

## **OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS TECNOLÓGICOS EN LA COCCIÓN DEL ATÚN (*THUNNUS ATLANTICUS*)**

*Danilo Bejerano-Salgado<sup>1,2\*</sup>, Jorge A. Pino-Alea<sup>1,3</sup>, Soledad Bolumen<sup>1</sup>, Guido Riera<sup>2</sup> y Marbelis Valdés<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao km 3 ½, CP 19200, La Habana, Cuba.*

<sup>2</sup>*Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Calle 114 # 11901, CP 19390, La Habana, Cuba.*

<sup>3</sup>*Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana. Calle 222 No. 2317, CP 13 600, La Habana, Cuba.*

*E-mail: danilo.bejerano@iiaa.edu.cu*

*Recibido: 04-12-2020 / Revisado: 15-12-2020 / Aceptado: 29-12-2020 / Publicado: 07-01-2021*

### **RESUMEN**

Se optimizaron la temperatura y tiempo de cocción para el procesamiento del atún que garantice un mejor rendimiento de la etapa de limpieza del pescado. Para el estudio fue utilizado un diseño factorial de superficie de respuesta, mediante el que se alcanzaron los parámetros tecnológicos óptimos con una temperatura del horno de 100 °C durante 30 min, en la que el atún tuvo en el centro térmico 69,5 °C y 60,2 % de humedad como variables de respuesta. Con estas condiciones se aumentó 3,7 % el rendimiento de producto.

**Palabras clave:** filete de atún, cocción, optimización.

### **ABSTRACT**

**Optimization of technological parameters in the cooking of tuna (*Thunnus atlanticus*)**

The temperature and cooking time were optimized for processing tuna that guarantees a better yield of the fish cleaning. For the study, a response surface factorial design was used, through which the optimal technological parameters were reached with an oven temperature of 100 °C for 30 min, in which the tuna had 69.5 °C at the thermal center and 60.2% humidity as response variables. With these conditions yield was increased in 3.7%.

**Keywords:** tuna steak, cooking, optimization.

### **INTRODUCCIÓN**

El primer tratamiento térmico que soportan los túnidos es la cocción, un proceso que tiene gran influencia sobre el rendimiento final, pues las mermas están entre 6 y 20 %. Debido a las pérdidas de peso que dicho tratamiento causa en el pescado, si esta operación se extiende unos minutos más de lo necesario el pescado pierde más peso del deseado, lo que provoca una disminución en los rendimientos (*1*).

---

**\*Danilo Bejerano-Salgado:** Graduado de Ingeniería Química (Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, 2012). Es Máster en Ingeniería de Alimentos (Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, 2020). Su línea de investigación sobre los envases está relacionada con las conservas de alimentos.

La cocción produce la liberación de líquido acuoso de los tejidos del pescado, que al ser drenado se traduce en pérdida de peso lo que afecta el rendimiento. De la intensidad de la cocción dependen los cambios en el color del pescado y la alteración de composición y aspecto del líquido de cobertura de la conserva, los que afectan la calidad del producto (2). Con la adición del líquido de cobertura o salsa, se combinan las características sensoriales de los ingredientes que lo componen, junto con las propiedades del pescado cocinado que contribuye a la palatabilidad o punto de mejor sabor, olor y color atractivo del producto (3).

La cocción es también el paso más importante para la calidad final del producto, pues causa la desnaturalización parcial de las proteínas, lo que mejora la velocidad de limpieza. Un reconocimiento común en la industria procesadora de túnidos es conseguir un 3 buen cocinado<sup>3</sup> y en este caso la temperatura final del centro térmico del atún debe alcanzar aproximadamente entre 64 y 72 °C. Calentar más allá de este rango es innecesario y reduce los rendimientos y sabor de la carne, así como cambios indeseables en la textura (1). Por otra parte, se ha planteado que la humedad del bonito debe estar alrededor de 60 % m/m para lograr características sensoriales adecuadas (4).

El objetivo del trabajo fue optimizar la temperatura y tiempo de cocción para procesamiento del atún que garantice la calidad de la etapa de limpieza del pescado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la empresa procesadora más importante del país. La cocción, en una cámara de vapor industrial, se estudió con tres temperaturas de vapor saturado (80, 90 y 100 °C) y tres tiempos (20, 25 y 30 min). Cuando la temperatura en el espinazo del pescado estuvo entre 60 y 70 °C se consideró que el pescado estuvo cocinado independientemente de su tamaño. Cada corrida experimental fue de 800 kg.

Para evaluar el efecto de la optimización de los parámetros de cocción, se realizaron dos corridas con las condiciones óptimas para compararla contra otras dos hechas con los parámetros actuales (80 °C y 25 min).

