

MODELACIÓN DEL SALADO Y AHUMADO DE BAGRE (*Bagre marinus*)

MODELING SALTING AND SMOKING OF CATFISH (*Bagre marinus*)

Otoniel Corzo ^{1*}, Jaime Rodríguez ² y José Miguel Chirinos ²

¹Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Oriente. Guatamare. Venezuela. Fax: 0295-4006571. otocorzo@cantv.net. ²Programa de Ingeniería Pesquera. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Punto Fijo. Venezuela.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue modelar las características físico químicas y sensoriales del salado y ahumado de trozos de bagre (*Bagre marinus*), en función de las condiciones del proceso. Para ello, los trozos pesados (n = 243) se salaron en salmuera de diferentes concentraciones (14; 18 y 22% NaCl) por distintos tiempos (90; 150 y 210 min) y luego se ahumaron a diferentes temperaturas (60; 70 y 80°C) y por distintos tiempos (250; 300 y 350 min). A los trozos ahumados se les determinó la actividad de agua, contenido de agua, contenido de sal, peso final, y preferencia por color, olor, sabor y textura. Los datos obtenidos se ajustaron a modelos matemáticos utilizando regresión lineal múltiple que explicaron entre 85,3 y 99,1% de la variabilidad de las respuestas estudiadas, y también permitieron analizar los efectos de los factores del proceso total. Los modelos ajustados permiten determinar las condiciones del proceso requeridas para lograr un producto con características deseadas.

Palabras clave: Contenido de agua, rendimiento, sabor, textura.

ABSTRACT

The aim of this study was modeling the physical, chemical and sensorial characteristics of pieces salted and smoked catfish (*Bagre marinus*), in function of process conditions. In order to, the pieces were salted (n = 243) in brine with concentrations (14, 18 and 22% NaCl) for different times (90, 150 and 210 min) and then, were smoked at different temperatures (60, 70 and 80°C) for different times (250, 300 and 350 min). Water activity, water content, salt content, final weight, and preference for color, odor, flavor and texture were determined in the

smoked pieces. The data were fitted to mathematical models using multiple linear regression that explained between 85.3 and 99.1% the variability of the studied responses, and also allow to analyze the effects of the factors in the overall process. Fitted models allow to determining the process conditions required to achieve a product with desired characteristics.

Key words: Water content, yield, taste, texture.

INTRODUCCIÓN

El ahumado es una técnica tradicional de preservación de alimentos que combina los efectos del salado, impregnación de los componentes del humo y secado [11]. Con este proceso se logran, tanto las características de sabor y color que son apreciadas por el consumidor, como la apariencia de un producto natural afectado por un mínimo procesamiento y el bajo contenido de sal. En el salado con salmueras se generan simultáneamente dos flujos: sal que se difunde desde la salmuera hacia el pescado y agua que se difunde desde el pescado hacia la salmuera, debido a las diferencias en concentración y presión osmótica entre las células internas del pescado y la salmuera [21]. La pérdida de agua y la ganancia de sal en el pescado influyen en su textura [22]. El ahumado es una forma de ofrecer productos diversificados de alto valor agregado como una opción de mercadeo adicional para pescado cuyo consumo fresco está limitado a la sobrepesca [14]. Por otro lado, el ahumado agrega algunos componentes volátiles al alimento que inhiben el crecimiento microbiano y le dan un sabor específico al producto [2, 15, 18]. Es por ello que, el salmón (*Salmo salar*) salado en seco o salado en seco con adición de azúcar y luego tratado con humo líquido es preferido sensorialmente, comparado con el salmón salado en salmuera, y además el tratamiento retarda el período de incremento de trimetil amina durante el almacenamiento [17]. Los

