

UTILIZACIÓN DE BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA PARA LA OBTENCIÓN DE SALMÓN AHUMADO



MÁSTER EN GESTIÓN Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Verónica Mañes Lázaro

Arantxa Rizo Párraga

Ana Fuentes López

Isabel Fernández Segovia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

UTILIZACIÓN DE BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA PARA LA OBTENCIÓN DE SALMÓN AHUMADO

Verónica Mañes Lázaro¹; Arantxa Rizo Párraga¹; Ana Fuentes López¹; Isabel Fernández Segovia¹.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue optimizar un nuevo método de salado-ahumado empleando bolsas permeables al vapor de agua, para la obtención de salmón ahumado. Para ello se llevó a cabo un proceso de salado-ahumado empleando 3 niveles de sal a dosificar (4, 6 y 8 g sal/100 g salmón fresco) y dos tipos de bolsas de envasado (bolsas de alta barrera (vacío) y bolsas permeables al vapor de agua) en 3 condiciones de humedad relativa (50%, 60% y 70% HR). El procedimiento de salado combinado con el envasado a vacío dio lugar a una mayor concentración de sal en el producto final comparado con el envasado en bolsas permeables al vapor de agua. En las muestras envasadas en las bolsas permeables al vapor de agua, el descenso en la humedad relativa de la cámara provocó una mayor reducción de los valores de humedad y a_w . Sin embargo, la captación de sal no se vio afectada por la humedad relativa utilizada durante el proceso. Entre los niveles de sal empleados, las muestras saladas con una dosificación del 8% y una humedad relativa del 60% fueron las que más se aproximaron a los niveles de a_w , contenido en sal y humedad de las muestras comerciales. La utilización de una humedad relativa del 50 y 60% permitió la evaporación completa del agua liberada por el músculo. En el salado combinado con el envasado a vacío se formó cierta cantidad de exudado, siendo este mayor cuanto mayor fue la cantidad de sal dosificada. Los atributos sensoriales del salmón ahumado obtenido mediante este nuevo proceso fueron similares a los del producto comercial.

RESUM

L'objectiu del present treball va ser optimitzar un nou mètode de salat-fumat emprant bosses permeables al vapor d'aigua, per a l'obtenció de salmó fumat. Per a això es va dur a terme un procés de salat-fumat emprant 3 nivells de sal a dosificar (4, 6 i 8 g sal/100 g salmó fresc) i dos tipus de bosses d'envasament (bosses d'alta barrera (buit) i bosses permeables al vapor d'aigua) en 3 condicions d'humitat relativa (50%, 60% i 70% HR). El procediment de salat combinat amb l'envasament a buit va donar lloc a una major concentració de sal en el producte final comparat amb l'envasament en bosses permeables al vapor d'aigua. En les mostres envasades en les bosses permeables al vapor d'aigua, el descens en la humitat relativa de la cambra va provocar una major reducció dels valors d'humitat i a_w . No obstant

¹ Departamento de Tecnología de Alimentos, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain

això, la captació de sal no es va veure afectada per la humitat relativa utilitzada durant el procés. Entre els nivells de sal empleats, les mostres salades amb una dosificació del 8% i una humitat relativa del 60% van ser les que més es van aproximar als nivells d' a_w , contingut en sal i humitat de les mostres comercials. La utilització d'una humitat relativa del 50 i 60% va permetre l'evaporació completa de l'aigua alliberada pel múscul. En el salat combinat amb l'envasament a buit es va formar una certa quantitat d'exsudat, sent aquest major quant major va ser la quantitat de sal dosificada. Els atributs sensorials del salmó fumat obtingut per mitjà d'aquest nou procés van ser semblants als del producte comercial.

ABSTRACT

The aim of this work was to optimize a new salting-smoking method using water-vapour permeable bags to obtain smoked salmon. For this purpose a salting-smoking process was carried out employing 3 levels of salt dosage (4, 6 y 8 g salt/100 g fresh salmon) and two types of packaging bags (high barrier bags (vacuum) and bags permeable to water vapour) with 3 relative humidity conditions (50%, 60% y 70% RH). The salting procedure combined with vacuum packaging lead to a higher concentration of salt in the final product compared with the packaging in water vapour permeable bags. In the samples packed in water vapour permeable bags the decrease of the relative humidity in the drying chamber caused a greater reduction in the moisture and a_w values. However salt uptake was not affected by the relative humidity used during the process. Amongst the salt levels employed, the samples salted with a 8% of salt dosage and a 60% relative humidity were those that come closest to the levels of a_w salt content and moisture of the marketed samples. The use of a 50% and 60% of relative humidity lead to the complete evaporation of the water released by the muscle. In the salting combined with the vacuum packaging a certain quantity of exudate was formed, being higher as the amount of salt dosed increased. The sensory attributes of smoked salmon obtained by this new process were similar to the marketed product.

PALABRAS CLAVES: salmón, salado-ahumado, salado en bolsa, bolsas permeables al vapor de agua, análisis físico-químico.

1. INTRODUCCIÓN

El ahumado es uno de los métodos más antiguos conocidos empleados para la conservación del pescado. En la actualidad uno de los productos de la pesca más populares en todo el mundo es el salmón ahumado (Medina et al., 2009). Se estima que aproximadamente entre el 40 y 50% de la producción de salmón atlántico de piscifactoría llega al consumidor en forma de producto ahumado (Røra et al., 2004).

El proceso de ahumado incluye diferentes etapas, como las de salado y secado, que provocan en el pescado una reducción del contenido de humedad y un aumento en su contenido de sal, lo que se traduce en una serie de cambios que permiten retrasar los procesos microbiológicos y oxidativos causantes del deterioro, además de conferir al producto final unas características sensoriales muy apreciadas por el consumidor.

La incorporación de la sal al producto puede realizarse por inyección, salazón en seco o salado en salmuera (Espe et al, 2002; Mørkøre et al, 2001; Espe et al, 2001; Røra et al., 2004). La utilización de una u otra técnica está condicionada por las características de la materia prima y de manera significativa por la duración del proceso de elaboración, los rendimientos alcanzados, así como las características físico-químicas y sensoriales del producto final.

Para obtener un producto de calidad es fundamental, además de la adecuada selección de la materia prima, la optimización de las diferentes etapas que constituyen el proceso, siendo la etapa de salado especialmente crítica. La absorción y distribución de sal en el filete depende de diferentes factores como la especie de pescado, el espesor de la pieza, la concentración de la salmuera utilizada o la cantidad de sal empleada, así como de otros factores intrínsecos de la materia prima (época del año, estado postmortem, etc) (Jittinandana et al., 2002; Mørkøre et al, 2001; Wang et al., 1998). Actualmente, la mejora de los procesos de salado se centran principalmente en la reducción de los tiempos de procesado, aplicando técnicas alternativas como la inyección directa de salmuera (Thorarinsdottir et al., 2010), la combinación del salado y descongelación simultánea (Barat et al., 2005) o la utilización de la impregnación a vacío (Chiralt et al., 2001).

En los últimos años han empezado a comercializarse nuevos materiales de envasado realizados a partir de polímeros altamente permeables al vapor de agua. En la actualidad existen pocos estudios sobre su aplicación en alimentos, centrándose exclusivamente en la maduración de productos cárnicos (Ahnström et al., 2006; DeGeer et al., 2009). Este tipo de envases ofrece la posibilidad de poder realizar las operaciones de secado en alimentos, incorporando las ventajas que supone el envasado del producto para mantener su calidad higiénica y facilitar su manipulación y transporte.

