

# OPTIMIZACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE SARDINA MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA

## Optimization of the Osmotic Dehydration of Sardines by Response Surface Methodology

Genara Reyes M.<sup>1</sup>, Otoniel Corzo<sup>1</sup> y Nelson Bracho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnología de Alimentos. <sup>2</sup>Departamento de Estadística.  
Núcleo de Nueva Esparta, Universidad de Oriente, Venezuela. E-mail genareyes@cantv.net

### RESUMEN

La deshidratación osmótica (DO) ha sido utilizada como pre-tratamiento al secado y refrigeración de alimentos, es un medio efectivo de reducir el porcentaje de humedad del producto. La inmersión de pescado en salmueras concentradas en una técnica de preservación ampliamente usada. El objetivo de este trabajo fue optimizar la transferencia de masa ocurrida durante la DO de láminas de sardina (SS) mediante la metodología de superficie de respuesta. Se prepararon grupos experimentales (EG) de 4 SS cada uno. Cada lámina fue pesada y se determinó el contenido de humedad y sal. Los EG fueron sumergidos simultáneamente en una salmuera de concentración y temperatura dada según un diseño compuesto central. Las concentraciones y temperaturas empleadas fueron 17,1; 19; 22; 25; 26,9 % y 29; 30; 32; 34; 35°C respectivamente. Los EG fueron extraídos de la salmuera respectiva a los 115, 140, 180, 220 y 245 min. A cada SS se le determinó el peso, contenido de humedad, sal, se calculó la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sal. Los datos se analizaron mediante un ANOVA y regresión lineal múltiple para obtener los modelos de las variables estudiadas, luego se determinó la zona óptima de la deshidratación osmótica mediante el método gráfico convencional. La zona óptima de una máxima pérdida de agua (0,26 g/g.), máxima ganancia de sal (0,187 g/g.) unida a una mínima pérdida de peso (0,145 g/g), se logró a una concentración entre 26 y 26,5%, una temperatura entre 31,6 y 31,8°C y un tiempo de 245 min.

**Palabras clave:** Optimización, superficie de respuesta, deshidratación osmótica, láminas de sardina.

### ABSTRACT

Osmotic dehydration (OD) is generally used as a pre-treatment for the dehydration of food before they are subjected to further processing such as freezing and drying. OD is an effective way for reducing product water content. Immersion of fish in concentrated brines is a widely used preservation technique. The aim of this study was to optimize the mass transfer occurred during the OD of sardine sheets (SS) by surface response methodology. Experimental groups (EG) of four SS each were set up and pre-weighed. One EG was used to determine initial moisture and salt content. The EG were simultaneously immersed in a predetermined brine solution and temperature according to a composite central design. The brine solutions and temperatures were 17.1; 19; 22; 25, 26.9% and 29, 30, 32, 34, 35°C respectively. The EG were withdrawn from each brine solution at 115, 140, 180, 220 and 245 min of immersion. Each SS was weighed and final moisture and salt content were determined, then water and mass loss, and salt gain were calculated. Data were statistically analyzed by ANOVA and multiple lineal regressions to obtaining the models. The optimum zone was obtained by plotting the models and over imposing the contour plots of the maximum water loss and salt gain with the minimum mass loss. The optimum zone was found at 26.5% of brine solution, 31.6-31.8°C of temperature and 245 min of immersion. In this zone the water loss, mass loss and salt gain were 0.26, 0.145, 0.187 g/g respectively.

**Key words:** Optimization, response surface methodology, osmotic dehydration, sardine sheets.

### INTRODUCCIÓN

La deshidratación de alimentos por ósmosis involucra flujo de agua desde el producto a la solución, transferencia de sólidos desde la solución al producto y lixiviación de los sólidos

dos del producto a la solución. La deshidratación osmótica (DO) ha sido utilizada como un pre-tratamiento o paso previo al secado y refrigeración de alimentos, incluyendo frutas y vegetales, carnes y productos marinos. El efecto beneficioso de la deshidratación osmótica incluye la alta calidad del producto final y el bajo requerimiento de energía [22].