efectos producidos por los diferentes factores de un proceso se pueden cuantificar, modelando matemáticamente el tratamiento. La modelación busca desarrollar ecuaciones o modelos matemáticos que, expliquen las relaciones existentes entre los factores y las variables respuesta de un proceso, y permitan determinar las condiciones adecuadas para que el producto final tenga las características físico químicas y sensoriales deseadas, y finalmente optimizarlas. El bagre (*Bagre marinus*) es una especie abundante en Venezuela en algunas áreas de la región nororiental y se lo utiliza fresco o salado como ingrediente principal en la elaboración de sopas y guisos. En Venezuela, para el año 2008, se reportaron capturas de bagre por el orden de los 2.147.509,42 kg [16]. El salado y ahumado de este pescado podrían darle un valor agregado que permitiría una mejor preservación y comercialización. El objetivo de este estudio fue modelar las características físico químicas y sensoriales del salado y ahumado de trozos de bagre, en función de las condiciones del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diez bagres se obtuvieron de las pesquerías de Carirubana, estado Falcón, Venezuela. Los especímenes se filetearon manualmente con cuchillos de acero inoxidable y luego se cortaron trozos ($n = 249$) con una longitud promedio de 8,0 cm, ancho promedio de 5,0 cm y espesor promedio de 1,0 cm usando un molde metálico. Se determinó el peso de cada lámina utilizando una balanza Sartorius, AZ3102 Sartorius Mechatronics, EUA. El peso promedio de los trozos fue de 56 g. Para caracterizar la carne fresca se utilizaron seis trozos en los cuales se determinaron los contenidos de humedad según la norma venezolana COVENIN: 1120-97 [8], contenido de sal siguiendo la norma venezolana COVENIN: 1223-02 [10], cenizas de acuerdo con la norma venezolana COVENIN: 1220-99 [9], pH según la norma venezolana COVENIN: 11315-79 [3], y la actividad de agua (Aw) utilizando un medidor de actividad de agua Aqualab, CX3 Decagon Devices, Inc. Pullman, WA. EUA.

Salado

El salado de los trozos de bagre se efectuó en salmueras de diferente concentración y durante distintos tiempos, tal como se especifican en la TABLA I. Las salmueras se prepararon utilizando sal comercial (NaCl) adquirida en un mercado local. Para cada condición de concentración de la salmuera, tiempo de salado, temperatura y tiempo de ahumado se utilizaron tres trozos de pescado previamente pesados individualmente, que se introdujeron en la salmuera en proporción 1:1 (P/V) de pescado a salmuera.

Ahumado

Una vez logrado el salado de los trozos de pescado, se aplicó el ahumado utilizando madera de samán en un ahumador Seydelmann, RR 964, Maschinenfabrik Seydelmann, Aa-

len, Alemania, a las condiciones de temperatura y tiempo especificadas en la TABLA I. El flujo de humo fue de 0,5 m/s. Después del ahumado, los trozos se empacaron al vacío en una empacadora Oster, 2040, Sunbeam Products, Inc., EUA, y refrigeraron en una nevera Frigidaire, FPUS2698LF, Frigidaire, Canadá, para realizar posteriormente la medición de peso, contenido de humedad, contenido de sal y actividad de agua. Igualmente se realizó el recuento de coliformes totales, coliformes fecales, y *Escherichia coli* siguiendo la norma venezolana COVENIN: 1104-84 [7], aerobios mesófilos según la norma venezolana COVENIN: 902-87 [4] y *Staphylococcus aureus* de acuerdo con la norma venezolana COVENIN: 1292-89 [5], con el fin de evaluar la calidad microbiológica de las muestras saladas y ahumadas. Finalmente se efectuó un análisis sensorial para determinar la preferencia por olor, color, sabor y textura de los productos resultantes.