En este sentido, la utilización de este tipo de materiales combinado con los procesos de salado y ahumado, supone una nueva alternativa a las técnicas tradicionales. De esta forma podría realizarse simultáneamente el salado y secado de las piezas de pescado durante su distribución y transporte. Una ventaja adicional sería el empleo de un

procedimiento de salado controlado, donde se dosifica exactamente la cantidad de sal que debe absorber el pescado, para alcanzar la concentración de sal óptima de este tipo de productos. Además, la incorporación de humo líquido durante el salado permitiría aportar el aroma típico de los productos ahumados y, por tanto, reducir sustancialmente el tiempo total de procesado. Esta nueva metodología permitiría minimizar la manipulación del producto, reducir los residuos de sal y/o salmuera generados por el uso excesivo de sal, así como acelerar el proceso de elaboración del pescado ahumado.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un nuevo método de salado-ahumado empleando bolsas permeables al vapor de agua, para la obtención de salmón ahumado con características similares a los productos comerciales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materia prima

La materia prima empleada en el presente estudio fueron lomos de salmón (*Salmo salar*) noruego procedente de piscifactoría (Marine Harvest, Bergen, Noruega) de calibre 1.4-1.8 Kg. Para el estudio completo se emplearon un total de 7 lomos de salmón (6 para la primera fase del estudio y 1 para el análisis sensorial final) adquiridos en un supermercado de la ciudad de Valencia. La sal (NaCl) utilizada en el proceso fue suministrada por Panreac Química, S.A (Barcelona, España). Se empleó humo líquido HARDWOOD AFS 10 (Amcan Ingrédients Ltd., Le Chesnay, Francia), constituido por una disolución acuosa de aroma natural de humo procedente de la pirólisis de nogal, arce y otras maderas nobles.

2.2 Diseño experimental

2.2.1. FASE I: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SALADO-AHUMADO

En la primera fase del presente trabajo se estudió el efecto de la cantidad de sal empleada, la humedad relativa en la cámara de secado y la permeabilidad de la bolsa de envasado, durante el proceso de salado-ahumado de salmón. El objetivo final de esta fase del estudio fue establecer las condiciones óptimas de procesado para obtener salmón ahumado con características similares a los productos comerciales, empleando un proceso de salado-ahumado alternativo al tradicional. El procedimiento de ahumado empleado en el presente estudio se muestra en la figura 1a.

Los filetes de salmón se desespinaron y cortaron en porciones de 4 cm obteniendo, de esta forma, un total de 54 porciones (9 porciones por cada filete de salmón). A continuación, las porciones de pescado se pulverizaron con humo líquido diluido en agua (60% (v/v)) siguiendo las recomendaciones facilitadas por el fabricante. Seguidamente las muestras se salaron mediante un proceso de salado controlado, dosificando sobre la superficie de pescado

una cantidad exacta de sal previamente establecida. En el presente estudio, se consideraron 3 cantidades de sal: 4, 6 y 8 g sal/100 g salmón fresco. Las cantidades de sal a dosificar y el procedimiento de salado empleado se seleccionaron en base a estudios previos (Fuentes et al., 2011), considerando la humedad inicial de la materia prima y la concentración de sal objetivo.

A continuación, las porciones de salmón se dividieron en 2 grupos, uno de los cuales se envasó a vacío utilizando bolsas de alta barrera y el otro se envasó en bolsas altamente permeables al vapor de agua. A su vez cada uno de estos grupos de muestras se dividieron aleatoriamente en 3 lotes que serían procesados a distintas humedades relativas (50%, 60% y 70% HR).

Todas las muestras fueron envasadas a vacío utilizando una envasadora de campana (Tecnotrip mod. EV-25-CD, Barcelona, España). Sin embargo, en las bolsas permeables al vapor de agua no se consigue mantener las condiciones de vacío durante el procesado; por ello, en este estudio cuando se hace referencia a muestras envasadas a vacío se trata únicamente de aquellas muestras que han sido envasadas en bolsas de alta barrera. Las características de ambos tipos de bolsa de envasado se muestran en la tabla 1. El salado-ahumado de las porciones de salmón se llevo a cabo en una cámara de humedad relativa y temperatura controladas (Binder mod. KBF. Tuttlingen, Alemania) a 5 °C durante 24 h.

Tabla 1. Características técnicas de las bolsas utilizadas en el envasado de las porciones de salmón.

| Propiedades | Bolsas de alta barrera | Bolsas permeables al vapor de agua |
|--|---|--|
| Composición | Poliamida 20μ-polietileno 100μ | Mezcla de poliamidas |
| Grosor total | 120±10 μ | 40 μ |
| Tamaño | 200x300 mm | 200x300 mm |
| Velocidad de transmisión del vapor de agua | 1.8 g/120μ/m ² /24h (23°C 85%HR) DIN 53122 | 5000 g/50μ/m ² /24h (38°C 50%HR) ASTM E 96 BW |
| Permeabilidad del oxígeno | 50 cm ³ /mm ² ·d·bar | nd |

n.d: datos no disponibles

Al finalizar el tiempo de salado-ahumado establecido, las porciones de salmón se sacaron de las bolsas y el líquido exudado por el pescado fue recogido y pesado. Las muestras se introdujeron en una salmuera saturada en agitación constante durante 30 s, para eliminar los restos de sal que hubieran podido quedar adheridos a la superficie. Posteriormente, las muestras se secaron con papel absorbente, se pesaron y se dejaron en reposo durante 24 h a 5 °C, con el fin de permitir la difusión de la sal absorbida dentro del tejido del pescado y así obtener una distribución más homogénea de la sal dentro de las piezas.

Se llevaron a cabo análisis de humedad, pH, contenido en NaCl, a_w y contenido en grasa, en el salmón fresco y en las piezas ahumadas. Para

cada una de las condiciones ensayadas se utilizaron tres muestras (n=3), realizando todos los análisis por triplicado sobre cada muestra, excepto el pH que se midió por quintuplicado.

Por otra parte se determinaron los parámetros físico-químicos del salmón ahumado comercial para ser utilizados como valores de referencia en el estudio. Para ello se analizó salmón ahumado de una misma marca comercial y procedente de 2 lotes de fabricación distintos.

2.2.2. FASE II: EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO OBTENIDO

El objetivo de esta fase del estudio fue evaluar la aceptación sensorial de los productos obtenidos a partir de las condiciones seleccionadas en la fase anterior (8 g NaCl/100 g pescado, envasados en bolsas de alta permeabilidad al vapor de agua y 3 humedades relativas). En esta fase se llevó a cabo un análisis sensorial de los productos obtenidos con el nuevo sistema de procesado y el producto comercial.

El procedimiento de ahumado empleado en esta fase del estudio se muestra en la figura 1b. El proceso fue similar al descrito en el apartado anterior, empleando en este caso una única dosificación de sal (8%) y porciones de salmón de 8 cm. Una vez obtenidas las muestras de salmón ahumado estas eran fileteadas y envasadas a vacío hasta el análisis sensorial.

Con el objetivo de caracterizar las muestras a evaluar sensorialmente, se llevaron a cabo determinaciones físico-químicas de contenido en humedad, pH, contenido en NaCl y a_w .

