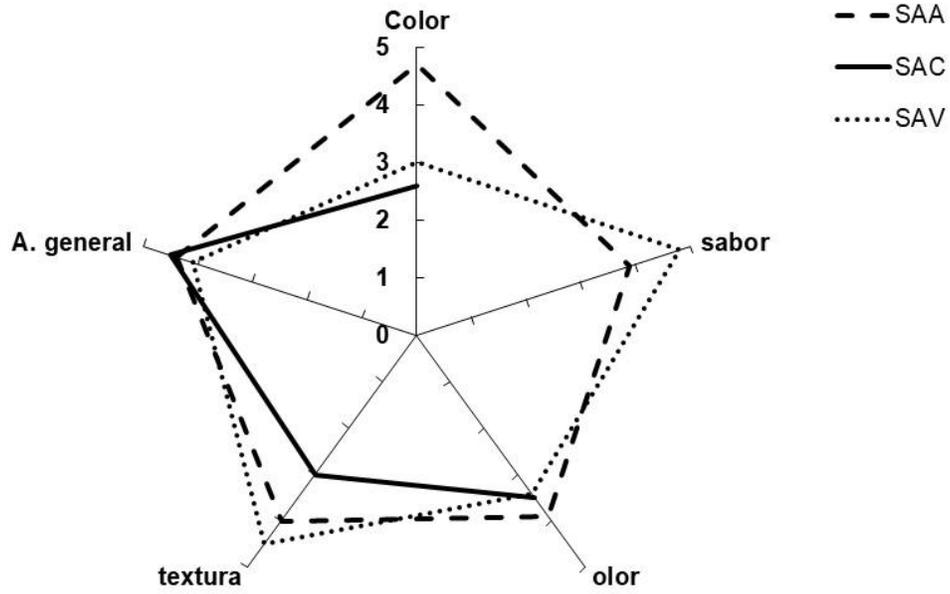


Figura 11. Evaluación sensorial del filete de tilapia salado ahumado al 6% empacado al vacío en tres presentaciones: SAA: Salado-ahumado asado, SAC: salado-ahumado crudo y SAV: salado-ahumado al vapor.

6. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los filetes de tilapia frescos fueron similares a los reportados en otros estudios (Viquez, 2002; Chaijan, 2011; Betancourt-Sambony et al., 2020; Ruiz-Alonso *et al.*, 2021), pero también difiere de otros trabajos realizados con este tipo de materia prima (Lelwela *et al.*, 2020, Souza *et al.*, 2020) y esto se debe en parte a que la composición química de la tilapia se ve profundamente afectada por factores como la temporada, las condiciones ambientales, la calidad del agua, el estado de madurez, las condiciones de alimentación y el sexo (Gutiérrez-Guzmán *et al.* 2015). En nuestro caso, la humedad y el contenido de lípidos de la materia prima fue de 79,6% y 3,13%, respectivamente. En comparación con otras especies de pescado utilizadas tradicionalmente para ahumar, como el salmón, la sardina y la trucha, el filete de tilapia tiene un contenido de grasa muy bajo y un alto contenido de humedad (Tabla 3), los cuales influyen fuertemente durante el procesamiento, ya que estos parámetros modifican la absorción de sal y la pérdida de humedad determinando las características del producto final (Rizo *et al.*, 2015).

Según Ackman, (1990), los niveles de grasa en el pescado se pueden clasificar en cuatro grupos: 1) magro (< 2 % de grasa), 2) bajo en grasa (2-4 % de grasa), 3) medio en grasa (4-8 % de grasa) y 4) alto en grasa (>8 % de grasa), para nuestro caso el filete estaría calificado como bajo en grasa. En los procesos de salado, la absorción de sal depende de muchos factores como el método de aplicación (Fuentes *et al.*, 2008), la dosis de sal (Ruiz-Alonso *et al.*, 2021), la temperatura (Sigurgisladottir *et al.*, 2000) y factores intrínsecos del pescado como

la especie (Rørå *et al.*, 1998) y contenido de grasa (Gallart-Jornet *et al.*, 2007), por esta razón la caracterización de la materia prima es esencial antes de ajustar las condiciones de salado-ahumado (Rizo *et al.*, 2016). Los parámetros analizados indican que la tilapia es una excelente materia prima para la aplicación de métodos de salado-ahumado.

Generalmente, el contenido de proteína cruda en el músculo suele estar en el rango de 11 a 24% (peso húmedo), dependiendo de la especie y variedad, el estado de nutrición y el ciclo reproductivo de los animales (Chaijan, 2011), en este estudio el porcentaje de proteína de la tilapia fue de 19% encontrándose en el rango promedio para este tipo de pescado.

El color de los alimentos es un parámetro de calidad importante que dependen de las propiedades químicas como el pigmento, así como de las propiedades físicas que afectan la dispersión de la luz (Kono *et al.*, 2017). El color de los filetes frescos tiene una coloración blanca, en este caso las coordenadas CIE L^* nos indica que el pescado es bastante luminoso con valores de 104, a^* de 13.9 y b^* de 24.2. Estos valores tienen a cambiar dependiendo del tipo de proceso agroindustrial al que sea sometido (Chan *et al.*, 2020), convirtiéndose en unos de los principales atributos que observa el consumidor.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de filetes de pescado fresco (materia prima) sometidos a procesos de salado y/o ahumado.

Tipo de pescado	Humedad (%)	pH	a_w	Grasa (%)	Proteína (%)	Autor
Tilapia	79,61 ± 1,18	6,61 ± 0,10	0,991 ± 0,000	3,32 ± 0,22	19,0 ± 0,1	Este estudio
Tilapia	80,12 ± 0,03	6,43 ± 0,09	0,995 ± 0,011	2,78 ± 0,05	-	Ruiz-Alonso <i>et al.</i> , 2021
Tilapia	70,34 ± 1,34	6,21 ± 0,32	0,985 ± 0,011	2,78 ± 0,05	-	Betancourt-Sambony <i>et al.</i> , 2020
Tilapia	74,47 ± 7,51	-	-	6,02 ± 0,05	31,1 ± 0,8	Lelwela <i>et al.</i> , 2020
Tilapia	77,1 ± 0,3	-	-	0,89 ± 0,04	21,4 ± 0,4	Bouzgarrou <i>et al.</i> , 2020
Tilapia	80,83 ± 0,58	-	-	1,18 ± 0,07	17,4 ± 0,1	Souza-Duarte <i>et al.</i> , 2021
Tilapia	80,08 ± 0,08	6,24 ± 0,04	-	1,04 ± 0,02	17,9 ± 1,0	Chaijan, 2011
Tilapia	78,66 ± 0,03	6,00 ± 0,00	-	1,50 ± 0,10	19,1 ± 0,1	Viquez, 2002
Merluza	80,30 ± 0,06	6,83 ± 0,05	0,996 ± 0,002	2,20 ± 0,20	16,3 ± 0,0	Marchetti <i>et al.</i> , 2021
Lebranche	76,24 ± 1,14			5,15 ± 1,21	16,8 ± 1,05	Jiménez-Lugo <i>et al.</i> , 2020
Sardina	73,62 ± 3,70	-	-	8,03 ± 0,14	21,1 ± 0,9	Boudhrioua <i>et al.</i> , 2009
Dorada	72,40 ± 0,70	-	-	6,20 ± 0,80	19,9 ± 1,3	Goulas & Kontominas, 2007
Dorada	69,96 ± 0,89	6,40 ± 0,08	0,987 ± 0,001	7,55 ± 1,01	20,6 ± 0,4	Vasiliadou <i>et al.</i> , 2005
Salmon	65,39 ± 1,93	6,19 ± 0,08	0,993 ± 0,003	12,4 ± 3,47	-	Rizo <i>et al.</i> , 2015
Salmon	71,38 ± 0,38	6,42 ± 0,01	0,985 ± 0,004	7,41 ± 0,41	-	Rizo <i>et al.</i> , 2015
Salmon	69,02 ± 0,07	6,60 ± 0,00	0,965 ± 0,004	12,4 ± 0,31	-	Gallart-Jornet <i>et al.</i> , 2007
Pangasius	77,32 ± 2,15	-	-	1,00 ± 0,02	19,6 ± 0,4	Sokamte <i>et al.</i> , 2020
Bacalao	83,50 ± 0,04	-	0,994 ± 0,003	0,19 ± 0,10	-	Rizo <i>et al.</i> , 2016
Trucha	54,64 ± 0,42	6,04 ± 0,05	0,951 ± 0,001	19,8 ± 0,12	-	Rizo <i>et al.</i> , 2017

Existen algunos factores que pueden afectar la calidad del producto final, como la materia prima, la especie de pescado, la calidad, la concentración de sal y la técnica de salazón (Kristín, 2010). Con relación al pH, las muestras saladas a una concentración del 14% exhibieron los mayores valores, un valor de pH más alto podría explicarse por la producción de compuestos básicos como amoníaco, trimetilamina y otras aminas biogénicas (Goulas & Kontominas, 2007). Sin embargo, en otro tipo de pescado como el salmón, la corvina y el lebranche se encontró una disminución del pH lo cual puede atribuirse a: 1) aumento de la fuerza iónica (Leroi & Joffraud, 2000; Messina *et al.*, 2021), 2) a la descomposición de glucógeno, fosfato de creatina, ATP y disolución de CO₂ en el músculo de pescado, que puede ser absorbido y causar acidificación (Erkan *et al.*, 2006) y 3) la aparición y el crecimiento de las bacterias de tipo LAB dominantes (Ekonomu *et al.*, 2020).