El rendimiento del proceso total se calculó según la ecuación:

$$R = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Evaluación sensorial

Los trozos se sacaron del refrigerador, se dejaron a temperatura ambiente por dos horas, luego se introdujeron en un horno microondas LG, MJ3281BP, LG Electronics, España, a 100°C durante 3 min e inmediatamente se evaluaron sensorialmente por medio de 25 panelistas conformados por estudiantes y empleados de la Universidad Experimental Francisco de Miranda, Edo. Falcón, Venezuela. La evaluación se efectuó en un cuarto iluminado con luz fluorescente. Las muestras cocidas se cortaron en pequeños trozos y se sirvieron en platos de plástico blancos codificados con tres dígitos. El pescado ahumado se evaluó por preferencia de olor, color, sabor y textura, utilizando una escala descriptiva de 5 puntos (1 = me disgusta extremadamente; 2 = me disgusta, 3 = ni me gusta ni me disgusta; 4 = me gusta, 5 = me gusta extremadamente). Esos atributos fueron seleccionados como los más representativos e importantes para la industria y los consumidores [22].

Diseño experimental

Los procesos de salado y ahumado se efectuaron a las condiciones correspondientes según un diseño experimental factorial 2^3 y un punto central. La concentración de la salmuera, tiempo de salado, temperatura de ahumado y tiempo de ahumado tenían dos niveles, cuya forma codificada se definió arbitrariamente como 1 y -1. Para cada condición de salado y ahumado se realizaron tres réplicas.

Análisis estadístico

La significancia de los efectos de los diferentes factores de salado y ahumado sobre las variables respuesta Aw, contenido de agua, contenido de sal, rendimiento, preferencia por

olor, color, sabor y textura se determinó mediante el análisis de varianza múltiple (ANOVA). En los casos en los cuales había efectos significativos ($P < 0,05$) se evaluaron los valores medios, mediante el análisis de mínimas diferencias significativas (LSD). Para la obtención de los modelos se aplicó la regresión lineal múltiple, previa comprobación de las premisas de normalidad, independencia y homocedasticidad de los residuales. Los efectos de los factores en estudio se consideraron estadísticamente significantes a un nivel de probabilidad menor de 0,05. La bondad de cada ajuste del modelo se evaluó considerando el coeficiente de determinación (R^2). Todos los análisis se efectuaron utilizando el paquete estadístico Statgraphics 5,1 [23].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las muestras

De acuerdo con los análisis de las características físico químicas, la carne fresca tiene muy bajo contenido de NaCl (0,39%), pH de 6,23, alto contenido de agua (80,66%), cenizas 1,24% y alto valor de A_w (0,997), lo cual la hace muy susceptible a su deterioro microbiológico en corto tiempo. Sometiendo el pescado al proceso estudiado, el producto final será más estable almacenado a temperaturas de refrigeración y con mejores propiedades organolépticas, como resultado de la deshidratación y salado, y de la impregnación de los componentes del humo [11].

Variación de las variables respuesta

No se encontraron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) en la preferencia por olor ni por color en las muestras saladas y ahumadas en las diferentes condiciones estudiadas, por lo tanto al no haber variación en esas variables respuesta, no se pueden obtener modelos matemáticos para ellas. Las observaciones correspondientes a las variables respuesta que sí fueron afectadas por la concentración de la salmuera, el tiempo

de salado, la temperatura de ahumado y el tiempo de ahumado y que constituyen el perfil del producto, se presentan en la TABLA I. Se puede observar que los valores de la actividad de agua ($0,723 \leq A_w \leq 0,849$) y contenido de agua ($0,3597 \text{ g agua/g} \leq X_w \leq 0,6444 \text{ g agua/g}$) obtenidos en los diferentes trozos procesados, son menores a los de las muestras sin procesar, mientras que los valores del contenido de sal ($0,0374 \text{ g NaCl/g} \leq X_s \leq 0,0677 \text{ g NaCl/g}$) son mayores, tal como era de esperarse. Estas características físico químicas indican que, los trozos procesados tendrán una mayor vida útil que las carne sin procesar. El rendimiento del proceso varió entre 45,95 y 63,96 % indicando un proceso rentable a las condiciones estudiadas. En general se puede ver que, los productos obtuvieron una evaluación sensorial correspondiente a ni me gustan ni me disgustan. La mayor preferencia por sabor (3,5) y textura (4,1) correspondió a los trozos salados en salmuera al 14 %NaCl por 210 min y ahumados a 80°C durante 350 min; estos trozos presentaron bajo valor de A_w (0,752) y alto contenido de sal (0,0677 g NaC/g).