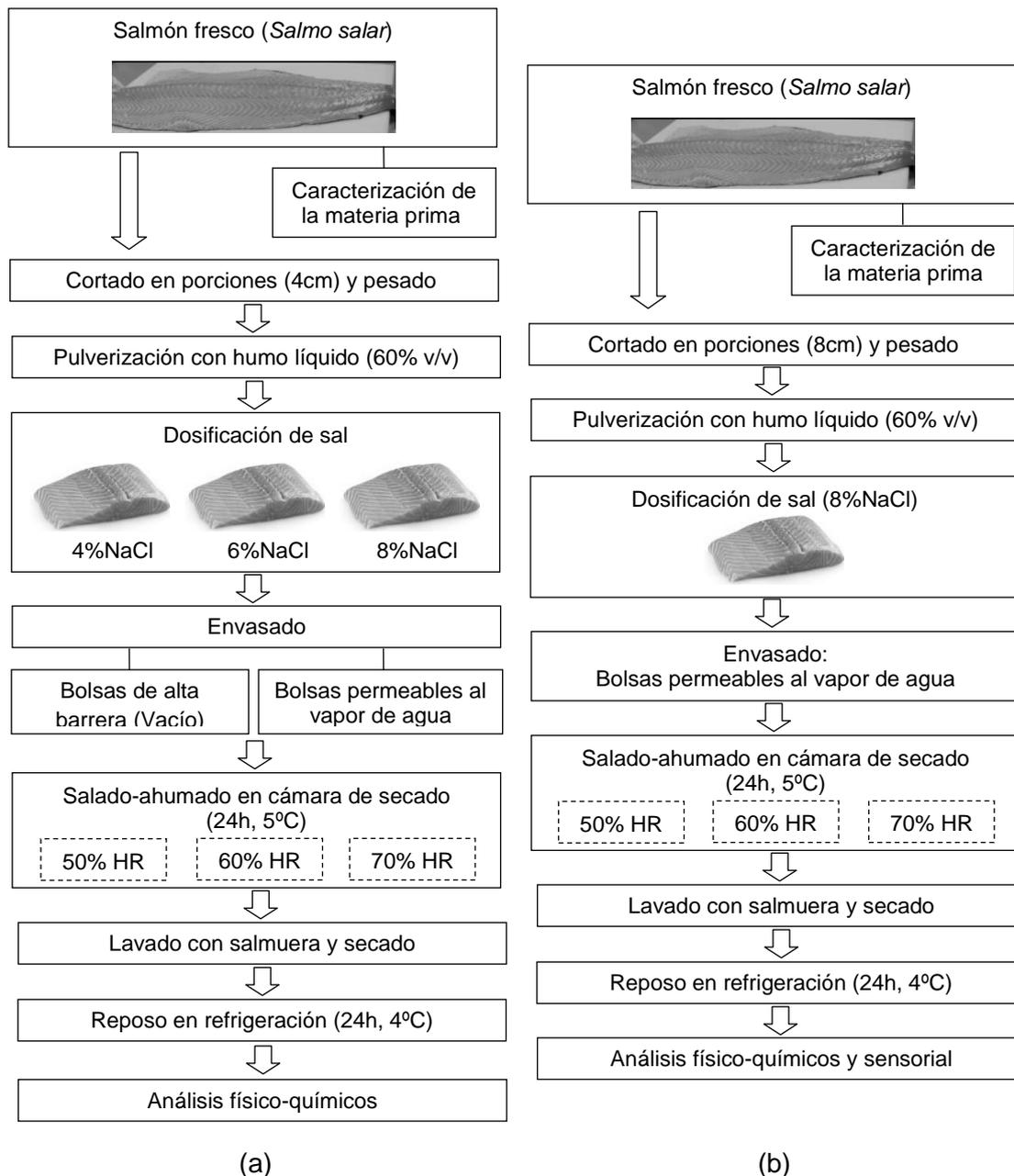


Figura 1. Diseño experimental de la Fase I (a) y Fase II (b)

2.3. Determinaciones analíticas

La determinación del contenido de humedad se realizó siguiendo el procedimiento 950.46 descrito por la AOAC (AOAC, 1997). El pH se midió directamente sobre las porciones de pescado empleando un pH-metro con electrodo de punción (Crison Basic 20+, Crison Instruments, Barcelona, España), tomando lecturas en 5 puntos diferentes de cada muestra. Para la determinación del valor de a_w se empleó un higrómetro de punto de rocío (GBX scientific FA-st/lab, Cédex, Francia). El contenido en cloruro sódico se determinó según el procedimiento descrito por Fuentes et al. (2010a)

empleando un analizador automático de cloruros Sherwood mod. 926 (Sherwood Scientific Ltd., Cambridge, Reino Unido). El contenido en grasa de las muestras de pescado se determinó por extracción en Soxhlet con éter de petróleo según el método 991.36 descrito por la AOAC (AOAC, 1997)

La variación de masa total de cada una de las porciones de salmón durante el proceso de salado (ΔM_t) se calculó a partir del peso inicial de la muestra de pescado (M_0) y el peso al finalizar el procesado (M_t) mediante la ecuación 1. Asimismo, se calculó la razón másica de NaCl (X^{NaCl}) y concentración de NaCl en fase líquida (z^{NaCl}) (ecuaciones 2 y 3, respectivamente), donde x^{NaCl} y x^w corresponden a la fracción másica de cloruro sódico y agua, respectivamente.

$$\Delta M_t = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \quad (1)$$

$$X^{\text{NaCl}} = \frac{x^{\text{NaCl}}}{1 - x^w} \quad (2)$$

$$z^{\text{NaCl}} = \frac{x^{\text{NaCl}}}{x^w + x^{\text{NaCl}}} \quad (3)$$

2.4. Análisis sensorial

El estudio de los atributos sensoriales de las muestras de salmón ahumado obtenido en la fase II del presente trabajo se llevó a cabo en una sesión. El objetivo de este análisis fue evaluar la aceptación del producto de salmón ahumado obtenido por el nuevo procedimiento.

El análisis sensorial de las muestras de salmón ahumado se llevó a cabo por catadores inexpertos, no entrenados, pero consumidores habituales de productos ahumados. Se realizaron pruebas escalares (AENOR, 2006), utilizando escalas semi-estructuradas de 8 cm de longitud, mediante las cuales se evaluaron los atributos de apariencia, color, olor, intensidad de olor a humo, sabor, intensidad de salado y aceptación global. Estos atributos fueron seleccionados por ser los más importantes y representativos para la industria y los consumidores (Rodrigues et al., 2005; citado por Fuentes et al., 2010b).

El análisis sensorial de las muestras se llevó a cabo, con un panel formado por 32 catadores. Los catadores evaluaron una muestra de salmón ahumado comercial y 3 muestras de salmón ahumado obtenidas por el nuevo método de salado-ahumado, con la misma dosificación de sal (8%) y secado a diferentes humedades relativas (50, 60 y 70% HR). Las cuatro muestras fueron presentadas a los catadores en un mismo plato, a temperatura ambiente y codificadas con números de tres dígitos aleatorios. La evaluación se realizó en una sala de catas con cabinas individuales e iluminación controlada. Cada catador respondió a las preguntas del cuestionario que se muestra en la figura 2, marcando en la escala de cada parámetro evaluado las 4 muestras. La distancia desde el valor 0 representó la puntuación dada por los evaluadores.