En este estudio la disminución con respecto al pH de la materia prima fue menor solo en la concentración de sal al 6% y en las primeras 8 horas del proceso, esta disminución del pH puede estar relacionada a la mayor intensidad de ionización de la solución celular después de ser salada (Leroi & Joffraud, 2000). Algunos autores consideran un pH entre 5,8 y 7,0 como límite aceptable para el pescado salado, mientras que los valores superiores a 7 pueden indicar algún proceso de deteriorado (El-Lahamy *et al.* 2018). Para nuestro estudio ningún tratamiento supero el pH de 7. Los métodos de ahumado tradicional tienden a reducir el pH del filete en almacenamiento (Chen *et al.*, 2012), en nuestro caso sucedió lo contrario, el pH aumento a medida que se incrementó la concentración de sal, el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables fue de 0,6381 con un $P = 0,0000$.

El contenido de humedad disminuyó progresivamente durante el tiempo de salado y al aumentar la concentración de sal, esto puede haber ocurrido debido a la presencia de cristales de sal en la superficie, que provocan una mayor deshidratación del producto (Fuentes *et al.*, 2008). La sal se difunde en el músculo e induce la pérdida de agua por efecto osmótico a nivel celular (Collignan *et al.*, 2001). Valores similares fueron encontrados para esta misma especie (Ruiz-Alonso *et al.*, 2021) y para otro tipo de especies como la trucha (Rizo *et al.*, 2017).

En cuanto a la Actividad de agua (a_w) similares resultados fueron encontrados en otros estudios (Birkeland & Bjerkeng, 2005, Birkeland *et al.*, 2007, Jittinandana *et al.*, 2002, Rizo *et al.*, 2013). El aumento del contenido de sal disminuye la superficie hidrófila y aumenta la interacción de las proteínas, lo que hace que el agua se filtre fuera del filete (Bjørnevik *et al.*, 2018), razón por la cual hay una disminución del contenido de agua con el aumento de sal. La actividad del agua (a_w) está directamente relacionada con la carga microbiológica de los productos salados y ahumados, por lo que puede considerarse un parámetro decisivo para garantizar la seguridad del pescado (Rizo *et al.*, 2015). La actividad del agua y el pH son parámetros indicativos de la estabilidad del producto final (Jiménez-Lugo *et al.*, 2020).

La concentración de sal aumentó significativamente con la dosis de sal (C), y el tiempo de procesamiento (T) hasta las 24 horas, ya que no se encontraron diferencias en la concentración de sal entre las 24 y 48 horas en los dos tipos de empaque, esto podría explicarse en que a las 24 h se habría absorbido casi toda la dosis de sal (Rizo *et al.*, 2013). La sal penetra en el músculo de la tilapia por un mecanismo de diálisis, mientras que el agua se difunde fuera del músculo por la

presión osmótica (Chaijan, 2011). Cuanto mayor es la concentración de sal utilizada, mayor es la tasa de absorción de sal. En la salazón en seco la sal cubre directamente la superficie del pescado, provocando una gran diferencia en la concentración de sal entre el interior y el exterior del músculo, generando que la sal pueda penetrar en la carne de manera efectiva (Jittinandana *et al.*, 2002). La sal, junto con otros factores como la temperatura de almacenamiento son factores importantes que controlan el crecimiento microbiológico y por lo tanto, la calidad sensorial del producto final (Hwang, 2009). El Codex Alimentarius (2013) ha establecido una concentración mínima de sal en la fase líquida de pescado ahumado alrededor del 3-3,5% ($Z^{NaCl}=0,03$). El envasado al vacío provocó una mayor absorción del cloruro de sodio y la deshidratación del filete que el envasado con aire, similares resultados fueron encontrados por otros autores en especies como el salmón (Rizo *et al.*, 2013).

Durante el proceso de salado se generan dos flujos de masa simultáneos y opuestos dentro de la matriz del pescado: 1) difusión de solutos hacia el músculo y 2) pérdida de agua desde el músculo (Barat *et al.*, 2002). Estos procesos de transferencia de masa ocurren como consecuencia de las diferencias de presión osmótica dentro de las células musculares y fuera de ellas (Gallart-Jornet *et al.*, 2007). Generalmente durante este proceso existe una reducción en el peso del filete y por lo tanto en su rendimiento final (Cardinal *et al.*, 2001). La figura 7 muestra la variación total de masa (ΔMt) que se presentó durante el proceso de salado, el proceso muestra que la pérdida de masa aumenta a medida que aumenta la concentración de sal. Similares resultados se encontraron en el salmón (Rizo *et al.*, 2015) y bacalao (Rizo *et al.*, 2016), esto puede deberse a que los filetes pierden

masa no solo por deshidratación osmótica, sino también porque las proteínas tienden a desnaturalizarse con la sal (Barat *et al.*, 2006). En la concentración de sal 14% se pudo observar un aumento de masa posiblemente por la saturación de NaCl del músculo. El contenido de grasa que representa una barrera para el transporte de agua y NaCl (Gallart-Jornet *et al.*, 2007) actúa como un componente en la transferencia de masa. Por lo tanto, los cambios de peso serían menores en aquellas especies de peces con mayor contenido de lípidos (Rizo *et al.*, 2006).

El cambio de color es un factor esencial que afecta la aceptabilidad de los alimentos, por lo que este parámetro suele utilizarse como indicador de la calidad y frescura de los alimentos (Tomac *et al.*, 2020). El valor L^* indica la luminosidad del color, b^* indica el grado de amarillo-azul, los valores L^* y b^* están relacionados principalmente con la oxidación de grasas, y a^* está relacionado con el contenido de mioglobina (Sun *et al.*, 2017). Para la coordenada de luminosidad L^* se observó que los valores son inversamente proporcionales a la concentración de sal agregada, debido probablemente a la deshidratación del filete. Choubert *et al.*, (1992) demostraron que la pérdida de agua inducida por procesos de ahumado conduce a un aumento en la concentración de carotenoides en el pescado y está relacionado con una disminución de L^* y un aumento de los valores de a^* y b^* .

El comportamiento de la coordenada a^* mostró que a medida que se incrementa la concentración de sal en los dos tipos de salado, aumenta la intensidad del rojo en las muestras a diferencia de los valores de la coordenada b^* que disminuyen en la intensidad de amarillo al aumentar la concentración de sal. La disminución de b^* durante el proceso podría indicar una decoloración muscular,

que estaría relacionada con la difusión de la sangre remanente y otros pigmentos desde el tejido hacia afuera (Corzo *et al.*, 2006).

Los microorganismos son los principales responsables del desarrollo de olores y sabores desagradables en el pescado crudo y ligeramente procesado. En el procesamiento del filete de pescado ahumado, los microorganismos aumentan después del manejo y fileteado y tienen a disminuir después del ahumado (Ekonomu *et al.*, 2022). La carga bacteriana del pescado puede estar asociada con los órganos del pescado entero (por ejemplo, el tracto digestivo y la piel) o el mal manejo del pescado convirtiéndose en un riesgo para la salud pública (Gatti-Junior *et al.*, 2014). El pescado entero sin eviscerar tiene una mayor vida útil que el pescado eviscerado y fileteado (Chytiri *et al.*, 2004), por lo que la limpieza y el fileteado tienden a reducir la vida útil del pescado, convirtiéndose en un producto que requiere mucho más cuidado a la hora de su comercialización.

El contenido de sal tiene una fuerte influencia en el sabor del producto, así como en la disminución de la actividad del agua (a_w), y en consecuencia en la vida útil. En este sentido, se ha demostrado que la vida útil de las muestras ahumadas procesadas de la misma manera y almacenadas bajo las mismas condiciones pueden variar en algunas semanas dependiendo de su concentración de sal (Karásková *et al.*, 2011). La descomposición del pescado salado ocurre debido a acciones microbianas, químicas y enzimáticas. Numerosos microorganismos pueden causar el deterioro de los productos pesqueros. Además del sabor y el

gusto, las bacterias son responsables de los cambios en la apariencia y las características físicas de los productos de pescado salado (Mohdaly *et al.*, 2021). En este estudio, se evidenció que con el contenido de sal en fase líquida de 5% Z^{NaCl} ; no se presentó crecimiento de *L. monocytogenes*, durante el período de almacenamiento; esto se puede explicar, por el efecto de la tecnología de barrera, proporcionado por la salazón, el envasado y la refrigeración, como herramienta para la inhibición del deterioro microbiológico.