El Anova mostró que las variables respuesta estaban afectadas ($P < 0,05$) por los efectos principales de los factores estudiados y las interacciones. Salando a una concentración constante de la salmuera, el aumento en el tiempo de salado disminuyó ($P < 0,05$) la actividad de agua e incrementó ($P < 0,05$) las demás variables respuesta. A un tiempo constante de salado, la actividad de agua y la aceptación por sabor disminuyeron ($P < 0,05$) al aumentar la concentración de la salmuera, mientras que el contenido de sal y el rendimiento se incrementaron ($P < 0,05$). Al ahumar a una temperatura constante, el incremento del tiempo disminuyó ($P < 0,05$) el contenido de agua, el rendimiento y la aceptación por textura, pero aumentó ($P < 0,05$) el contenido de sal y la aceptación por sabor. Para un tiempo constante de ahumado, el aumento en la temperatura produjo una disminución ($P < 0,05$) en la actividad de agua, contenido de agua y aceptación por sabor, y un incremento ($P < 0,05$) en el contenido de sal y la aceptación por sabor. Estos resultados indican que, las interacciones entre las condi-

TABLA I
VALORES PROMEDIO OBSERVADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD (X_w), CONTENIDO DE SAL (X_s), RENDIMIENTO (R), PREFERENCIA POR SABOR (S_a) Y PREFERENCIA POR TEXTURA (T_{ex}) A DIFERENTES CONDICIONES DE SALADO Y AHUMADO

C (% NaCl)	ts (min)	Ta (°C)	ta (min)	A_w	X_w	X_s	R	S_a	T_{ex}
22(1)	210(1)	60(-1)	350(1)	0,751	0,4689	0,0452	56,17	2,8	3,0
22(1)	210(1)	80(1)	250(-1)	0,783	0,5416	0,0526	63,96	2,8	3,2
22(1)	90(-1)	60(-1)	350(1)	0,773	0,5212	0,0492	55,06	2,8	3,0
14(-1)	90(-1)	60(-1)	250(-1)	0,842	0,6444	0,0471	60,19	3,1	3,3
14(-1)	90(-1)	80(1)	350(1)	0,723	0,3597	0,0622	45,95	2,8	3,0
22(1)	90(-1)	80(1)	250(-1)	0,787	0,5792	0,0374	60,14	2,9	3,2
14(-1)	210(1)	80(1)	350(1)	0,752	0,4569	0,0677	46,69	3,5	4,1
14(-1)	210(1)	60(-1)	250(-1)	0,849	0,5770	0,0458	60,02	2,9	3,5
18(0)	150(0)	70(0)	300(0)	0,839	0,5366	0,0566	57,23	3,8	3,6

C: concentración de salmuera, ts: tiempo de salado; Ta: temperatura de ahumado; ta: tiempo de ahumado.

ciones del salado y las del ahumado afectan las características del producto procesado y por lo tanto, la modelación del comportamiento de cada variable respuesta en función de los factores del procesamiento ayudaría a evaluar estos efectos.

Las diferentes muestras ahumadas presentaron un recuento de coliformes totales menor de 3 NMP/100g, aerobios mesófilos menor de 10 UFC/g, *Staphylococcus aureus* menor de 10 UFC/g, y ausencia de coliformes fecales y *E. coli*. Estos resultados indican una buena calidad microbiológica de los trozos procesados y una inocuidad de las muestras al momento de realizar su evaluación sensorial, al comparar los valores con los requisitos establecidos por la norma COVENIN 2394-94 [6] para pescado salado, seco y seco salado, ya que no existe norma para pescado ahumado.