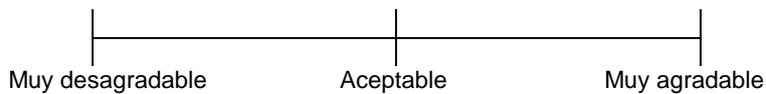
Catador: _____ Fecha: _____

Tipo de muestra: **Salmón ahumado**

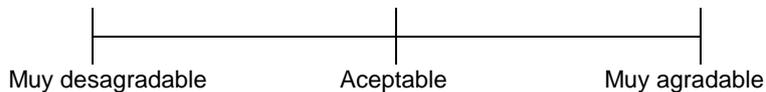
INSTRUCCIONES:

- Respete el siguiente orden de cata: ____ - ____ - ____ - ____
- Antes de probar cada muestra enjuáguese la boca una vez con agua.
- Espere al menos 30 segundos antes de probar la siguiente muestra.
- Sitúe el código de la muestra en cada escala según su criterio.

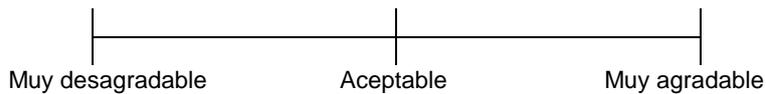
1. APARIENCIA:



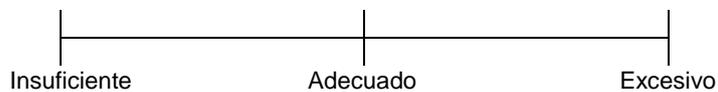
2. COLOR:



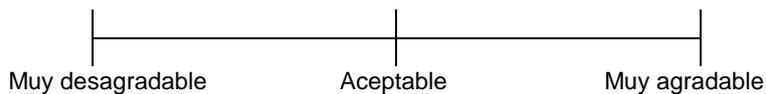
3. OLOR:



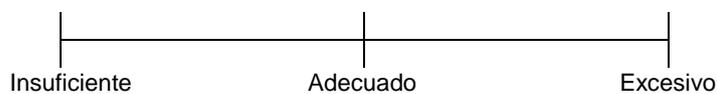
4. INTENSIDAD DE OLOR A HUMO:



5. SABOR:



6. INTENSIDAD DE SALADO:



7. ACEPTACIÓN GLOBAL:

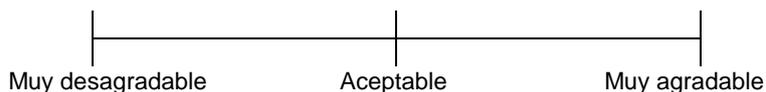


Figura 2. Cuestionario para el análisis sensorial de las muestras de salmón ahumado.

2.5. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en los análisis físico-químicos de la fase I, se llevaron a cabo ANOVAs multifactor para evaluar el efecto de la cantidad de sal dosificada (S: 4, 6 y 8%) y de las condiciones de envasado (E: vacío y bolsas permeables al vapor de agua con 50%, 60% y 70% HR) a las que fueron sometidas las muestras durante el proceso. Se utilizó el procedimiento LSD (least significant difference) para comprobar las diferencias a un nivel de significación del 5%. En el análisis sensorial se llevaron a cabo ANOVAs simples para comprobar la existencia de diferencias significativas entre las muestras ahumadas obtenidas con las distintas condiciones de procesado y el salmón ahumado comercial. Para realizar estos análisis se empleó el programa Statgraphics Centurión XVI (Manugistics Inc., Rockville, MD, USA).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Fase I. Optimización del proceso de salado-ahumado

En la tabla 2 se muestran los valores de humedad, pH, a_w , y grasa de la materia prima empleada en el presente estudio. Los valores obtenidos son similares a los dados por otros autores en salmón fresco (Duun y Rustad., 2008; Fernández-Segovia et al., 2012; Røra et al., 2004). En general, la ganancia y distribución de sal en el filete depende de diferentes factores como son el método de salado utilizado, la cantidad de sal utilizada, el espesor de la pieza y, otros factores intrínsecos del pescado, como es su composición, estado post-mortem, etc. (Røra et al., 1998; Mørkøre et al., 2001). La correcta caracterización de la materia prima es especialmente importante en el establecimiento de las condiciones de procesado. Parámetros físico-químicos como el contenido en humedad y grasa influyen de manera importante sobre el comportamiento del músculo durante el procesado y por tanto, sobre las características del producto final, es por ello que en función de estos parámetros se deben ajustar las condiciones de salado-ahumado a utilizar (Barat et al., 2006).

Tabla 2. Parámetros físico-químicos de la materia prima. Valores promedio \pm SD (n=3).

| | Materia prima |
|--------------------------------|----------------------|
| Humedad (g agua/ 100 g) | 65.391 \pm 1.93 |
| pH | 6.19 \pm 0.08 |
| a_w | 0.993 \pm 0.003 |
| Grasa (g grasa/ 100 g) | 12.48 \pm 3.47 |

Se llevó a cabo también la caracterización físico-química de muestras de salmón ahumado comercial, procedentes de dos lotes de producto diferentes, con el objetivo de establecer los valores de referencia del producto final. En la tabla 3 se muestran los valores de humedad, contenido

de cloruro sódico, a_w y grasa del salmón ahumado comercial. Los valores obtenidos son similares a los dados en otros estudios para muestras de salmón ahumado comercial de diferente procedencia (Cardinal et al., 2004; Fuentes et al., 2008).

Tabla 3. Parámetros físico-químicos del salmón ahumado comercial. Valores promedio \pm SD (n=3).

| | Lote 1 | Lote 2 |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Humedad (g agua/ 100 g) | 60.10 \pm 0.06 | 60.01 \pm 0.22 |
| %NaCl | 4.31 \pm 0.08 | 4.00 \pm 0.22 |
| a_w | 0.950 \pm 0.008 | 0.949 \pm 0.001 |
| Grasa (g grasa/ 100 g) | 11.43 \pm 0.63 | 12.36 \pm 0.94 |

No se observaron diferencias entre ambos lotes de muestras para los parámetros analizados (datos del ANOVA no mostrados). Sin embargo, diferentes estudios han señalado la importante variabilidad observada en este tipo de productos respecto a su contenido en humedad, sal y a_w (Truelstrup Hansen et al., 1998). Las diferencias encontradas en estos estudios podrían afectar tanto a la vida útil del producto como a sus características sensoriales. La ausencia de la variabilidad detectada en otros estudios estaría condicionada por la homogeneidad de la materia prima, debido a la utilización de pescado procedente de piscifactoría y la cercanía entre la adquisición de los lotes, que reduciría la variabilidad ocasionada por el efecto de la estacionalidad en la composición del músculo, típica en la mayoría de las especies de pescado (Espe et al., 2002; Mørkøre y Røvik, 2001).

El proceso de salado-ahumado, independientemente de las condiciones empleadas, provocó una reducción del contenido de agua y un aumento de la concentración de sal respecto al pescado fresco (figura 3). La incorporación de sal al músculo y la pérdida de agua provocarían el descenso significativo en los valores de a_w respecto al pescado fresco; este hecho, permite prolongar considerablemente la vida útil del producto ahumado. Tal y como cabría esperar, en todas las muestras procesadas, independientemente del tipo de envasado y humedad relativa empleada, al aumentar la dosificación de sal se observó un aumento significativo en el contenido de NaCl, con la consecuente reducción de los valores de a_w . Para un mismo nivel de dosificación de sal, el procedimiento de salado combinado con el envasado a vacío dio lugar a una mayor concentración de sal en el producto final comparado con el envasado en bolsas permeables al vapor de agua. El efecto del envasado a vacío sobre la penetración de sal en el músculo ha sido observado en otros estudios, donde el envasado a vacío durante el salado permitió acelerar el proceso y por tanto, reducir el tiempo de procesado de las muestras (Rizo et al., 2013).