Adicionalmente, la aplicación de buenas prácticas de manufacturas durante el procesamiento y una adecuada calidad higiénica de la materia prima (filetes frescos); pudo haber garantizado una protección efectiva en el producto desarrollado, debido principalmente que la materia prima fue obtenida de una planta de procesamiento certificada que cumple con todas las practicas BPA y que aparte de eso exporta filetes. Los procesos de salado-ahumado utilizados en esta investigación fueron efectivos para reducir las poblaciones microbianas del producto final debido a la combinación del efecto conservante de la sal aromatizante de humo utilizada. Resultados similares fueron encontrados en el salmón ahumado en frío empacadas al vacío en la cual *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*) no fueron detectados durante el tiempo de almacenamiento (Dondero *et al.*, 2004).

Las concentraciones iniciales de NBV-T y TBA son indicativos de la buena calidad de la materia prima utilizada en este proceso. Debido al alto grado de ácidos grasos insaturados presentes en los lípidos, la rancidez como consecuencia de la degradación de los lípidos es crítica en la determinación de la vida útil de las especies de pescados durante el almacenamiento y procesamiento. El índice TBA

es una medida del contenido de malonadehído (MDA), uno de los productos de degradación de los hidroperóxidos lipídicos formados durante el proceso de oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados (Goulas & Kontominas, 2007) y que se ha evaluado en diferentes tipos de peces en almacenamiento (Tabla 4). Se han reportado diferentes valores para los límites de aceptabilidad con relación a este índice. Según Connell (1990), los valores de 1 a 2 mg de MDA/kg de carne de pescado suelen considerarse como el límite más allá del cual el pescado normalmente desarrollará un olor desagradable. Ruiz-Capillas & Moral (2001) establecieron que el valor mínimo del índice TBA detectable por los panelistas es de 1,44 mg MDA/kg. Sin embargo, Nunes *et al.*, (1992) observaron que los niveles de 5 a 8 mg de MDA/kg se consideraban generalmente como el límite superior de aceptabilidad para el pescado almacenado en hielo, mientras que Cadun *et al.*, (2005) establecieron que el valor de TBA debe ser inferior a 3 mg MDA/kg en productos catalogados de alta calidad y no debe exceder los 5 mg MDA/kg en productos catalogados como de buena calidad, mientras que los límites de consumo son de 7 a 8 mg MDA/kg. Se sabe que la salazón promueve la oxidación a través del desplazamiento del hierro de la molécula de hemoglobina, sin embargo, la salazón en seco tiene un efecto mayor en comparación con la salazón en salmuera, en la que la pérdida de proteínas al medio de salazón podría causar una oxidación de lípidos más baja (Chaijan, 2011).

La estabilidad de los lípidos de pescado durante el ahumado depende del contenido de sal de las muestras, el grado de disminución de a_w y el tipo de ahumado (Cakli *et al.*, 2006). En este estudio, los resultados se mantuvieron muy por debajo de los límites superiores de aceptabilidad durante todo el período

estudiado. Los valores de TBA de las muestras tomadas como control fueron significativamente ($p < 0,05$) más altos que los valores correspondientes de las muestras saladas-ahumadas. Este hecho puede atribuirse a la actividad antioxidante de los componentes de la sal humada utilizada. En algunos estudios se encontró una tendencia hacia un aumento en los valores de TBA hasta cierto punto durante el período de almacenamiento; seguido de una disminución en estos valores (Goulas & Kontominas *et al.*, 2005), en nuestro estudio este comportamiento se dio en las muestras tomadas como control en los días 21 a 28, esto puede deberse a la interacción entre el malondialdehído (MDA), que es un producto final de la oxidación de lípidos y proteínas (Fernández *et al.*, 1997).

Este estudio (figura 9) los valores de TVB-N, de la tilapia salada ahumada aumentaron a medida que aumentó la duración del almacenamiento a 4-5°C. Resultados similares fueron encontrados en otros estudios con la misma especie (Ayeloja *et al.*, 2020; Bouzgarrou *et al.*, 2020) y en otras especies de pescado (Gurel-Inanli *et al.*, 2010; Ozogul & Bakicki, 2011) debido principalmente a la degradación de la proteína por efecto de los microorganismos (Daramola *et al.*, 2007). La determinación de bases volátiles totales (NBV-T) es uno de los métodos más utilizados para evaluar la calidad de los productos pesqueros. En el estudio realizado por El-Lahamy *et al.* (2018), se sugirió que los valores límites de NBV-T = mg/100 g) podrían ser muy buenos hasta los 25, buenos hasta los 30, comercializables hasta los 35 y deteriorados en valores más de los 35. El pescado fresco podría dividirse en tres categorías dependiendo de TVB-N: fresca de primer grado (<13 mg/100 g), fresca de segundo grado (<20 mg/100 g) y producto deteriorado (>20 mg/100 g) (Zhang *et al.*, 2010). Para nuestro caso los valores para

el filete salado-ahumado no sobrepasan los valores de 18,5 mg/100g considerándolo muy bueno, y para el caso de los filetes control de 25,9 mg /100g a los 28 días catalogándolo como producto deteriorado.

Tabla 4. Determinación del contenido en Nitrógeno Básico Volátil Total (NBVT) y Índice TBA en muestras de pescado sometidos a procesos de salados y/o ahumados mantenidos en refrigeración (4 - 5 °C).

Tipo de pescado	Tipo de proceso	Tiempo de almacenamiento (días)	NBV-T (mg N/100 g)	TBA (mg MDA/kg)	Referencia
Tilapia	sal ahumada	28	18,76 ± 0,54	0,39 ± 0,01	Este estudio
Tilapia	ahumado con madera	21	-	0,048	Lelwela <i>et al.</i> , 2020
Tilapia	sal + humo liquido	60	21,19 ± 3	0,15	Bouzgarrou <i>et al.</i> , 2020
Tilapia	ahumado	56	26,62 ± 0,01	-	Ayeloja <i>et al.</i> , 2020
Salmon	sal + humo liquido	40	21,48 ± 1,59	0,71 ± 0,07	Rizo <i>et al.</i> , 2015b
Trucha	sal + humo liquido	42	23	1,2	Rizo <i>et al.</i> , 2017
Caballa	Ahumado en caliente	30	20,88 ± 0,48	0,75 ± 0,15	Goulas & Kontominas, 2005
Dorada	sal + empaque aire	39	49,9 ± 0,6	0,99 ± 0,10	Goulas & Kontominas, 2007
Anguila	ahumado industrial	35	31, 5	4	El-Obeid <i>et al.</i> , 2018
Corvina	Salmuera + ahumado liquido	35	25	0,8	Messina <i>et al.</i> , 2021
Lubina	salmuera	28	-	2,3 ± 0,1	Martínez <i>et al.</i> , 2018
Lubina	salmuera + ahumado liquido	28	-	2,4 ± 0,1	Martínez <i>et al.</i> , 2018

En las pruebas hedónicas se le pide al consumidor que valore el grado de satisfacción general que le produce un producto utilizando una escala que le proporciona el analista. Estas pruebas son una herramienta muy efectiva en el diseño de productos y cada vez se utilizan con mayor frecuencia en las empresas debido a que son los consumidores quienes, en última instancia, convierten un producto en éxito o fracaso. Los resultados de la evaluación sensorial estaban estrictamente relacionados con los parámetros fisicoquímicos y bioquímicos considerados para determinar la calidad y la frescura del pescado durante los ensayos de caducidad y ofrecen importantes conclusiones sobre la percepción del consumidor.

La innovación desempeña el papel principal en el aumento de la competitividad, la sostenibilidad en la cadena de producción a base de pescado, prestando atención al desarrollo de productos con valor agregado. Esta estrategia podría satisfacer las preferencias de los consumidores en el sector alimentario, ya que hoy en día prefieren productos listos para el consumo con un alto valor nutricional y cuya disponibilidad no determina un efecto negativo sobre el medio ambiente (Bonanomi *et al.*, 2017).

En cuanto a la pregunta de si el consumidor compraría o no el producto, la encuesta indica que hubo suficientes respuestas afirmativas para las muestras (85%) de tal forma que podrían considerarse estadísticamente significativas. Así mismo se debe considerar que el número de consumidores que evaluaron la aceptabilidad de cada muestra (30) no fue suficiente para considerar los resultados

obtenidos como representativos de la respuesta poblacional a escala comercial (Pedrero & Pangborn, 1989). Sería necesaria una encuesta con un gran número de consumidores para validar estos resultados a nivel de mercado, lo cual sería el siguiente paso para llevar este producto a la siguiente fase.

El objetivo de obtener un producto de filete de tilapia (*Oreochromis* sp.) a partir de la implementación de la técnica de salado-ahumado, no es sólo obtener un producto estable (baja humedad y alta contenido de sal) capaz de almacenarse en refrigeración por días, sino también el de promover cambios sensoriales importantes que permanezcan durante el proceso de cocción y que puedan hacer que este producto sea muy valorado por los consumidores. Así mismo con este trabajo estaríamos dando el primer paso para el desarrollo agroindustrial del sector acuícola en la región y/o país que tanto lo requiere.