La velocidad a la cual ocurre esta transferencia de masa durante la deshidratación osmótica aumenta al incrementar la concentración de la solución osmótica, tiempo de inmersión, temperatura, razón solución osmótica: alimento, área superficial del alimento y baja presión en el sistema. Existe mucha información publicada en relación con la influencia de dichos factores sobre la velocidad de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de frutas y vegetales [4, 5, 17, 23, 24, 25, 30]. Sin embargo, son pocas las publicaciones que evalúan estos aspectos en pescado deshidratado osmóticamente [9-11,31].

Cabe destacar, que se ha encontrado el mismo patrón de comportamiento en las variaciones de masa que ocurren durante el salado del pescado [9, 10, 26, 27] que las ocurridas durante la deshidratación osmótica de frutas. Este comportamiento típico puede describirse en dos pasos: a) Durante el primer período, el músculo pierde peso drásticamente como consecuencia de una rápida pérdida de agua inicial. La presión osmótica colapsa las fibras musculares y conduce al sistema a un pseudo-equilibrio, en el cual el tejido exhibe la mayor pérdida de agua. b) Esta situación es seguida por la relajación de las fibras musculares, lo que permite un flujo hacia el interior de una cierta cantidad de solución osmótica hasta que se alcanza el verdadero equilibrio. La penetración de sal dentro del músculo de pescado finaliza cuando la concentración de sal en la fase acuosa del tejido llega a ser igual a la de la solución circundante [1, 4, 8].

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es una técnica estadística empleada en la investigación de procesos complejos. Fue desarrollada [6] para estudiar la relación entre una respuesta y varios factores relacionados, y se ha aplicado en diferentes procesos biológicos [18]. La MSR es actualmente la técnica de optimización más empleada en la Ciencia de los Alimentos, debido quizás, a que es altamente eficiente y a que su fundamento teórico es muy simple [2]. Utilizando la MSR se buscan las condiciones óptimas de un proceso, es decir las más deseables. Generalmente el investigador está interesado en los factores que pueden influenciar la variable respuesta en un determinado problema. Cada factor tendrá un número de niveles (que son el rango de valores en los cuales variará el factor). Cuando esos niveles se combinan para todos los factores que afectan la variable, se tendrá el número total de combinaciones de nivel. Las superficies de respuesta fueron diseñadas con el propósito de hallar fácilmente las condiciones óptimas empleando un número pequeño de combinaciones de nivel o corridas experimentales [21].

La optimización mediante superficies de respuesta le permite al tecnólogo de alimentos minimizar los costos, maxi-

mizar las ganancias, reducir el empleo de ingredientes o preservantes costosos, incrementar las características deseables del alimento sin comprometer su inocuidad durante el desarrollo de un nuevo producto o para el mejoramiento de uno existente [12, 14, 16, 29, 32]. Las superficies de respuesta son representadas matemáticamente por funciones de regresión. Sin embargo, como estas funciones pueden ser desconocidas o muy complejas, es necesario aproximarlas mediante funciones empíricas más simples, tales como polinomios de segundo orden [15]: Un ejemplo de modelo para cuando existen tres variables, es como sigue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 ,$$

donde  $\beta_0$  es el coeficiente de regresión de la constante,  $\beta_i$  es el coeficiente de regresión que indica la importancia relativa del factor  $x_i$  (mide los efectos lineales),  $\beta_{ij}$  es el coeficiente de regresión que indica la importancia relativa del factor  $x_i^2$  (mide los efectos cuadráticos),  $\beta_{ij}$  es el coeficiente de regresión que indica la importancia relativa del factor  $x_i x_j$  (mide los efectos combinados o de interacción de los factores  $x_i$  y  $x_j$ ),  $Y$  es la respuesta ajustada.

Según estadísticas de la FAO, la captura de *Sardinella aurita* a nivel mundial está por el orden de 670.000 toneladas/año. En Venezuela, anualmente se capturan, en promedio, unas 140.000 toneladas de sardinas, las cuales son destinadas casi en su totalidad a la industria conservera (alrededor del 70% de la captura) y el 30% restante, se consume fresca o se exporta en forma de troncos congelados principalmente a Brasil o se utiliza como carnada para la captura de especies de mayor valor comercial [28].