Respecto al efecto de la humedad relativa establecida en la cámara de secado durante el proceso, hay que destacar que en las muestras envasadas en las bolsas permeables al vapor de agua, los valores de humedad y a_w disminuyeron conforme se emplearon humedades relativas más bajas. En este sentido, las muestras obtenidas utilizando un 50% de

humedad relativa presentaron, independientemente de la dosificación de sal utilizada, los menores valores de humedad y a_w . Es interesante destacar que la captación de sal por el músculo no se vio afectada por la humedad relativa utilizada durante el proceso; en este sentido, no se observaron diferencias significativas en el contenido de sal de las muestras saladas empleado las bolsas permeables al vapor de agua a diferentes niveles de humedad relativa. Las muestras de salmón ahumado obtenido utilizando un 70% de humedad relativa presentaron los mayores valores de a_w y humedad, no alcanzando los valores óptimos planteados en este estudio.

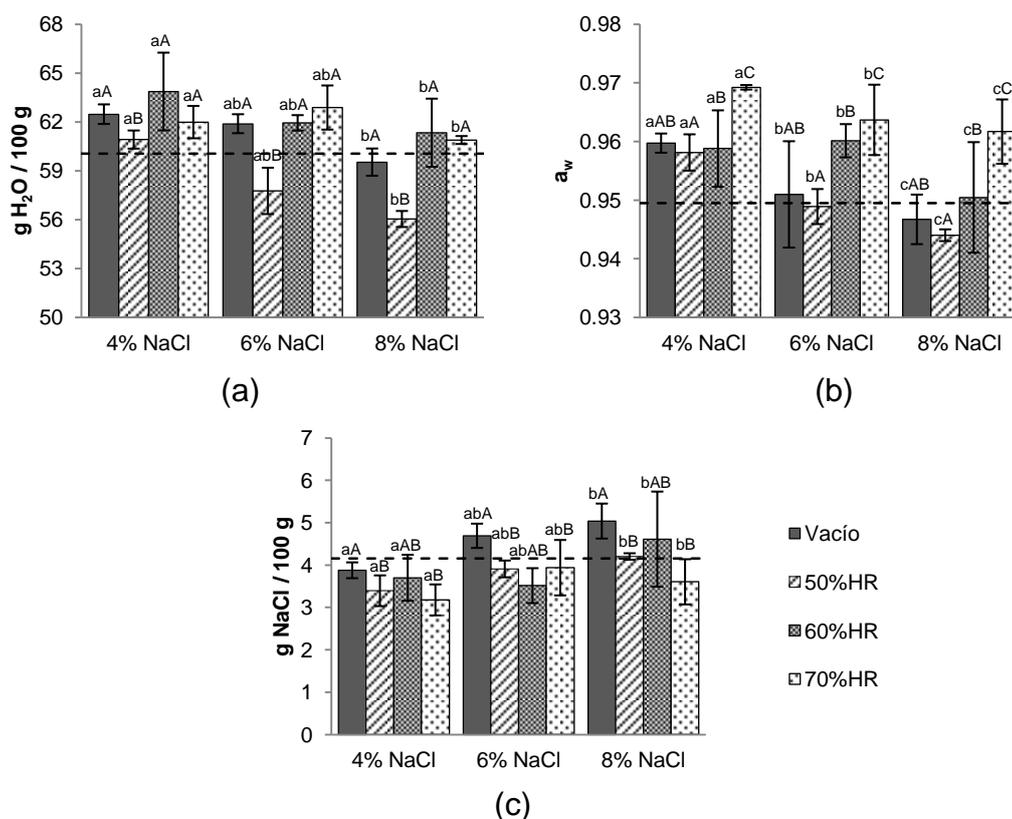


Figura 3. Parámetros fisicoquímicos de las muestras de salmón ahumado elaboradas combinando diferentes dosificaciones de sal (4, 6 y 8% NaCl) y diferentes condiciones de envasado (vacío y bolsas permeables al vapor de agua con 50%, 60% y 70% HR). Valores promedio \pm SD (n=3). La línea discontinua representa los valores del producto comercial. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas; las letras minúsculas corresponden al factor dosificación de sal y letras mayúsculas al factor condiciones de envasado.

Tal y como se observa en la figura 3, de los 3 niveles de sal empleados, las muestras saladas con una dosificación del 8% y saladas a una humedad relativa del 60% fueron las que más se aproximaron a los niveles de a_w , contenido en sal y humedad fijados como objetivo. Para este nivel de

dosificación de sal, no se observaron diferencias entre las humedades relativas del 60 y 70% respecto a los valores de humedad y concentración de sal de las muestras.

El proceso de salado provocó un descenso de los valores de pH de las muestras ahumadas respecto al salmón fresco excepto en las muestras saladas obtenidas utilizando un 70% de humedad relativa (tabla 4). El descenso en los valores de pH del músculo durante los procesos de salado se asocian al incremento en la fuerza iónica de la solución intracelular debido al efecto de la sal (Leroi y Joffraud, 2000); sin embargo, este efecto podría contrarrestarse por el aumento progresivo del pH del pescado durante el almacenamiento. Respecto al contenido lipídico, se observó cierta variabilidad entre las diferentes muestras, posiblemente asociada a la variabilidad inicial de las porciones de pescado utilizadas ya que, tal y como ha sido observado en otros estudios, la distribución del contenido lipídico en los filetes de pescado es muy heterogénea (Katikou et al., 2001).

La pérdida de peso (ΔM_i) en las muestras fue mayor conforme aumentó la dosificación de sal, y de manera más significativa conforme disminuyó la humedad relativa utilizada en el proceso de salado-ahumado. La pérdida de peso fue menor en las muestras saladas en las bolsas de vacío que en las muestras saladas en las bolsas permeables al vapor de agua, independientemente del nivel de sal considerado, como consecuencia de la deshidratación que sufren estas últimas durante el proceso debido a la permeabilidad de este tipo de bolsa.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos del salmón fresco (S=0) y de las muestras de salmón ahumado elaboradas combinando diferentes dosificaciones de sal (S) y condiciones de envasado (E). Valores promedio \pm SD (n=3). ΔM_i : variación de masa total, X^{NaCl} : razón másica de NaCl (g NaCl/g materia seca) y Z^{NaCl} : concentración de NaCl en fase líquida (g NaCl/g fase líquida).