7. CONCLUSIONES

- ✓ La caracterización inicial del filete de tilapia mostró un bajo contenido de grasa lo que indica que es una excelente materia prima para la aplicación de métodos de salado-ahumado.
- ✓ De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo observar que la cantidad de sal dosificada afectó significativamente el pH, la actividad de agua (a_w), humedad, contenido de sal y color del filete de tilapia, mientras que el tiempo de procesamiento fue significativo solo para la actividad de agua (a_w), humedad y contenido de sal.
- ✓ El envasado al vacío provocó una mayor absorción del cloruro de sodio y la deshidratación del filete que el envasado con aire.
- ✓ El tratamiento que presentó los mejores resultados con relación al análisis fisicoquímico fue el salado al 6% empacados al vacío y por 24 horas.
- ✓ En la evaluación de la calidad microbiológica durante el almacenamiento de la tilapia salada-ahumada, la vida útil no estuvo limitada, ya que ningún microorganismo superó los límites de aceptabilidad al día 28 de almacenamiento.

- ✓ Se encontró una relación exponencial entre las propiedades bioquímicas y el tiempo de almacenamiento del filete de tilapia sin que estas variables superaran los valores de referencia que indican la aceptabilidad del producto de acuerdo con la legislación actual.

- ✓ El análisis sensorial mostró diferencias significativas entre los productos evaluados para los parámetros de sabor, color y textura, mientras que el parámetro aceptación general fue similar en todas las muestras evaluadas con un puntaje mayor a 4.

- ✓ El uso de métodos de salado-ahumado teniendo en cuenta las características de la materia prima permite obtener un producto de tilapia de excelentes condiciones sin afectar sus parámetros fisicoquímicos y su aceptación por parte del consumidor.

- ✓ El trabajo efectuado en esta tesis doctoral se ha centrado en el desarrollo y optimización de un proceso de salado-ahumado simultáneo en el filete de tilapia, permitiendo obtener un producto ahumado estable microbiológicamente durante el almacenamiento, minimizando además el volumen de residuos y reduciendo el tiempo de procesamiento.

9. PRODUCTOS GENERADOS Y BENEFICIARIOS

9.1 Generación de nuevo conocimiento y/o nuevos desarrollos tecnológicos

Resultado	Indicador	Beneficiario
Artículo de investigación: Physico-chemical quality of fish products marketed in Colombia. Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia, 39(2), e223927.	# de artículos publicados	Comunidad académica y productiva en general
Artículo de revisión: An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities and challenges. Aquaculture, 561, 738583	# de artículos publicados	Comunidad académica y productiva en general
Microdiseño asignatura: Procesos agroindustriales en la acuicultura. Código del curso: 174784-01	# de estudiantes de ingeniería agrícola que tomaron la electiva	Comunidad académica y productiva en general

9.2 Fortalecimiento del capital humano

Resultado	Indicador	Beneficiario
Tesis de pregrado: Caracterización de productos derivados de pescado presentes en supermercados y distribuidoras especializadas en la ciudad de Neiva	# de tesis presentadas y aceptadas	Comunidad académica y productiva en general
Tesis de pregrado: Desarrollo de un producto innovador de filete de tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.) salado con sabor a humo mediante salado al aire y al vacío.	# de tesis presentadas y aceptadas	Comunidad académica y productiva en general
Tesis de pregrado: Estudio del proceso de salado de Tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.), control cinético	# de tesis presentadas y aceptadas	Comunidad académica y productiva en general

Tesis de doctorado: Desarrollo de un producto de filete de tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.) mediante la aplicación de métodos de salado-ahumado	# de tesis presentadas	Comunidad académica y productiva en general
--	------------------------	---

9.3 Apropiación social del conocimiento

Resultado	Indicador	Beneficiario
Ponencia Titulada: Desarrollo de un producto de filete de tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.) mediante la aplicación de métodos de salado-ahumado, en Seminario Público "Investigaciones sobre Ciencia y Tecnología en el sector Agrario". Universidad Surcolombiana.	# ponencias realizadas	Comunidad académica y productiva en general
Ponencia magistral: Desarrollo de la acuicultura en Colombia: estado actual, oportunidades y retos, en IX Congreso Internacional de Acuicultura, Neiva-Huila	# ponencias realizadas	Comunidad académica y productiva en general
Ponencia magistral: Procesos agroindustriales en la acuicultura, en Conmemoración de los 50 años del programa de Ingeniería Pesquera, Santa Marta-Colombia	# ponencias realizadas	Comunidad académica y productiva en general

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aalto-Araneda, M., Lundén, J., Markkula, A., Hakola, S. & Korkeala, H. (2019). Processing plant and machinery sanitation and hygiene practices associate with *Listeria monocytogenes* occurrence in ready-to-eat fish products. *Food Microbiology*, 82, 455-464. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.03.017>.
- Aberoumand, A. & Baesi, F. (2020). Effects of vacuum packaging in freezer on oxidative spoilage indexes of fish *Lethrinus atkinsoni*. *Food Science Nutrition*, 8, 4145-4150. Doi:10.1002/fsn3.1704
- Ackman, R.G. (1990). Seafood lipids and fatty acids *Food Reviews International*, volume 6 pp. 617-64. <https://doi.org/10.1080/87559129009540896>.
- Albarracín, W., Sánchez, I., Grau, R. & Barat, J.M. (2011). Salt in food processing; usage and reduction: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 1329-1336. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02492.x
- Almli, V. & Hersleth, M. (2013). Salt replacement and injection salting in smoked salmon evaluated from descriptive and hedonic sensory perspectives. *Aquaculture international*, 21, 1091-1108. Doi: 10.1007/s10499-012-9615-4.
- Amorim-Gomes, M.D., Seiko-Kato, L., Azevedo de Carvalho, A.P., Castro-Cardoso, A. & Conte-Junior, C.A. (2021). Sodium replacement on fish meat products – A systematic review of microbiological, physicochemical, and sensory effects. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 639-657. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.028>.

APHA (2001) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, Washington DC.

Arvanitoyannis, I. & Kotsanopoulos, K. (2011). Smoking of Fish and Seafood: History, Methods and Effects on Physical, Nutritional and Microbiological Properties. *Food Bioprocess Technology*, 5, 831-853. Doi: 10.1007/s11947-011-0690-8.

Association of Official Analytical Chemists AOAC (2019). Official Methods of Analysis: Changes in Official Methods of Analysis Made at the Annual Meeting. Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C.

Ayeloja, A.A., Jimoh, W. A., Adetayo, M.B. & Abdullahi, A. (2020). Effect of storage time on the quality of smoked *Oreochromis niloticus*. *Heliyon*, 6 (1), e03284. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03284>

Barat, J. M., Rodríguez-Barona, S., Andrés, A. & Fito, P. (2002). Influence of increasing brine concentration in the cod salting process *Journal of Food Science*, 67 (5),1922-1925.

Basti, A.A., Misaghi, A., Zahraei, T. & Abolfazl-Kamkar, Salehi. (2006). Bacterial pathogens in fresh, smoked and salted Iranian fish. *Food Control* 17 (2006) 183-188. doi:10.1016/j.foodcont.2004.10.001.

Bencze-Røra, A.M., Regost, C. & Lampe, J. (2003). Liquid holding capacity, texture and fatty acid profile of smoked fillets of Atlantic salmon fed diets containing fish oil or soybean oil. *Food Research International*, 36, 231-239.

- Betancourt-Sambony, F., Rivera-Valencia, F. J. & Girón-Hernández, J. (2020). Control cinético del salado, con sabor a humo, de filetes de tilapia (*Oreochromis* sp.). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 19(2), 27-40. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1425>.
- Bhowmik, S., Zakaria, M.A., Sarwar, M.S., Shofi, S.B., Akter S.F., Islam, M. & Abdullah-AMamun, M. (2022). Development and nutritional index of ready to use fish products (RUFPs) from small fish species: Future superfoods for consumers. *Applied Food Research*, 2 (1), 100111. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100111>
- Birkeland, S. & Bjerkeng, B. (2005). The quality of cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 963-976. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.01030.x
- Birkeland, S., Akse, L., Joensen, S., Tobiassen, T. & Skara, T. (2007). Injection-Salting of pre rigor Fillets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Sensory and Food Quality*, 72 (1), 6-29-35. Doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00211.x
- Birkeland, S. & Skåra, T. (2008). Cold Smoking of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fillets with Smoke Condensate-an Alternative Processing Technology for the Production of Smoked Salmon. *Sensory and Food Quality*, 73(6), 26-32. Doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00850.x.
- Bjørnevik, M., Cardinalc M., Vallet, J. & Nicolaisen, G. (2018). Effect of salting and cold-smoking procedures on Atlantic salmon originating from pre-or post-rigor filleted raw material. Based on the measurement of physiochemical

characteristics. *Food Science and Technology*, 91, 431-438.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.047>

Bonanomi, S., Colombelli, A. Malvarosa, L., Cozzolino, M. & Sala, A. (2017). Towards the introduction of sustainable fishery products. The bid of a major Italian retailer. *Sustainability*, 9, 438-458.