La disminución del contenido de agua y del A_w , y el aumento del contenido de sal mediante el proceso de salado, aunado a la impregnación de componentes químicos, tales como aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos, hidrocarburos, ésteres, fenoles, éteres, etc. [15, 20] retarda la acción de las bacterias y enzimas, y alarga la vida útil del producto resultante. La presencia de NaCl en el pescado ahumado no solo contribuye al incremento de su vida útil, sino que también influye en su capacidad de retención de agua, color, sabor y textura [11, 17]. El estado de las proteínas en el músculo está relacionado principalmente a la concentración de sal en su fase acuosa [1]. Este comportamiento es explicado por la interacción sal-proteína que causa la desnaturalización de las proteínas, dado que las proteínas miofibrilares pierden agua rápidamente debido al proceso terminando en cambios de su textura y capacidad de retención de agua [12]. El ahumado además cambia el sabor, textura y estructura del pescado, creando un producto con un característico sabor que influye en la aceptación por parte del consumidor [17].

Modelación de las variables respuesta

En la TABLA II se presentan los coeficientes de los diferentes efectos de los factores, en los modelos correspondientes a cada variable respuesta. Los modelos ajustados explicaron el 99,1; 92,3, 96,2, 85,3, 92,2 y 92,3% de la variabilidad de la actividad de A_w , X_w , X_s , R , S_a y T_{ex} , respectivamente, con un 95% de nivel de confianza. El estadístico Durbin-Watson [19] no es significativo, por lo tanto no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%. Los diferentes análisis de los residuales mostraron: 1) líneas rectas en los gráficos de probabilidad normal, por lo que es razonable considerar que los errores observados provienen de una distribución normal; 2) residuales estandarizados variando aleatoriamente alrededor de cero sin tendencias o formas en los gráficos de residuales versus los valores ajustados de cada variable respuesta; por lo tanto, la homocedasticidad de los errores fue satisfecha. Esto sugiere que los modelos obtenidos son adecuados para explicar la variación de las características físico químicas y sensoriales de los trozos de bagre, durante el salado con salmueras entre 14 y 18% NaCl y tiempos entre 90 y 210 min, seguido del ahumado a temperaturas entre 60 y 80°C con tiempos entre 250 y 350 min. Se tiene así, una herramienta matemática que permitirá analizar el proceso y determinar las condiciones óptimas para lograr una mayor eficiencia y un producto de alta aceptación por parte del consumidor.

Son pocos los estudios de modelación relativos al salado y ahumado, como procesos separados o complementarios. En la elaboración de carne de cerdo (*Sus scrofa domestica*) tipo "boucané", se obtuvieron ecuaciones matemáticas que explicaron entre 89 y 99% la variación de la pérdida de agua, ganancia de sal, ganancia de azúcar, A_w y color, en función de la concentración de glucosa, temperatura y concentración de humo lí-

TABLA II
RESÚMEN DE LA REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE Y ANOVA PARA VALORES CODIFICADOS DE LOS FACTORES DEL PROCESO

Coefficiente	A_w	Contenido humedad	Contenido sal	Rendimiento	Sabor	Textura
β_0	0,782**	53,860**	5,974**	65,709**	3,701**	3,613**
β_1	-0,022**	-3,597**	0,408**	-3,519**	0,054**	-0,090**
β_2	-0,012**	1,081*	-0,482**	5,380**	-0,129**	-0,210**
β_3	-0,035**	-6,523**	0,517**	-9,677**	ns	-0,135**
β_4	ns	ns	0,191**	ns	ns	0,122**
β_{14}	0,007**	2,071**	0,324**	ns	0,083**	-0,082**
β_{24}	-0,005**	-1,327*	0,0875*	ns	-0,063*	-0,072**
β_{34}	0,002*	2,042**	-0,156**	ns	0,144**	-0,153**
β_{22}	0,004*	-1,830*	-0,885**	ns	-0,759**	-0,337**
R^2	0,991	0,923	0,962	0,853	0,922	0,923
Durbin-Watson	2,540 ^{ns}	2,772 ^{ns}	2,624 ^{ns}	1,738 ^{ns}	1,839 ^{ns}	2,356 ^{ns}