| E | S (g sal/100g) | ΔM_i | % Grasa | pH | X^{NaCl} | Z^{NaCl} |
|-------|----------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| - | 0 | | 12.48 \pm 3.87 | 6.19 \pm 0.08 | 0.006 \pm 0.000 | 0.003 \pm 0.000 |
| Vacío | 4 | -0.032 \pm 0.003 ^{aA} | 10.84 \pm 0.56 ^{aAB} | 6.09 \pm 0.09 ^{aAB} | 0.104 \pm 0.005 ^{aA} | 0.058 \pm 0.003 ^{aA} |
| | 6 | -0.043 \pm 0.010 ^{bA} | 10.68 \pm 0.81 ^{aAB} | 6.11 \pm 0.14 ^{aAB} | 0.124 \pm 0.006 ^{aA} | 0.070 \pm 0.005 ^{bA} |
| | 8 | -0.053 \pm 0.006 ^{bA} | 12.92 \pm 1.22 ^{aAB} | 6.13 \pm 0.09 ^{aAB} | 0.125 \pm 0.008 ^{aA} | 0.078 \pm 0.007 ^{bA} |
| 50%HR | 4 | -0.094 \pm 0.003 ^{aB} | 12.73 \pm 0.43 ^{aA} | 6.13 \pm 0.03 ^{aA} | 0.085 \pm 0.010 ^{aB} | 0.053 \pm 0.006 ^{aAB} |
| | 6 | -0.095 \pm 0.004 ^{bB} | 13.22 \pm 0.05 ^{aA} | 6.17 \pm 0.03 ^{aA} | 0.091 \pm 0.001 ^{aB} | 0.064 \pm 0.005 ^{bAB} |
| | 8 | -0.107 \pm 0.006 ^{bB} | 16.56 \pm 1.59 ^{aA} | 6.17 \pm 0.04 ^{aA} | 0.096 \pm 0.001 ^{aB} | 0.070 \pm 0.002 ^{bAB} |
| 60%HR | 4 | -0.069 \pm 0.013 ^{aC} | 8.96 \pm 3.68 ^{aB} | 6.09 \pm 0.00 ^{aB} | 0.103 \pm 0.022 ^{aAB} | 0.055 \pm 0.006 ^{aB} |
| | 6 | -0.085 \pm 0.008 ^{bC} | 10.41 \pm 0.50 ^{aB} | 6.04 \pm 0.04 ^{aB} | 0.092 \pm 0.010 ^{aAB} | 0.054 \pm 0.006 ^{bB} |
| | 8 | -0.085 \pm 0.012 ^{bC} | 9.39 \pm 1.88 ^{aB} | 6.08 \pm 0.03 ^{aB} | 0.120 \pm 0.036 ^{aAB} | 0.070 \pm 0.014 ^{bB} |
| 70%HR | 4 | -0.056 \pm 0.011 ^{aD} | 12.20 \pm 1.90 ^{aAB} | 6.26 \pm 0.01 ^{aC} | 0.083 \pm 0.012 ^{aB} | 0.049 \pm 0.005 ^{aB} |
| | 6 | -0.067 \pm 0.012 ^{bD} | 10.75 \pm 1.90 ^{aAB} | 6.31 \pm 0.04 ^{aC} | 0.109 \pm 0.023 ^{aB} | 0.058 \pm 0.008 ^{bB} |
| | 8 | -0.069 \pm 0.004 ^{bD} | 12.80 \pm 0.56 ^{aAB} | 6.26 \pm 0.04 ^{aC} | 0.092 \pm 0.014 ^{aB} | 0.056 \pm 0.008 ^{bB} |

Letras diferentes dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias significativas. Letras minúsculas corresponden al factor dosificación de sal (S) y letras mayúsculas al factor condiciones de envasado (E).

Los resultados de los ANOVAs multifactor realizados para cada uno de los parámetros físico-químicos evaluados, tomando como factores la dosificación de sal y las condiciones de envasado, se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de F-ratio y nivel de significación, obtenidos en el ANOVA multifactor para las variables humedad, pH, a_w , % NaCl, razón másica de NaCl (X^{NaCl}), concentración de NaCl en fase líquida (Z^{NaCl}), variación de masa total (ΔM_t) y grasa, en función de los factores: nivel de sal (S) y condiciones de envasado (E).

| | S | E |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Humedad | 8.23 [*] | 10.40 ^{***} |
| pH | 0.39 ^{ns} | 38.07 ^{***} |
| a_w | 15.46 ^{**} | 16.47 ^{**} |
| % NaCl | 6.40 [*] | 4.60 ^{ns} |
| X^{NaCl} | 2.03 ^{ns} | 3.94 ^{ns} |
| Z^{NaCl} | 10.64 [*] | 5.73 [*] |
| ΔM_t | 17.97 ^{**} | 120.20 ^{***} |
| % Grasa | 2.38 ^{ns} | 5.52 [*] |

Nivel de significación: ns no hay diferencia significativa; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

El análisis estadístico mostró que la cantidad de sal dosificada afectó significativamente a los valores de humedad, a_w , contenido en sal y pérdida de peso (ΔM_t). Respecto a las condiciones de envasado, su efecto fue especialmente significativo en la variación de peso, tal y como se ha indicado anteriormente, debido a la mayor deshidratación que sufren las muestras envasadas en las bolsas permeables al vapor de agua durante el proceso de salado-ahumado.

Al finalizar el proceso de salado-ahumado, el exudado generado fue recogido y pesado. Los valores correspondientes a la cantidad de exudado generado se muestran en la figura 4. El líquido recogido en las bolsas correspondería a agua procedente del interior del músculo de pescado y parte de la sal dosificada y que no había sido absorbida por la muestra. Tal y como se muestra en la figura 4, en las muestras saladas empleando las bolsas permeables al vapor de agua y una humedad relativa del 50 y 60% no se detectó exudado, lo que indicaría que las bolsas empleadas permitieron la evaporación completa del agua liberada por el músculo durante el proceso; sin embargo, en las muestras procesadas a una humedad relativa del 70%, se formó cierta cantidad de exudado, siendo éste inferior al generado por las muestras envasadas a vacío. Respecto a las muestras saladas empleando el sistema de salado combinado con el envasado a vacío, tal y como cabría esperar, la cantidad de exudado aumentó al aumentar la cantidad de sal dosificada debido al efecto deshidratante de la sal. El hecho de que la utilización de estas bolsas permeables al vapor de agua permita la evaporación total del líquido generado durante el proceso, supone una importante ventaja de este tipo de procesado frente a los procesos utilizados actualmente en las industrias de salazones y conservas de pescado. Los residuos generados por este tipo de empresas son uno de los principales focos contaminantes de la industria de la alimentación. Las salmueras generadas suponen uno de los grandes problemas de este tipo de empresas

debido a su importante impacto medioambiental y la inversión que supone para las industrias la depuración y eliminación de este residuo.

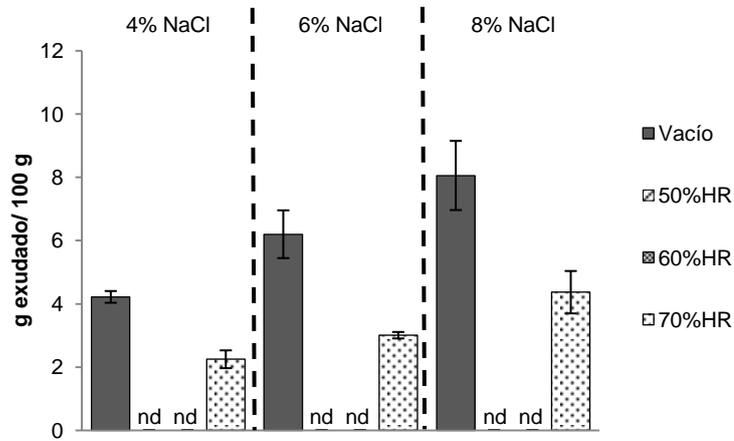


Figura 4. Porcentaje de exudado generado durante el proceso de salado-ahumado. nd: no detectado

3.2. Fase II. Evaluación sensorial del producto obtenido

Las muestras evaluadas fueron saladas empleando un nivel de dosificación de sal del 8% y estableciendo 3 humedades relativas diferentes (50, 60 y 70% HR). Con el objeto de confirmar si las muestras a evaluar presentaban valores de humedad, contenido en sal y a_w próximos a los valores de referencia se realizó una caracterización físico-química de las muestras de salmón ahumado. Todas las muestras analizadas presentaron valores para estos parámetros próximas al producto comercial. Las muestras obtenidas utilizando un 50% humedad relativa presentaron valores de humedad ligeramente inferior al resto de muestras, al igual que fue observado en la fase anterior del estudio, considerando estos valores dentro del rango de valores adecuado para este tipo de producto (Fuentes et al., 2011).