La optimización de la temperatura y el tiempo en el horno de cocción se hizo mediante el método de superficie de respuesta (5). Se utilizó un diseño factorial 3<sup>2</sup>,

lo que equivale a dos factores con tres niveles. Los factores fueron temperatura del horno y tiempo, mientras que las variables de respuesta fueron temperatura en el centro térmico y humedad. La temperatura en el centro térmico se determinó mediante un termopar y la humedad por un método gravimétrico (6).

Las variables de respuesta se maximizaron para calcular los valores óptimos. La adecuación de los modelos se evaluó a través de la prueba *F* de Fisher para  $p \leq 0,05$ . La prueba fue dirigida para comparar los valores experimentales con los valores predichos por el modelo. La proximidad entre el valor experimental y predicho se comprobó por el bajo valor de los residuos. Esta observación verifica el ajuste adecuado de los modelos empleados para predecir la variación de cada variable de respuesta como función de las variables independientes (5). Las experiencias se hicieron aleatoriamente y sus resultados se procesaron con el programa Design Expert ver. 8.0.6 del 2010 (7).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cocción es una etapa importante dentro del proceso de elaboración de las conservas de atún debido a que permite una adecuada humedad para la manipulación y textura del pescado. La humedad final del pescado es un resultado de la combinación de la temperatura y tiempo de estancia en el horno.

La temperatura del centro térmico varió entre 62,5 y 69,0 °C (Tabla 1). Se ha informado que, de 60 a 70 °C, el pescado está cocinado independientemente de su tamaño para una temperatura de cocción de 101 °C (8).

El contenido de humedad varió entre 60,2 y 67,0 % m/m (Tabla 1). En un trabajo anterior en el estudio de la cocción del bonito a 100 °C durante 25 min se obtuvo una humedad de 61 % m/m y debe estar alrededor de 60 % m/m para lograr características sensoriales adecuadas (4). Un incremento de la humedad en el pescado causa afectaciones en la textura que inciden en las operaciones de limpieza y envasado de la materia prima principal, debido a que se desmenuza en las manos de los operarios generando pérdida de rendimiento en el producto terminado y a su vez favorece el desarrollo microbiano por exceso de actividad de agua (8).

**Tabla 1. Matriz experimental del diseño de superficie de respuesta**

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	TCT (°C)	Humedad (% m/m)
1	90	20	65,0	64,9
2	80	25	63,0	66,4
3	90	30	67,0	62,5
4	90	25	65,5	64,3
5	90	25	65,0	64,7
6	100	20	68,0	61,4
7	100	30	69,5	60,2
8	90	25	65,0	64,8
9	80	20	62,5	67,0
10	80	30	64,0	65,6
11	90	25	66,0	63,6
12	100	25	68,5	61,0

TCT: temperatura en el centro térmico.

A partir de la matriz experimental del diseño de superficie de respuesta (Tabla 1) se obtuvo un modelo polinomial de segundo orden que fue usado para expresar cada variable de respuesta como una función de las variables independientes.

$$Y = B_0 + B_1X_T + B_2X_t + B_{11}X_T^2 + B_{22}X_t^2 + B_{12}X_TX_t$$

Donde  $Y$ : variable de respuesta;  $B_0$ : constante del modelo;  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_{11}$ ,  $B_{22}$  y  $B_{12}$ : coeficientes de regresión;  $X_T$ : temperatura codificada y  $X_t$ : tiempo de cocción codificado.

La Tabla 2 presenta los modelos codificados lineales y cuadráticos para cada una de las dos variables de respuesta. El análisis de varianza demostró para los modelos de regresión lineales y cuadráticos que el valor  $F$  de los modelos fue mayor que el valor de la tabla, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que los modelos y las diferencias fueron significativas. Las pruebas para la falta de ajuste no dieron significativas.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es la variación proporcional en la respuesta atribuida al modelo más al error aleatorio y se sugiere que para un buen modelo