β_0 : constante. $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 : coeficientes lineales de la regresión de temperatura de ahumado, concentración de salmuera, tiempo de salado y tiempo de ahumado, respectivamente. $\beta_{14}, \beta_{24}, \beta_{34}$ y β_{34} : coeficientes de interacción de la regresión. β_{22} : coeficiente cuadrático de la regresión correspondiente a la concentración de la salmuera. *, ** Significante a $P < 0,05$ y $P < 0,001$, respectivamente, ^{ns} no significativo a $P > 0,05$.

quido [20]. Estos porcentajes son similares a los obtenidos en el presente estudio. Por otra parte, se determinó la cinética de salado (tasa de ganancia de sal) y de ahumado en frío (tasa de deposición de fenol) de sardina (*Sardina pilchardus*) y lampuga (*Coryphaena hippurus*), considerando el tamaño y el grosor de la piel que diferencian estos dos pescados [13].

Los diferentes efectos de la temperatura de ahumado (T_a), concentración de la salmuera (C), tiempo de salado (t_s) y tiempo de ahumado (t_a), sobre cada variable respuesta fueron analizados considerando los correspondientes modelos ajustados con los factores codificados.

Actividad de agua. El modelo ajustado corresponde a:

$$A_w = 0,782 - 0,022 T_a - 0,012 C - 0,035 t_s + 0,007 T_a t_a - 0,005 C t_a + 0,002 t_a t_s + 0,004 C^2 \quad (2)$$

Considerando los coeficientes de la ecuación, se tiene que el mayor efecto negativo sobre el valor de A_w corresponde al tiempo de salado seguido de la temperatura del ahumado y de la concentración de la salmuera; la interacción temperatura-tiempo de ahumado tiene mayor efecto positivo sobre el valor de A_w que la de tiempo de salado-tiempo de ahumado, mientras que la interacción salmuera-tiempo de ahumado tiene efecto negativo. El cuadrado de la concentración de la salmuera tiene efecto positivo sobre A_w .

Contenido de humedad. El modelo ajustado corresponde a:

$$X_w = 53,860 - 3,597 T_a + 1,081 C - 6,523 t_s + 2,071 T_a t_a - 1,327 C t_a + 2,042 t_s t_a - 1,830 C^2 \quad (3)$$

En él se observa que, el tiempo de salado tiene mayor efecto negativo sobre el valor de X_w seguido de la temperatura del ahumado, el cuadrado de la concentración de la salmuera y la interacción concentración salmuera-tiempo de ahumado. La interacción temperatura-tiempo de ahumado tiene mayor efecto positivo sobre el valor de X_w que la de tiempo de salado-tiempo de ahumado, seguido de la concentración de la salmuera.

Contenido de sal. El modelo ajustado corresponde a:

$$X_s = 5,974 + 0,408 T_a - 0,482 C + 0,517 t_s + 0,191 t_a + 0,324 T_a t_a + 0,0875 C t_a - 0,156 t_s t_a - 0,885 C^2 \quad (4)$$

Se tiene que el mayor efecto positivo sobre el valor de X_s corresponde al tiempo de salado seguido de la temperatura del ahumado y del tiempo de ahumado, mientras que la concentración de la salmuera afecta negativamente; la interacción temperatura-tiempo de ahumado tiene mayor efecto positivo sobre el valor de X_s que la de concentración de la salmuera-tiempo de ahumado, mientras que la interacción entre los tiempos de salado y de ahumado tiene efecto negativo. El cuadrado de la concentración de la salmuera tiene efecto negativo sobre X_s .

Rendimiento. El modelo ajustado corresponde a:

$$R = 65,709 - 3,519 T_a + 5,380 C - 9,677 t_s \quad (5)$$

De acuerdo con los coeficientes del modelo, el tiempo de salado tiene mayor efecto negativo sobre el valor de R que la temperatura del ahumado, mientras que la concentración de la salmuera tiene efecto positivo. No hay efectos de las interacciones entre los factores ni del cuadrado de la concentración de la salmuera.