Boudhrioua, N., Djendoubi, N., Bellagha, S. & Kechaou, N. (2009). Study of moisture and salt transfers during salting of sardine fillets. *Journal of Food Engineering*, 94, 83-89.

Bouzgarrou, O., Baron, R. & Sadok, S. (2020). Determination of the quality of liquid smoked tilapia fillets based on physicochemical analysis. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 978-991.
<https://doi.org/10.1007/s11694-019-00347-6>

Brás, A. & Costa, R. (2010). Influence of brine salting prior to pickle salting in the manufacturing of various salted-dried fish species. *Journal of Food Engineering*, 100, 490-495. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.04.036.

Cadun, A., Cakli, S. & Kislá, D. (2005) A study of marination of deep-water pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) and its shelf life. *Food Chemical*, 90, 53-59.

Cakli, S., Kilinc, B., Dincer, T. & Tolasa, S. (2006). Comparison of the shelf lifes of map and vacuum packaged hot smoked rainbow trout (*Onchoryncus mykiss*). *European Food Research and Technology*, 224, 19-26. DOI 10.1007/s00217-006-0283-3

- Cardinal, M., Cornet, J., Serot, T. & Baron, R. (2006). Effects of the smoking process on odour characteristics of smoked herring (*Clupea harengus*) and relationships with phenolic compound content. *Food Chemistry*, 96,137-146. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.02.040.
- Carrera-Quintana, S., Gentile, P. & Girón-Hernández, J. (2022). An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities and challenges. *Aquaculture*, 561, 738586. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738583>
- Carrera, S., Gutiérrez-Guzmán, N. & Girón-Hernández, J. (2022). Physico-chemical quality of fish products marketed in Colombia. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 39(2): e223927. DOI: [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n2.05](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n2.05)
- Chaijan, M. (2011). Physicochemical changes of tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle during salting. *Food Chemistry*, 129, 1201-1210. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.05.11
- Chaillou, S., Chaulot-Talmon, A., Caekebeke, H., Cardinal, M., Christieans, S., Denis, K., Desmonts, M.H., Dousset, X., Feurer, C., Hamon, E., Joffraud, J.J., La Carbona, S., Leroi, F., Leroy, S., Lorre, S., Mace, S., Pilet, M., Prevost, H., Rivollier, M., Roux, D., Talon, R., Zagorec, M. & Champomier-Verges, M.C. (2014). Origin and ecological selection of core and food-specific bacterial communities associated with meat and seafood spoilage. *International Society for Microbial Ecology All rights reserved*, 14, 1751-7362.

- Chan, S. S., Roth, B., Skare, M., Hernar, M., Jessen, F., Løvdal, T., Nordeng-Jakobsena, A. & Lerfall, J. (2022). Effect of chilling technologies on water holding properties and other quality parameters throughout the whole value chain: From whole fish to coldsmoked fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 526, 735381. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735381>
- Chen, S.J., Li, L.H., Xue, C.H., Yang, X.Q., Wu, Y.Y., Hao, S.X., Cen, J.W. & Qi, B. (2012). Effects of storage conditions on the shelf life of liquid-smoked tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. *Advanced Materials Research*, 393-395, 717-723. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.393-395.717
- Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I.N. & Kontominas, M.G. (2004). Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. *Food Microbiology*, 21, 157-165. doi:10.1016/S0740-0020(03)00059-5
- Choubert, G., Blanc, J.M. & Courvalin, C. (1992). Muscle carotenoid content and colour of farmed rainbow trout fed astaxanthin or canthaxanthin as affected by cooking and smoke-curing procedures. *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 277-284
- Choulitoudi, E., Ganiari, S., Tsironi, T., Ntzimani, A., Tsimogiannis, D., Taoukis, P. & Oreopoulou V. (2017). Edible coating enriched with rosemary extracts to enhance oxidative and microbial stability of smoked eel fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 2, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.009>

- Chukwu, O. & Shaba, I.M. (2009). Effects of drying methods on proximate compositions of catfish (*Clarias gariepinus*). *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(1):114-16
- Codex Alimentarius. (2013). Standard for smoked fish, smoke-flavoured fish, and smoke-dried fish - (311–2013). Rome.
- Connell, J.J. (1990). Methods of assessing and selecting for quality Control of fish quality (3rd ed.), Fishing News Books, Oxford, pp 122-150
- Corzo, O., Rodríguez, J. & Chirinos, J.M., (2003). Modelling salting and smoking of catfish (*Bagre marinus*). *Revista Científica*, 13, 4, 334-340.
- Corzo, O., Bracho, N. & Marval, J. (2006). Effects of brine concentration and temperature on color of vacuum pulse osmotically dehydrated sardine sheets. *Food Science and Technology*, 39, 665-670. doi: 10.1016/j.lwt.2005.04.011.
- Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F. & Poligné, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, 49(3), 153-162.
- Cunha, S. C., Siminel, D., Guardia, M. D., López de Alda, M. López-García, E., Muñoz, I. Ferreira, R., Eljarrat, E. & Fernández, J. (2021). Effect of processing smoked salmon on contaminant contents. *Food and Chemical Toxicology*, 153, 112276. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112276>.
- Daramola, J.A., Fasakin, E.A. & Adeparusi, E.O. (2007). Changes in physicochemical and sensory characteristics of smoke-dried fish species stored at ambient temperature. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 7, 1-15. DOI: 10.18697/ajfand.17.1980

- Da Silva-Santos, F.M., Martins da Silva, A.I., Brandao-Vieira, C., De Araujo, H., Coelho Da Silva, A.L., Carneiro-da-Cunha, M. & Silva de Souza, R. (2017). Use of chitosan coating in increasing the shelf life of liquid smoked Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillet, *Journal of Food Science and Technology*, 54(5):1304–1311 DOI 10.1007/s13197-017-2570-3
- Dawson, R. (1995). The role of the Codex Alimentarius Commission in setting food standards and the SPS agreement implementation, *Food Control*, 6, 261-265.
- Dondero, M., Cisternas, F., Carvajal, L. & Simpson, R. (2004). Changes in quality of vacuum-packed cold-smoked salmon (*Salmo salar*) as a function of storage temperature. *Food Chemistry*, 87, 543-550. doi:10.1016/j.foodchem.2004.01.005
- Ekonomou, S.I., Parlapani, F.F., Kyritsi, M., Hadjichristodoulou, C. & Boziaris, S.I. (2022). Preservation status and microbial communities of vacuum-packed hot smoked rainbow trout fillets, *Food microbiology*, 103, 103959.
- El-Lahamy, A.A., Khalil, K.I., El-Sherif, S.A. & Mahmud, A. (2018) Effect of smoking methods (hot and cold) and refrigeration storage on the chemical composition of Catfish Fillets (*Clarias gariepinus*). *Journal of Food Processing & Technology*, 9 (10), 759. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.125>
- El-Obeid, T., Yehia, Y., Sakkas, S., Lambrianidi, L., Tsiraki, M. & Savvaidis, I. (2018). Shelf-life of smoked eel fillets treated with chitosan or thyme oil, *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 578-583.

- Erkan, N., Ozden, O., Ucok-Alakavuk, D., Yildirim, Y. & Inugur, M. (2006). Spoilage and shelf life of sardines (*Sardina pilchardus*) packed in modified atmosphere, *European Food Research and Technology*, 222: 667-673, DOI 10.1007/s00217-005-0194-8.
- Esaiassen, M., Østli, J., Elvevoll, E.O., Joensen, S., Prytz, K. & Richardsen, R. (2004). Brining of cod fillets: influence on sensory properties and consumers liking *Food Quality and Preference*, 15 (5), 421-428.
- FAO, 2020. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía. Roma, 256 pp.
- Farquhar, W.B., Edwards, D.G. Jurkovitz, C.T. & Weintraub, W.S. (2015). Dietary Sodium and Health More Than Just Blood Pressure. *Journal of the American College of Cardiology*, 65 (10), 1043-1049. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2014.12.039>.
- Fernández, J., Perez-Alvarez, J.A. & Fernandez-Lopez, J.A. (1997). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat *Food Chemistry*, 59 (3) (1997), pp. 345-353
- Freitas, J., Vaz-Pires, P. & Camara, J. (2021). Quality Index Method for fish quality control: Understanding the applications, the appointed limits, and the upcoming trends. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 333-345. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.011>.