**Tabla 2. Parámetros de los modelos codificados**

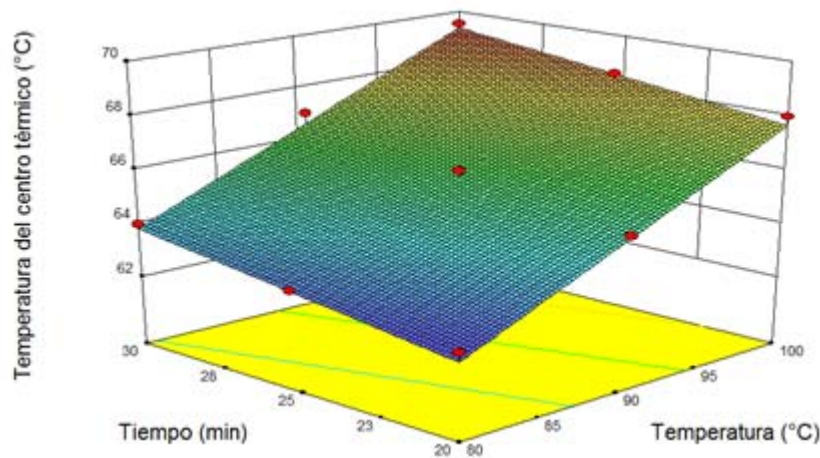
Parámetro	Modelo lineal		Modelo cuadrático	
	TCT	Humedad	TCT	Humedad
Intercepto	65,75	68,37	65,44	64,27
$X_T$	2,75*	-2,73	2,75*	-2,73*
$X_t$	0,83*	-0,83	0,83*	-0,83*
$X_T^2$	-	-	0,19	-0,40
$X_t^2$	-	-	0,44	-0,40
$X_TX_t$	-	-	0,00	0,05
$F$ modelo	130,50*	80,07*	69,93*	41,23*
$F$ falta de ajuste	0,74	1,05	0,26	0,64
$R^2$	0,967	0,947	0,983	0,972
$R^2$ ajustado	0,959	0,935	0,969	0,948
$R^2$ predicho	0,949	0,914	0,949	0,869
Precisión adecuada	32,89	25,79	26,70	20,43

TCT: temperatura en el centro térmico. \*Valor significativo para  $p \leq 0,001$ .

ajustado,  $R^2$  no debe ser menor al 80 %. Cuando  $R^2$  se acerca a la unidad, significa la idoneidad de ajustar el modelo empírico a los datos reales. El menor valor de  $R^2$  muestra la inadecuación del modelo para explicar la relación entre variables (7). Cabe señalar que agregar una variable al modelo siempre aumentará  $R^2$ , independientemente de si la variable adicional es estadísticamente significativa o no. Por tanto, un valor elevado de  $R^2$  no siempre implica la adecuación del modelo. Por esta razón, es más apropiado utilizar un  $R^2$  ajustado  $> 90$  % para evaluar la adecuación del modelo. Un mayor  $R^2$  ajustado indicó que los términos no significativos no se han incluido en el modelo. Cada uno de los valores experimentales se compararon con el valor predicho calculado a partir del modelo y la diferencia entre ambos fue alrededor del 0,2 generalmente aceptado (7). Las precisiones adecuadas (relación señal/ruido) fueron muy superiores al valor de cuatro aceptado (7). Por todo lo antes mencionado, los modelos pueden considerarse adecuados para usarlo en el espacio del diseño.

Dado que los términos cuadráticos y la interacción no dieron significativos en el modelo cuadrático, se decidió continuar el estudio con los modelos lineales.

La Fig. 1 representa la superficie de respuesta del modelo lineal obtenido para la temperatura del centro térmico, donde se aprecia que al disminuir la temperatura y tiempo de cocción ocurre un descenso de la variable de respuesta.



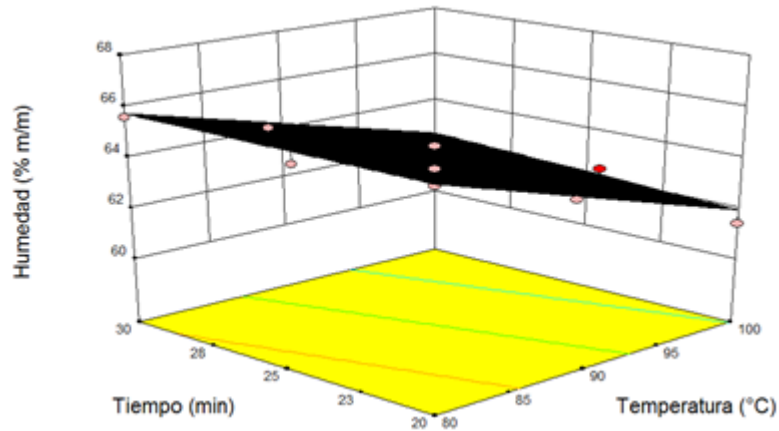
**Fig. 1. Gráfico de superficie de respuesta para la temperatura del centro térmico.**

En el modelo lineal (Tabla 2) se aprecia que el factor temperatura tuvo una mayor contribución al modelo pues su término es mayor tres veces al coeficiente del tiempo. El coeficiente resultó con signo positivo, por lo que puede afirmarse que un aumento de este factor favoreció el incremento de la temperatura del centro térmico, mientras que el término del tiempo también fue positivo, lo que indica un mismo efecto. El resultado de estos dos efectos es evidente y no requiere de una explicación.