Los valores promedio de las puntuaciones que los catadores dieron a los atributos sensoriales evaluados para las diferentes muestras, se representan en el diagrama radial que se muestra en la figura 5.

No se observaron diferencias significativas entre las diferentes muestras para ninguno de los atributos evaluados (datos del ANOVA no mostrados). Las puntuaciones obtenidas en las categorías de sabor, olor y aceptación global fueron ligeramente mayores para el salmón ahumado comercial; sin embargo, la muestra comercial recibió una puntuación inferior en el atributo de color, siendo estas diferencias no significativas tal y como se ha comentado anteriormente.

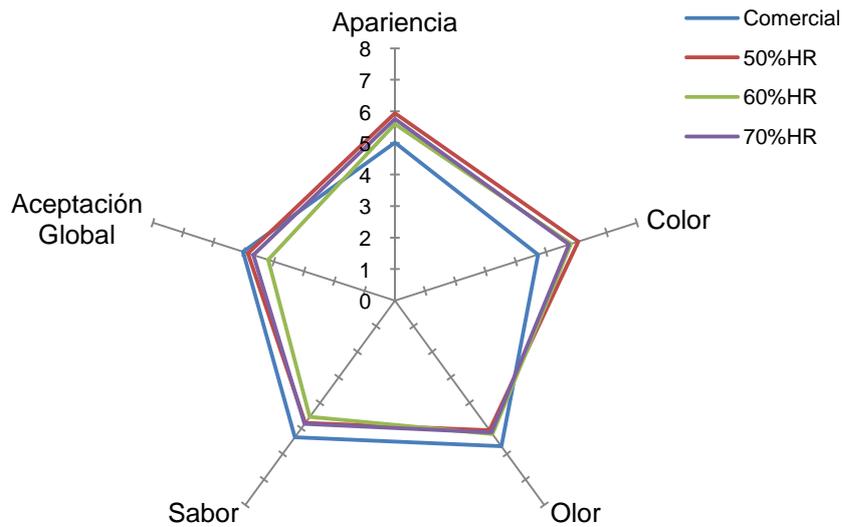


Figura 5. Representación de la media de las puntuaciones dadas por los catadores, para distintos atributos evaluados en muestras de salmón ahumado comercial, y salmón ahumado procesado en bolsas altamente permeables al vapor de agua con diferentes humedades relativas de secado (50%, 60% y 70%). 0: Muy desagradable, 4: Aceptable, 8: Muy agradable.

Los valores promedio de las puntuaciones que los catadores dieron a los atributos de intensidad de olor a humo e intensidad de salado, se muestran en la figura 6.

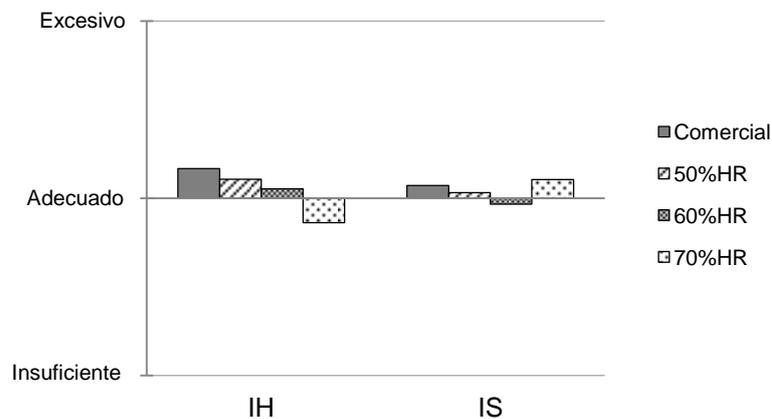


Figura 6. Representación de la media de las puntuaciones dadas por los catadores, para los atributos de "intensidad de olor a humo" (IH) e "intensidad de salado" (IS), evaluados en muestras de salmón ahumado comercial, y salmón ahumado procesado en bolsas altamente permeables al vapor de agua con diferentes humedades relativas de secado (50%, 60% y 70%).

Respecto a la intensidad de olor a humo, todas las muestras de salmón ahumado fueron evaluadas con puntuaciones muy cercanas al valor óptimo, no observándose diferencias significativas entre las diferentes muestras evaluadas (datos del ANOVA no mostrados). Las muestras de salmón obtenidas empleando una humedad relativa del 60% fueron las más próximas al valor de intensidad óptimo, mientras que las muestras comerciales seguidas de las muestras obtenidas utilizando una humedad relativa del 70% fueron las más alejadas del valor “adecuado”. Respecto a la intensidad de salado, tampoco se observaron diferencias significativas entre las muestras, siendo las muestras procesadas con una humedad relativa del 70% y las muestras comerciales las que recibieron una puntuación ligeramente más alejada del valor “adecuado”.

En general, no se observaron diferencias significativas para ninguno de los atributos evaluados en función de las condiciones de procesado empleadas, por lo que podría considerarse que los atributos sensoriales del salmón ahumado obtenido por el nuevo método fueron percibidos como similares a los del salmón ahumado comercial.

4. CONCLUSIONES

El procedimiento de salado combinado con el envasado a vacío dio lugar a una mayor concentración de sal en el producto final comparado con el envasado en bolsas permeables al vapor de agua. En las muestras envasadas en las bolsas permeables al vapor de agua, el descenso en la humedad relativa de la cámara provocó una mayor reducción de los valores de humedad y a_w . Sin embargo, la captación de sal no se vio afectada por la humedad relativa utilizada durante el proceso. Entre los niveles de sal empleados, las muestras saladas con una dosificación del 8% y una humedad relativa del 60% fueron las que más se aproximaron a los niveles de a_w , contenido en sal y humedad de las muestras comerciales.

La utilización de una humedad relativa del 50 y 60% permitió la evaporación completa del agua liberada por el músculo. En el salado combinado con el envasado a vacío se formó cierta cantidad de exudado, siendo este mayor cuanto mayor fue la cantidad de sal dosificada.

Los atributos sensoriales del salmón ahumado obtenido mediante este nuevo proceso fueron similares a los del producto comercial.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que esta metodología podría sustituir a los procedimientos tradicionales, ya que no altera las propiedades físico-químicas ni la aceptación del producto por parte del consumidor. La utilización de estas bolsas permeables al vapor de agua permite reducir el número de etapas de procesado y, por tanto, la manipulación del pescado a lo largo de la cadena de elaboración. Este hecho supone una ventaja importante desde el punto de vista higiénico sanitario. La reducción en la cantidad de sal empleada y la ausencia de salmuera residual supone otra ventaja de este tipo de procesado.