- Fuentes, A., Barat, J. M., Fernández-Segovia, I. & Serra, J. A. (2008). Study of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) salting process: Kinetic and thermodynamic control. *Food Control* 19, 757-763. doi: 10.1016/j.foodcont.2007.07.014.
- Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Barat, J.M. & Serrat, J.M. (2010). Physicochemical characterization of some smoked and marinated fish products. *Journal of Food Processing and Preservation* 34:83-103. doi: 10.1111/j.1745-4549.2008.00350.x
- Gallart-Jornet, L., Rodríguez-Barona, S., Barat, J.M., Andres, A. & Fito, P. (2003). Elaboración y comercialización del bacalao salado. *Alimentaria*, 348:87-94.
- Gallart-Jornet, L., Barat, J. M., Rustad, T., Erikson, U., Escriche, I. & Fito, P. (2007). A comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Engineering*, 79, 261-270. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.053
- Gatti-Junior, P., Assunção, W., Baldin, J. & Amaral, L. A. (2014). Microbiological quality of whole and filleted shelf-tilapia. *Aquaculture*, 433, 196-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.06.015>.
- Ghaly, A.E., Dave, D., Budge, S. & Brooks, M.S. (2010). Fish Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: Review. *American Journal of Applied Sciences* 7 (7): 859-877.
- Gómez-Estaca, J., Giménez, B., Gómez-Guillén, C. & Montero, P. (2010). Influence of frozen storage on aptitude of sardine and dolphinfish for cold-smoking

- process. *Food Science and Technology*, 43,1246-1252. doi: 10.1016/j.lwt.2010.04.001.
- Goulas, A. E. & Kontominas, G. (2005). Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*, 93, 511-520. doi:10.1016/j.foodchem.2004.09.040
- Goulas, A. E. & Kontominas, G. (2007). Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry*,100, 287-296. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.09.045
- Gram, L. & Dalgaard, P. (2002). Fish spoilage bacteria – problems and solutions. *Environmental biotechnology*, 13, 262–266. DOI 10.1016/S0958-1669(02)00309-9.
- Guillén, M. D., Errecalde, M. C., Salmerón, J. & Casas, C. (2006). Headspace volatile components of smoked swordfish (*Xiphias gladius*) and cod (*Gadus morhua*) detected by means of solid phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Food Chemistry*, 94, 151-156.
- Guizani, N., Rahman, M.S., Al-Ruzeiqi, M., Al-Sabahi, J. & Sureshchandran, S. (2014). Effects of brine concentration on lipid oxidation and fatty acids profile of hot smoked tuna (*Thunnus albacares*) stored at refrigerated temperature. *Journal of Food Science and Technology*, 51(3):577–582. DOI 10.1007/s13197-011-0528-4.

- Gurel-Inanli, A., Coban, O.E. & Dartay, M. (2010). The chemical and sensorial changes in rainbow trout caviar salted in different ratios during storage. *Food Science and Technology*, 6, 879-883. DOI 10.1007/s12562-010-0279-6
- Gutiérrez-Guzmán, N., Fernández-Segovia, I., Fuentes-López, A., Ruiz-Rico, M. & Baviera, J.M. 2005. Physico-chemical and microbiological changes in commercial tilapia (*Oreochromis niloticus*) during cold storage. *Revista de la facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 22(2), 140-147
- Hultmann, L., Bencze-Røra, A. M., Steinslandc, I., Skarad, T. & Rustad, T. (2004). Proteolytic activity and properties of proteins in smoked salmon (*Salmo salar*) effects of smoking temperature. *Food Chemistry* 85, 377-387. doi: 10.1016/j.foodchem.2003.07.014
- Hwang, C. A. (2007). Effect of salt, smoke compound, and storage temperature on the growth of *Listeria monocytogenes* in simulated smoked salmon. *Journal of Food Protection*, 70(10), 2321-2328. doi: 10.4315/0362-028x-70.10.2321.
- Jiménez-Lugo, R., Agustinelli, S.P., Yeannes, M.I. & Czerner, M. (2020). Cold smoking of Lebranche mullet (*Mugil liza*): Physicochemical, sensory, and microbiological evaluation. *Food Science and Technology International*, 27(4), 289-300. <https://doi.org/10.1177/1082013220951674>.
- ICMSF (1986). *Microorganisms in Foods 2. Sampling for Microbiological Analysis: Principles and Specific Applications*, 2nd ed. University of Toronto Press, Toronto

- Karásková, P., Fuentes, A., Fernandez-Segovia, I., Alcañiz, M., Masot, R. & Barat, J.M. (2011). Development of a low-cost non-destructive system for measuring moisture and salt content in smoked fish products. *Procedia Food Science*, 1, 1195-1201. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.178>.
- Kono, S., Kon, M., Araki, T. & Sagara, Y., (2017). Effects of relationships among freezing rate, ice crystal size and color on surface color of frozen salmon fillet. *Journal of Food Engineering*, 214, 158-165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.023>
- Kontominas, M.G., Badeka, A.V., Kosma, I.S. & Nathanailides, C.I. (2021). Recent Developments in Seafood Packaging Technologies. *Food*, 10, 940. <https://doi.org/10.3390/foods10050940>
- Kristín, A.P. (2010) The influence of salting procedures, on the characteristics of heavy salted cod Ph.D. Thesis. Department of Food Technology, Engineering, and Nutrition, Faculty of Engineering, LTH, Lund University, LTH.
- Kwasek, K., Thorne-Lyman, A.L. & Phillips, M. (2020). Can human nutrition be improved through better fish feeding practices? a review paper, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, DOI: 10.1080/10408398.2019.1708698
- Landines-Parra, M.Á. & Zambrano-Navarrete, J.A. (2009). La oxidación lipídica en la cadena de producción acuícola. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1, 13-22.

- Ledesma, E., Rendueles, M. & Díaz, M. (2017). Smoked Food. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 201–243. doi:10.1016/b978-0-444-63666-9.00008-
- Lelwela, G.K., Wijesinghe, S.K.D. Himali S.M.C. & Abeyrathne, E.D. (2020). Effect of Selected Wood Smoke on Physicochemical and Sensory Qualities of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30:1, 85-94. <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1856260>.
- Lerfall, J., Akse, L., Østerlie, M. & Birkeland, S. (2011). Salting method affects the retention of carotenoids in the fillet surface of cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2218-2223.
- Leroi, F. & Joffraud, J.J. (2000). Salt and Smoke Simultaneously Affect Chemical and Sensory Quality of Cold-Smoked Salmon during 5°C Storage Predicted Using Factorial Design. *Journal of Food Protection*, 63(9),1222-1227.
- Li, R., Sun, Z., Zhao, Y., Li, L., Yang, X., Cen, J., Chen, S., Li, C. & Wang, Y. (2021). Application of UHPLC-Q-TOF-MS/MS metabolomics approach to investigate the taste and nutrition changes in tilapia fillets treated with different thermal processing methods. *Food Chemistry*, 356, 129737. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129737>.
- Løvdal, T. (2015). The microbiology of cold smoked salmon. *Food Control*, 54, 360e373. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.025>.

- Losada, V., Barros-Velásquez, J., Aubourg, S. (2007). Rancidity development in frozen pelagic fish: Influence of slurry ice as preliminary chilling treatment. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 40, 991-999. doi:10.1016/j.lwt.2006.05.011.
- Maqsood, S., Benjakulb, S. & Kamal-Eldin, A. (2012). Haemoglobin mediated Lipid oxidation in the fish muscle: A review. *Trends in Food Science & Technology* 28, 33-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.009>.
- Marchetti, M. D., Gomez, P. L., Yeannes, M. I. & Garcia-Loredo, A. B., (2021). Effect of salting procedures on quality of hake (*Merluccius hubbsi*) fillets. *Heliyon*, 7, e07703. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07703>.
- Martínez, O., Salmerón, J., Guillen, M.D. & Casas, C. (2007). Textural and physicochemical changes in salmon (*Salmo salar*) treated with commercial liquid smoke flavourings. *Food Chemistry*, 100, 498-503. doi:10.1016/j.foodchem.2005.09.071.
- Martínez, O., Salmerón, J., Epelde, L.V., Vicente, M.S. & De Vega, C. (2018). Quality enhancement of smoked sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets by adding resveratrol and coating with chitosan and alginate edible films, *Food Control*, 85, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.10.003>.
- Martins, S., Jongen, W. & Boekel, M., (2001). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11, 364-373.