La Fig. 2 representa la superficie de respuesta del modelo lineal calculado para la humedad, donde se observa que al disminuir la temperatura del horno y el tiempo de permanencia ocurre un aumento de la humedad.

El modelo lineal (Tabla 2) muestra que ambos factores tienen signos negativos y la temperatura con mayor contribución. Esto es debido a que, a una mayor temperatura y tiempo de permanencia en el horno, se suministra mayor calor al producto, lo que incrementa la velocidad de secado y reduce el contenido de humedad.

El buen ajuste y adecuación de los modelos lineales permitió pasar a la optimización de las dos variables de respuesta. La temperatura del centro térmico se maximizó, mientras que se minimizó el contenido de humedad.

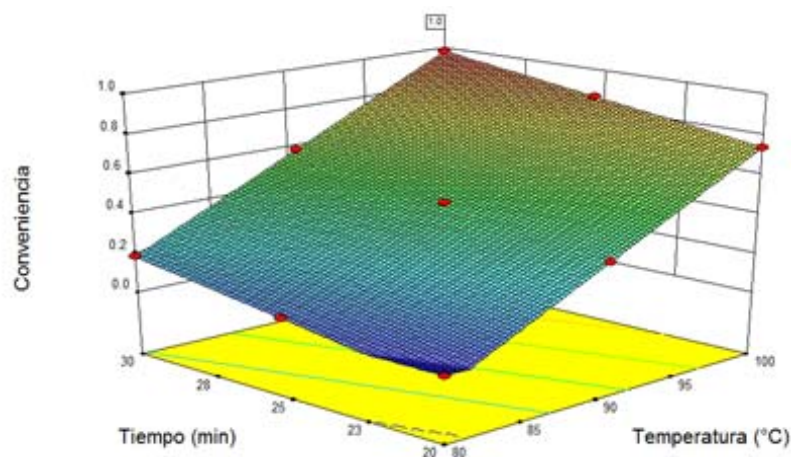


**Fig. 2. Gráfico de superficie de respuesta para la humedad.**

La Fig. 3 muestra la superficie de respuesta para la optimización de las variables. El punto definido 100 °C y 30 min fue indicado como la mejor combinación para el proceso de cocción. Con estos parámetros se obtuvo un valor de uno para la función objetivo conveniencia (de un máximo posible de uno).

Con esta combinación se lograron los mejores resultados para cada variable de respuesta. De acuerdo con los modelos fueron 70 °C para la temperatura del centro térmico y 60 % m/m de humedad.

Para comprobar el efecto de las nuevas condiciones de cocción sobre el rendimiento del filete de atún, se hicieron dos corridas con los parámetros actuales y con los optimizados. Con la variante actual se obtuvo un rendimiento de 42,44 % ( $S = 0,08$  %), mientras que con la variante optimizada fue de 46,17 % ( $S = 0,04$  %). La comparación estadística de los promedios demostró que con la variante optimizada es significativamente mayor ( $p \gg 0,05$ ) el rendimiento, lo que prueba la validez de haber hecho una optimización de los parámetros de la cocción.



**Fig. 3. Gráfico de optimización del proceso.**

## CONCLUSIONES

Se optimizaron las temperaturas y tiempos de cocción para garantizar un rendimiento superior en 3,7 % del atún. La variante óptima de cocción con vapor saturado es a 100 °C durante 30 min, en la que el atún tuvo en el centro térmico 69,5 °C y 60,2 % de humedad.

## REFERENCIAS

1. González Y. Perfeccionamiento en el empackado de los túnidos al vacío (tesis de maestría). La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría; 2012.
2. Flores ER, Pis MA, Gallego B, Contreras R, Merla E. Tecnología de la conserva de atún. Rev Cub Invest Pesq 2011; 28 (2):40-4.
3. Zuta-Rubio J. Influencia de la cocción en la calidad y rendimiento de la sardina enlatada (tesis de maestría). Callao: Universidad Nacional del Callao; 2000.
4. Salas AE. Comparación de envases de hojalata con envases de vidrio en la elaboración de conservas de bonito en salsa de rocoto (tesis de diploma). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; 2017.
5. Montgomery DC. Design and Analysis of Experiments. New York: John Wiley and Sons, Inc; 2013.
6. NC 275. Carne y productos cárnicos. Determinación del contenido de humedad. Método rápido. Cuba; 2005.
7. Stat-Ease Inc. (2010). Tutorials for Design-Expert ver. 8.0.7. Disponible en: [http://www.statease.com/dx8\\_man.html](http://www.statease.com/dx8_man.html). Acceso 25 abril 2020.
8. Castillo WE. Gestión por proceso para el mejoramiento de la producción de conserva de pescado de la empresa universidad nacional de la santa (tesis de diploma). Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa; 2019.