Preferencia por sabor. El modelo ajustado corresponde a:

$$S_a = 3,071 + 0,054 T_a - 0,129 C + 0,083 T_a t_a - 0,063 C t_a + 0,144 t_s t_a - 0,759 C^2 \quad (6)$$

La preferencia por sabor aumenta principalmente por la interacción entre los tiempos de salado y ahumado seguida por la de temperatura de ahumado-tiempo de ahumado y la temperatura del ahumado. El cuadrado de la concentración de la salmuera tiene mayor efecto negativo sobre S_a que la concentración de la salmuera y la interacción concentración de la salmuera-tiempo de ahumado.

Preferencia por textura. El modelo ajustado corresponde a:

$$T_{ex} = 3,613 - 0,090 T_a - 0,210 C - 0,135 t_s + 0,122 t_a - 0,082 T_a t_a - 0,072 C t_a - 0,153 t_s t_a - 0,337 C^2 \quad (7)$$

Considerando los coeficientes del modelo, se tiene que el mayor efecto negativo sobre el valor de T_{ex} corresponde a la concentración de la salmuera seguido del tiempo de salado y de la temperatura del ahumado, mientras que el tiempo de ahumado tiene efecto positivo; la interacción entre los tiempos de salado y de ahumado tiene el mayor efecto negativo sobre el valor de T_{ex} seguida de las de temperatura de ahumado-tiempo de ahumado y concentración de la salmuera-tiempo de ahumado. El cuadrado de la concentración de la salmuera tiene efecto negativo sobre T_{ex} .

CONCLUSIONES

A las condiciones estudiadas del proceso, se obtuvieron valores del contenido de agua entre 0,3597 g agua/g y 0,6444 g agua/g, actividad de agua desde 0,723 a 0,849 y contenido de sal entre 0,0374 g NaCl/g y 0,0677 g NaCl/g. El rendimiento del proceso varió entre 45,95 y 63,96 % indicando un proceso rentable. Las aceptaciones por sabor y textura obtuvieron una evaluación sensorial correspondiente a ni me gustan ni me disgustan. Con el salado en salmuera al 14 %NaCl por 210 min y ahumado a 80 °C durante 350 min, los trozos de bagre obtuvieron la mayor preferencia por sabor (3,5) y textura (4,1) y además presentaron bajo valor de A_w (0,752), y alto contenido de sal (0,0677 g NaCl/g).