- Matos, E., Dias, J., Dinis, M.T., Silva, T. (2016). Sustainability vs. Quality in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) farming: are trade-offs inevitable?. *Reviews in Aquaculture*, 0, 1-22.
- Messina, C.M., Arena, R., Ficano, G., Randazzo, M., Morghese, M., La Barbera, L., Sadok, S. & Santulli, A. (2021). Effect of Cold Smoking and Natural Antioxidants on Quality Traits, Safety and Shelf Life of Farmed Meagre (*Argyrosomus regius*) Fillets, as a Strategy to Diversify Aquaculture Products. *Foods* 2021, 10, 2522. <https://doi.org/10.3390/foods10112522>.
- Mohdaly, A., Mahmoud, A.A., Ramadan, M. & Roby, M.R. (2021). Biochemical and microbiological characteristics of some Mediterranean salted fish products. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* (2021) 32:343–355 <https://doi.org/10.1007/s12210-021-00984-4>
- Moody, M.W., Flick, G.J., Martin, R.M. & Correa, A.I. (2000). Smoked, cured and dried fish R.M. Martin, E.P. Carter, G.J. Flick, L.M. Davis (Eds.), *Marine and freshwater products handbook*, Technomic Publishing Co., Inc, Lancaster Basel (2000), pp. 381-402.
- Muñoz, I., Guardia, M.D., Arnau, J., Dalgaard, P., Bover, S., Fernandes, J., Monteiro, C., Cunha, S., Gonçalves, A., Nunes, M.L. & Oliveira, H. (2020). Effect of the sodium reduction and smoking system on quality and safety of smoked salmon (*Salmo salar*). *Food and Chemical Toxicology*, 143,111554. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111554>

- Murray, J. M., Delahunty, C. M. & Baxter, I. A. (2001). Descriptive sensory analysis: past, present, and future. *Food Research International*, 34,461-471.
- Ndrianaivo, E., Cornet, J., Cardinal, M., Razanamparany, L. & Berge, J.P. (2016). Stockage des poissons fumés et ou séchés: cas de *Oreochromis niloticus* "Fiha saly" malgache. *Afrique Science*, 12(2), 254 – 265.
- Nie, X., Zhang, R., Cheng, L., Zhu, W., Li, S. & Chen, X. (2022). Mechanisms underlying the deterioration of fish quality after harvest and methods of preservation. *Food Control*, 135,108805. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108805>.
- Nithin, C. T., Joshya, C. G., Chatterjee, N. S., Pandaa, S. K., Yathavamoorthia, R., Ananthanarayanan, T. R., Mathewa, S., Bindua, J. & Gopa, T. K. S. (2020). Liquid smoking - A safe and convenient alternative for traditional fish smoked products. *Food Control*, 113, 107186. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107186>.
- Nunes, M.L., Batista, I. & Morão De Campos, R. (1992). Physical, chemical, and sensory analysis of sardine (*Sardina pilchardus*) stored in ice. *Journal of Science of food and Agriculture*, 59 (1), 37-43. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740590106>
- Olayemi, F.F., Adedayo, M.R., Bamishaiye, E.I. & Awagu, E.F. (2011). Proximate composition of catfish (*Clarias gariepinus*) smoked in Nigerian stored products research institute (NSPRI) developed kiln. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 3(5), 96-98.

- Oliveira, H., Pedro, S., Nunes, M.L., Costa, R. & Vaz-Pires, P. (2012). Processing of Salted Cod (*Gadus* spp.): A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 201, 546-564. doi: 10.1111/j.1541-4337.2012.00202.x
- Ozogul, Y. & Balikci, E. (2011). Effect of Various Processing Methods on Quality of Mackerel (*Scomber scombrus*). *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1091-1098. <https://doi-org.usco.basesdedatosezproxy.com/10.1007/s11947-011-0641-4>.
- Pacheco, J., Núñez-Calcaño, A. L. & Espinoza-Estaba, A. (2010). Estabilidad fisicoquímica durante el almacenamiento refrigerado de filetes de bagre dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*) ahumados y empacados con y sin vacío. *Revista Científica UDO Agrícola*, 10(1), 123-132.
- Pedrero, D. & Pangborn, R. (1989) *Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos. Analíticos*, Ciudad de México: Editorial Alhambra Mexicana.
- Petsini, F., Fragopoulou, E. & Antonopoulou, S. (2018). Critical Reviews in Food Science and Nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, DOI: 10.1080/10408398.2018.1437388.
- Pinto de Rezende, L., Barbosa, J. & Teixeira, P. (2022). Analysis of Alternative Shelf Life-Extending Protocols and Their Effect on the Preservation of Seafood Products. *Foods*, 11, 1100. <https://doi.org/10.3390/foods11081100>.
- Prabhakar, P.K., Vatsa, S., Srivastav, P.P. & Pathakc, S.S. (2020). A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent

- innovations. *Food Research International*, 133, 109157. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109157>.
- Rizo, A., Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Masot, R., Alcañiz, M. & Barat, J. M. (2013). Development of a new salmon salting-smoking method and process monitoring by impedance spectroscopy. *Food Science and Technology*, 51, 218-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.025>
- Rizo, A., Máñes, V., Fuentes, A., Fernández-Segovia, I. & Barat, J. M. (2015). A novel process for obtaining smoke-flavoured salmon using water vapour permeable bags. *Journal of Food Engineering*, 149, 44-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.009>
- Rizo, A., Máñes, V., Fuentes, A., Fernández-Segovia, I. & Barat, J. M. (2015). Physicochemical and microbial changes during storage of smoke-flavoured salmon obtained by a new method. *Food Control*, 56, 195-201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.030>
- Rizo, A., Fuentes, A., Fernández-Segovia, I. & Barat, J. M. (2016). Smoke-flavoured cod obtained by a new method using water vapour permeable bags. *Journal of Food Engineering*, 179, 19-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.028>
- Rizo, A., Fuentes, A., Fernández-Segovia, I. & Barat, J. M. (2017). Development of a novel smoke-flavoured trout product: An approach to sodium reduction and shelf-life assessment. *Journal of Food Engineering*, 211, 22-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.031>

- Rodríguez de Souza, M. L. & Freire-Maranhão, T.C. (2001). Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. *Acta Scientiarum*, 23, (4), 897-901.
- Rodríguez de Souza, M.L., Macedo-Viegas., Amaral-Sobral., P.J. & Komkra, S. (2005). Efeito do peso de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) sobre o rendimento e a qualidade de seus filés defumados com e sem pele. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(1), 51-59.
- Rodríguez de Souza, M.L., Macedo-Viegas, E.M., Nascimento-Kronka, S., Meire Vidotti, R., Assano, M. & Gasparino, E. (2010). Effects of hot and cold smoking processes on organoleptic properties, yield and composition of matrinxá fillet, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, (4), 695-700.
- Ruiz-Alonso, S. A., Girón-Hernández., L. J. López-Vargas., J. H. Muñoz-Ramírez A. P. & Simal-Gandara, J. (2021). Optimizing salting and smoking conditions for the production and preservation of smoked-flavoured tilapia fillets. *Food Science and Technology*, 138, 110733. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110733>.
- Ruiz-Capillas, C. & Moral, A. (2001). Correlation between Biochemical and Sensory Quality Indices in Hake Stored in Ice. *Food Research International*, 34, 441-447. [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00189-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00189-7)
- Sáez, M.I., Suárez, M. D., Alarcón F.J. & Martínez, T.F. (2021). Assessing the Potential of Algae Extracts for Extending the Shelf Life of Rainbow Trout

(*Oncorhynchus mykiss*) Fillets. Food, 10, 910.
<https://doi.org/10.3390/foods10050910>

Sampels, S. (2015). The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. Trends in Food Science & Technology, 44, 131-146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.003>.

Semba, R., Shardell, M., Sakr-Fayrouz, F.A Ashour., Moaddel, R., Trehand, T., Maleta, K., Ordiz, M.I., Kraemer, K., Khadeer, M., Ferrucci, L. & Manary, M. (2016). Child Stunting is Associated with Low Circulating Essential Amino Acids. EBioMedicine, 6, 246-252.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.030>.

Sheng, J.F., Jiang, Y.X. & Liu, X.L. (2003). Analysis of volatile compounds in the processing of instant smoked tilapia. Modern Food Science and Technology, 29 (12), 3038-3045.

Sigurgisladottir, S., Ingvarsdottir, H., Torrissen, O.J., Cardinal, M. & Hafsteinsson, H. (2000). Effects of freezing/thawing on the microstructure and the texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). Food Research International, 33, 857-865.

Silva-Morais, C.A., Pacheco-Santana, T., Azevedo-Santos, C., Cortez-Passetti, R.A., Bibiano-Melo, J.F., Fonseca de Macedo, F.A., Vieira, J., Costa-Teixeira, A.J. & Del Vesco, A.P. (2020). Effect of slaughter weight on the quality of Nile tilapia fillets. Aquaculture, 520, 734941.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734941>

- Slamova, T., Frankov. & Banout, J. (2021). Influence of traditional Cambodian smoking practices on the concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in smoked fish processed in the Tonle Sap area, Cambodia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 100, 103902. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103902>.
- Sokamte, T.A., Mbougoung, P.D., Mohammadou, B.A., Tatsadjieu, N.L. & Sachindra, N.M. (2020). Proximal composition and fatty acid profile of fresh and smoked fillets of *Pangasius hypophthalmus*. *Scientific African*, 9, e00534. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00534>.
- Souza-Duarte, F.O., Gomes de Paula, F., Sales-Prado, C., Rodrigues Dos Santos, R., Minafra-Rezende, C., Gebara, C. & Lage, E. (2021). Better fatty acids profile in fillets of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) supplemented with fish oil. *Aquaculture*, 534, 736241. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736241>
- Sroy, S., Arnaud, E., Servant, A., In, S., Avallone, S. (2021). Nutritional benefits and heavy metal contents of freshwater fish species from Tonle Sap Lake with SAIN and LIM nutritional score. *Journal of Food Composition and Analysis*, 96, 103731. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103731>
- Stolyhwo, A. & Sikorski, Z. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish. A critical review. *Food Chemistry*, 91 (2), 303- 311. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.06.012