Los resultados del presente estudio suponen un gran avance en la mejora del proceso de ahumado; sin embargo, para poder extrapolar esta

nueva metodología a escala industrial serían necesarias nuevas experiencias para evaluar, entre otros aspectos, la vida útil del producto, el impacto medioambiental o la utilización de otras especies de pescado.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la empresa Tub-Ex ApS (Taars, Dinamarca) por el suministro de las bolsas permeables al vapor de agua y facilitar la información necesaria sobre su utilización.

Quiero dar las gracias a mis directoras de tesis, Isa y Ana, por su todo apoyo y colaboración; a Jose M. Barat por darme esta oportunidad; a mis compañeros, Lupita, María, Samu, Joel, y en especial a Arantxa por su enorme ayuda y dedicación. Gracias a mis padres por apoyarme desde el primer momento en todo lo que he hecho, y a todas las personas que siempre han confiado en mí.

6. REFERENCIAS

- AENOR (2006). Norma UNE EN-ISO 4121:2003. Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas. Madrid: AENOR.
- Ahnström, M.L., Seyfert, M., Hunt, M.C., Johnson, D.E. (2006). Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapor. *Meat Science*, **73(4)**: 674–679.
- AOAC (1997). Official Methods of analysis, 16th Ed. Association of Official Analytical chemists, Arlington, Virginia.
- Barat, J.M., Grau, R., Ibáñez, J.B., Fito, P. (2005). Post-salting studies in Spanish cured ham manufacturing. Time reduction by using brine–salting. *Meat Science*, **69(2)**: 201–208.
- Barat, J.M., Gallart-Jornet, L., Andrés, A., Akse, L., Carlehög, M., Skjerdal, O.T. (2006). Influence of cod freshness on the salting, drying and desalting stages. *Journal of Food Engineering*, **73**: 9-19.
- Cardinal, M., Gunnlaugsdottir, H., Bjoernevik, M., Ouisse, A., Vallet, J.L., Leroi, F. (2004). Sensory characteristics of cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) from European market and relationships with chemical, physical and microbiological measurements. *Food Research International*, **37**: 181–193.
- Chiralt, A., Fito, P., Barat, J.M., Andrés, A., González-Martínez, C., Escriche, I., Camacho, M.M. (2001). Use of Vacuum Impregnation in Food Salting Process. *Journal of Food Engineering*. **49**: 141-151.
- DeGeer S.L., Hunt M.C., Bratcher C.L., Crozier-Dodson B.A., Johnson D.E., Stika J.F. (2009). Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. *Meat Science*, **83**: 768–774.
- Duun, A.S., Rustad, T. (2008). Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets stored at 1.4 and 3.6 °C. *Food Chemistry*, **106(1)**: 122-131.
- Espe, M., Nortvedt, R., Lie, Ø., Hafsteinsson, H. (2001). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) as raw material for the smoking industry. I: Effect of different smoking methods on oxidation of lipids. *Food Chemistry*, **75**: 411-416.
- Espe, M., Nortvedt, R., Lie, Ø., Hafsteinsson, H. (2002). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) as raw material for the smoking industry. II: Effect of different smoking methods on losses of nutrients and on the oxidation of lipids. *Food Chemistry*, **77**: 41-46.
- Fernández-Segovia, I., Fuentes, A., Aliño, M., Masot, R., Alcañiz, M., Barat, J.M. (2012). Detection of frozen-thawed salmon (*Salmo salar*) by a rapid low-cost method. *Journal of Food Engineering*, **113**: 210-216.

- Fuentes, A. (2007). Desarrollo de productos ahumados a partir de lubina. (*Dicentrarchus labrax* L.). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Barat, J.M., Serra, J.A. (2008). Physicochemical characterization of some smoked and marinated fish products. *Journal of Food Processing and Preservation*, **34**: 83-103.
- Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Barat, J.M., Serra, J.A. (2010a). Influence of sodium replacement and packaging on quality and shelf life of smoked sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *LWT-Food Science and Technology*, **43**: 1426-1433.
- Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Serra, J.A., Barat, J.M. (2010b). Development of a smoked sea bass product with partial sodium replacement. *LWT-Food Science and Technology*, **43**: 1426-1433.
- Fuentes, A., Pérez, M.I., Fernández-Segovia, I., Barat, J.M. (2011). Mejora en el proceso de ahumado de salmón. VI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Valencia, Spain.
- Katikou, P., Hughes, S.I., Robb, D.H.F. (2001). Lipid distribution within Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Aquaculture*, **202**: 89-99.
- Jittinandana, S., Kenney, P.B., Slider, S.D., Kiser, R.A. (2002). Effect of brine concentration and brining time on quality of smoked rainbow trout fillets. *Journal of Food Science*, **67**: 2095-2099.
- 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.
- Medina, M., Cabeza, M.C., Bravo, D., Cambero, I., Montiel, R., Ordóñez, J.A., Núñez, M., Hoz, L. (2009). A comparison between E-bream irradiation and high pressure treatment for cold-smoked salmon sanitation: microbiological aspects. *Food Microbiology*, **26(2)**: 224-227.
- Mørkøre, T., Vallet, J.L., Cardinal, M., Gomez-Guillen, M.C., Montero, P., Torrissen, O.J., Nortvedt, R., Sigurgisladottir, S., Thomassen, M.S. (2001). Fat content and fillet shape of Atlantic salmon: Relevance for processing yield and quality of raw and smoked products. *Journal of Food Science*, **66(9)**: 1348-1354.
- Mørkøre, T., Rørvik, K.A. (2001). Seasonal variations in growth, feed utilisation and product quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to seawater as 0+ smolts or 1+ smolts. *Aquaculture*, **199**: 145–157.
- Rizo A., Fuentes A., Fernández-Segovia, I., Masot, R., Alcañiz, M. (2013). Development of a new salmon salting-smoking method and process monitoring by impedance spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*, **51**: 218-224.
- Rodrigues, M. J., Ho, P., López-Caballero, M. E., Bandarra, N. M., Nunes, M. L. (2005). Chemical, microbiological, and sensory quality of cod products salted in different brines. *Journal of Food Science*, **70(1)**: M1-M6.
- Røra, A.M.B., Kvale, A., Mørkøre, T., Rørvik, K.A., Steien, S.H., Thomassen, M.S. (1998). Process yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to raw material characteristics. *Food Research International*, **31**: 601–609.
- Røra, A. M. B., Furuhaug, R., Fjæra, S. O., Skjervold, P. O. (2004). Salt diffusion in pre-rigor filleted Atlantic salmon. *Aquaculture*, **232**: 255–263.
- Sigurgisladottir, S., Sigurgisladottir, M.S., Torrissen, O., Vallet, J.L., Hafsteinnsson, H. (2000). Effects of different salting and smoking processes on the microstructure, the texture and yield of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Food Research International*, **33**: 847-8.
- Thorarinsdottir, K.A., Aarson, S., Thorkelsson, G., Sigurgisladottir, S., Tornberg, E. (2010). The Effects of Presalting Methods from Injection to Pickling, on the Yields of Heavily Salted Cod (*Gadus morhua*). *Journal of Food Science*, **75(8)**: E544-E551.
- Truelstrup Hansen, L., Drewes Ronved, S., Huss, H.H. (1998). Microbiological quality and shelf-life of cold-smoked salmon from three different processing plants. *Food Microbiology*, **15**: 137-150.
- Wang, D., Correia, L.R. Tang, J. (1998). Modelling of salt diffusion in Atlantic salmon muscle. *Canadian agricultural engineering* **40(1)**: 29-34