Mediante la aplicación de la regresión lineal múltiple se obtuvieron modelos que explicaron entre 85,3 y 99,1% la variabilidad de las características físico químicas y sensoriales de los trozos de bagre salado y ahumado, en función de la concentración de la salmuera, el tiempo de salado, la temperatura de ahumado y el tiempo de ahumado. Dichos modelos permiten determinar igualmente, las condiciones del proceso para lograr una característica deseada del producto final. Si se desea obtener simultáneamente dos o más características, se hace necesaria una investigación posterior para optimizar las condiciones de proceso, aplicando la metodología de las superficies de respuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARAT, J.M.; RODRIGUEZ-BARONA, S.; ANDRES, A.; FITO, P. Influence of increasing brine concentration in the cod salting process. **J. Food Sci.** 65(7): 1922–1925. 2002.
- [2] BORTOLOMEAZZI, R.; SEBASTIANUTTO, N.; TONIOLO, R.; PIZZARIELO, A. Comparative evaluation of the antioxidant capacity of smoke flavouring phenols by crocin bleaching inhibition, DPPH radical scavenging and oxidation potential. **Food Chem.** 100: 1281-1489. 2007.
- [3] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1315-79. Alimentos. Determinación del pH. (Acidez iónica). Pp 1-7. 1979.
- [4] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 902-87. Método para recuento de colonias de bacterias aerobias en placas de petri (Segunda revisión). Pp 1-8. 1987
- [5] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1292-89. Alimentos. Aislamiento y recuento de *Staphylococcus aureus*. (Primera revisión). Pp 1-16. 1989.
- [6] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 2394-94. Pescado salado, seco y seco salado. Pp 1-6 1994.
- [7] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1104-84. Determinación del número más probable de coliformes, coliformes fecales y de *Escherichia coli*. (Segunda revisión). Pp 1-15 1996.
- [8] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1120-97. Carne y productos cárnicos. Determinación de humedad. (Segunda revisión). Pp 1-7 1997.
- [9] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1220-99. Carne y productos cárnicos. Determinación del contenido total de cenizas. (Segunda revisión). Pp 1-7 1999.
- [10] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1223-02. Carne y productos cárnicos. Determinación del contenido de sal. Pp 1-12 2002.
- [11] FUENTES, A.; FERNÁNDEZ-SEGOVIA, I., SERRA, J.A., BARAT, J.M. Development of a smoked sea bass product with partial sodium replacement. **LWT-Food Sci. Technol.** 43: 1426-1433. 2010.
- [12] GALLART-JORNET, L.; BARAT, J.M.; RUSTAD, T.; ERIKSON, U.; ESCRICHE, I.; FITO, P. Influence of brine concentration on Atlantic salmon fillet salting. **J. Food Eng.** 80: 267–275. 2007.
- [13] GÓMEZ-ESTACA, J.; GÓMEZ-GUILLÉN, M.C., MONTERO, P.; SOPELANA, P.; GUILLÉN, M.D. Oxidative stability, volatile components and polycyclic aromatic hydrocarbons of cold-smoked sardine (*Sardina pilchardus*) and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). **LWT - Food Sci. Technol.** 44: 1517-1524. 2011.
- [14] GÓMEZ-GUILLÉN, M.C.; GÓMEZ-ESTACA, J.; GIMÉNEZ, B.; MONTERO, P. Alternative fish species for cold-smoking process. **Int. J. Food Sci. Technol.** 44: 1525-1535. 2009.
- [15] GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J.; IBARGOTITA, M. L. Carbohydrate and nitrogenated compounds in liquid smoke flavorings. **J. Agric. Food Chem.** 49: 2395-2403. 2001.
- [16] INSTITUTO SOCIALISTA DE PESCA Y AGRICULTURA (INSOPESCA). Producción pesquera marítima. 2012. Caracas. Venezuela. En Línea. <http://www.insopesca.gob.ve>. 02/05/2012.
- [17] MARTINEZ, O.; SALMERÓN, J.; GUILLÉN, M. D.; PIN, C.; CASAS, C. Physicochemical, sensorial and textural characteristics of liquid-smoked salmon (*Salmo salar*) as affected by salting treatment and sugar addition. **Int. J. Food Sci. Technol.** 47(5): 1086-1096. 2012.
- [18] MONTERO, P.; GÓMEZ-ESTACA, J.; GÓMEZ-GUILLÉN, M.C. Influence of salt, smoke, and high pressure on growth of *Listeria monocytogenes* and spoilage microflora in cold-smoked dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). **J. Food Prot.** 70: 377-404. 2007.
- [19] MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. Regression analysis of time series data. **Introduction to Linear Regression Analysis**. Chapter 14. 5th Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. Pp 475-480 2012.

- [20] POLIGNÉ, I.; COLLIGNAN, A.; TRYSTRAM, G. Characterization of traditional processing of pork meat into boucané. **Meat Sci.** 59(4): 377–389. 2001.
- [21] RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends Food Sci. Technol.** 5:255–260. 1994.
- [22] RODRIGUES, M. J.; HO, P.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; BANDARRA, N. M.; NUNES, M. L. Chemical, microbiological, and sensory quality of cod products salted in different brines. **J. Food Sci.** 70(1): M1-M6. 2005.
- [23] STATGRAPHICS. Guide user's guide. Versin 5.1 plus Windows. Statpoint Technologies, Inc. Warrenton.EUA. 114 pp. 2004.