- Sun, L., Sun, J., Thavaraj, P., Yang, X. & Guo, Y. (2017). Effects of thinned young apple polyphenols on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi during cold storage. *Food Chemistry*, 224 (1), 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.097>
- Tavares, J., Martins, A., Fidalgo, L., Lima, V., Amarla, R., Pinto, C., Silva, A. & Saraviam, J. (2021). Fresh Fish Degradation and Advances in Preservation Using Physical Emerging Technologies, 10, 780. <https://doi.org/10.3390/foods10040780>
- Tomac, A., Rodríguez-Mallo, S., Pereza, S., García-Loredo, B. & Yeannes, M.I. (2020). Vacuum impregnation in *Merluccius hubbsi* hake fillets brining. Effect on mass transfer kinetics, texture and colour. *Food Science and Technology*, 119, 108892. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108892>.
- Torres, E. & Espejo, C. (2001). Cultivo de las tilapias roja (*Oreochromis* spp.) y plateada (*Oreochromis nilotus*). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19713>.
- Tuorila, H. & Monteleone, E. (2009). Sensory food science in the changing society: Opportunities, needs and challenge. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 54-62.
- Valø, T., Nordeng-Jakobsen, A. & Lerfall, J. (2020). The use of atomized purified condensed smoke (PCS) in cold-smoke processing of Atlantic salmon - Effects on quality and microbiological stability of a lightly salted product. *Food Control*, 112, 107155. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107155>

- Vasiliadou, S., Ambrosiadis, I., Vareltzis, K., Fletouris, D. & Gavriilidou, I. (2005). Effect of smoking on quality parameters of farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sensory attributes of the smoked product. *European Food Research and Technology*, 2217, 232-236. DOI 10.1007/s00217-005-1138-z
- Vásquez-Salazar, R.D., Pupo-Urrutia, A.C. & Jiménez-Aguas, H.J. (2014). Sistema energéticamente eficiente y de bajo costo para controlar la temperatura y aumentar el oxígeno en estanques de cultivo de alevines de tilapia roja. *Revista Facultad de Ingeniería*, 23(36), 9-23
- Víquez, F. (2002). Características biométricas y químicas de la tilapia de agua dulce (*Oreochromis nilótica*) y uso del pH y de las características organolépticas para estimar su vida útil sensorial a 5°C. *Reviteca*, 9, 27-29.
- Yanar, Y., Celik, M. & Akamca, E., (2006). Effects of brine concentration on shelf-life of hot-smoked tilapia (*Oreochromis niloticus*) stored at 4°C. *Food Chemistry*, 97, 244-247.
- Yan-Fong, F., El-Nezami, H. & Po-Sze, E. (2021). Biogenic amines – Precursors of carcinogens in traditional Chinese fermented food. *NFS Journal*, 23,52-57. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.04.002>.
- Yu, D., Wu, L., Regenstein, J. M., Jiang, Q., Yang, F., Yanshun, X. & Wenshui X. (2019). Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39, 1747-1759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1596067>

Zhang, L.N., Hu, S.M., Wang, R.H., Luo, Y.K. & Cui, J.Y. (2010). Changes in quality of grass carp tablets during storage between refrigeration and partial freezing Food Science and Technology International, 35, 175-179, 10.3969/j.issn.1007-9580.2010.05.010.

11.Anexos



Physico-chemical quality of fish products marketed in Colombia

Calidad fisicoquímica de productos pesqueros comercializados en Colombia

Qualidade físico-química dos produtos pesqueiros comercializados na Colômbia

Silvia Carrera*

Nelson Gutiérrez Guzmán

Joel Girón Hernández

Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación Agroindustria
USCO, Universidad Surcolombiana, Neiva, Huila, Colombia.

Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2022, 39(2): e223927

ISSN 2477-9407

DOI: [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n2.05](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n2.05)

Received: 19-08-2021

Accepted: 14-03-2022

Published: 18-04-2022

Food Technology

Associate editor: Dra. Gretty R. Ettiene Rojas

University of Zulia, Faculty of Agronomy

Bolivarian Republic of Venezuela

Keywords:

Chlorides
Fish-processing
Innovation
Moisture
Water activity

Abstract

The nutritional characteristics of fish products have positioned them as one of the fastest growing food categories worldwide. Additionally, for developing innovative foods, it is crucial to understand the physico-chemical properties of commercial products and to be familiar with the food industry regulations that determine the criteria and specifications for new developments. For this purpose, frequency questionnaires were applied to fish products marketed in the retail sector. Additionally, processed products were selected for analytical determinations of moisture, NaCl content, and water activity. The results showed that 80% of the products are marketed in large supermarkets with 20% in local markets. It was also observed that 79% of the products are of national origin. The highest salt contents on a dry basis (~48%) were determined on smoked salmon and salted-smoked herring samples, while tilapia patties showed the lowest NaCl values on a dry basis ~6%. Within the Colombian market, products with a high degree of processing are imported and they contain higher salt contents. The national product offers low processing levels, being mainly frozen fillets. This opens the possibility for the development of innovative products using local raw materials.



Review

An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities and challenges

Silvia C. Carrera-Quintana^{a,b}, Piergiorgio Gentile^c, Joel Girón-Hernández^{a,c,*}

^a *Grupo de Acuicultura, Departamento de Agronomía Agrícola, Universidad Nacional, Nariño, Colombia*

^b *Centro Agropecuario y Desarrollo Pesquero del Huila (CEADPE), Grupo de Investigación Acuicultura, Garzón, Colombia*

^c *School of Engineering, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, United Kingdom*

^d *Department of Applied Sciences, Faculty of Health and Life Sciences, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, United Kingdom*

ARTICLE INFO

Keywords:
 Aquaculture
 Colombia
 Fish disease
 Production systems
 Storage
 Tilapia

ABSTRACT

Colombia due to its geographical location is provided with different climatic zones, that are suitable for continental and marine aquaculture of a wide range of species with a high possibility of commercialization. Currently, the production comes mainly from ponds and floating cage aquaculture systems, supplying more than 90% of the freshwater and saltwater organisms consumed in the country, where the production is based on tilapia, trout, catfish and shrimp. This review aims to provide information of the current aquaculture value chain and development in Colombia by describing the current production systems and highlighting their limitations that make difficult to achieve high efficiency combined with necessary sustainability. Colombia has all the potential to develop tropical aquaculture, which should focus on native fish breeding, genetic improvement, high-tech aquaculture systems, agro-industrial and fish biomass development valorisation. Future development trends and perspectives are also analysed in this review.

1. Introduction

Ensuring food security is one of the greatest challenges of our time. Over the last century, despite a marked growth in food production, there are still around 900 million of people without access to sufficient proteins, carbohydrates and lipids in their diets, providing energy for the metabolism (Jin et al., 2019). In this scenario, capture fisheries have been rapidly declining due to the reduction of the available fish stocks, while aquaculture has been increasing over the last 20–30 years, representing a huge potential for alleviating pressure on natural stocks (Oviedo et al., 2020). Furthermore, fish farming is the fastest growing sector in agriculture with an annual growth rate close to 6% and, according to the Food and Agriculture Organization (FAO), fish and fish products are globally a pivotal protein source, especially in low-income countries (Bévil et al., 2015; Costa-Pierce and Chapin, 2021). Moreover, to meet the expected per capita fish demand in 2030 (200 megatonnes), aquaculture production needs to increase by 20% (Zhou, 2018).

Recent reports, released by the Colombian government, informed the fish farming is not properly developed. Indeed, this sector has been facing different difficulties, such as the high price of fuel, production costs of imported goods, lack of modernisation of processing plants, that

have led to low productivity and profitability and, consequently, low competitiveness of the fishing and aquaculture activity. Public policy efforts have been made to strengthen the sector, particularly with the creation of the National Aquaculture and Fisheries Authority (ALNAP), with the aim to develop the aquaculture sector in Colombia territory. The total surface area of this country is 2,070,408 km², distributed in 1,141,748 km² of land area and 928,660 km² of maritime area, that includes 1600 km of coastline in the Caribbean Sea and 1300 km of coastline in the Eastern central Pacific Ocean (data from Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC), providing high resources for developing aquaculture in this Country (Gaitán Urbe, 2010). Additionally, Colombia territory has characterised by: i) several watersheds that offer a water resource (Pérez-Rincón et al., 2017), ii) a range of reservoirs (Moreno et al., 2013a) and natural water bodies (Torres-Barron and González-Rincón, 2017) where aquaculture activity can be potentially developed, iii) ideal rainfall and temperatures for breeding and cultivation of tropical fish species (Castellanos-Mojica et al., 2021), and iv) waters with pH levels above 7.5 within a high oxygen concentration (Oviedo et al., 2013). This review aims to provide insights on the aquaculture in Colombia, by analysing and discussing the challenges that the country is currently facing and by proposing in the last section

* Corresponding author at: Department of Applied Sciences, Faculty of Health and Life Sciences, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, United Kingdom. E-mail address: joel.g.hernandez@northumbria.ac.uk (J. Girón-Hernández).

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738583>

Received 11 November 2021; Received in revised form 30 June 2022; Accepted 2 July 2022

Available online 6 July 2022

0544-5466/© 2022 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).