A pesar de que la inmersión del pescado en salazones húmedas es frecuentemente utilizada como pre-tratamiento en diversas técnicas de preservación a nivel industrial, especialmente para pescados grasos como las sardina, la deshidratación osmótica que ocurre durante el salado del pescado ha sido poco estudiada, por lo que se requiere realizar investigación en esta área debido a la importancia del salado de pescado en el país y a la alta producción pesquera en el rubro sardina. Desde el punto de vista de ingeniería, es importante desarrollar una mayor comprensión de los parámetros que controlan dicho proceso, lo que permitiría predecir los niveles de ganancia de sal, pérdida de agua y pérdida de peso del producto final sometido a varias condiciones de operación y además optimizar los parámetros del proceso.

Los objetivos de este estudio fueron: modelar la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sal ocurrida durante la deshidratación osmótica de láminas de sardinas sometidas a diferentes condiciones de concentración, temperatura y tiempo, y optimizar los niveles de los factores que permitan tener las mejores respuestas del proceso de deshidratación osmótica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Preparación de las muestras

Se utilizaron sardinas recién capturadas que los pescadores artesanales comercializan en el mercado de los Cocos ubicado en la ciudad de Porlamar, estado Nueva Esparta, Venezuela, que luego fueron transportadas al laboratorio de Tecnología de Alimentos de la UDONE en cava de anime con hielo. Las sardinas fueron medidas con un ictiómetro de fabricación artesanal, pesadas en una balanza analítica digital Sartorius BA110S (Precision Weighing Balances, Germany, 1990) y determinado su porcentaje graso mediante extracción continua en éter etílico en equipo Goldfish Labconco modelo 6 puestos (Labconco Co, USA, 2001) [3], obteniéndose  $16 \pm 2$  cm de longitud estándar,  $55 \pm 12$  g/pescado y  $4,0 \pm 0,5\%$  de grasa. Las sardinas se filetearon y a cada filete se le retiró la piel. Luego los filetes se cortaron por la zona más cercana a la cabeza con un molde cortador de acero inoxidable para obtener láminas de  $2,0 \pm 0,05$  cm de largo,  $1,3 \pm 0,05$  cm de ancho y  $0,625 \pm 0,15$  cm de espesor.

### Proceso de deshidratación osmótica

El proceso de deshidratación osmótica se llevó a cabo en un desecador de vidrio Pobel/Fisher (Fisher Scientific GmbH, Germany, 2000) que contenía la solución osmótica, el cual fue colocado en un baño de agua regulado Julabo SW-20C (Julabo Labortechnik GmbH, Germany, 2000) a una temperatura constante y provisto de agitación. Las láminas se colocaron en celdas de alambre de cuatro compartimentos, para lograr la inmersión simultánea de cuatro láminas, o grupo experimental. A cada lámina de un grupo se le determinó su peso, contenido de humedad por diferencia de peso hasta peso constante en estufa Memmert ULE-700 (Mettler GmbH, Germany 1985) a  $105^\circ\text{C}$ , contenido de sal por el método de Mohr, y contenido de grasa mediante extracción continua en éter etílico en equipo Goldfish Labconco 6 puestos (Labconco Co, USA, 2001) [3].

Los grupos experimentales fueron sumergidos simultáneamente en una solución de NaCl de concentración y temperatura dadas por un tiempo determinado según un diseño compuesto central [20] con bloques aleatorios (TABLA I). Luego de extraer los grupos experimentales, cada lámina se escurrió y se secó superficialmente, disponiéndolas sobre papel absorbente para retirar la salmuera adherida superficialmente, luego se pesó y se le determinó el contenido de humedad y sal.

La pérdida de agua ( $M_w$ ), pérdida de peso ( $\Delta M$ ) y ganancia de sal ( $M_s$ ), que experimentaron las láminas de sardina como consecuencia del tratamiento osmótico, se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$M_w = \frac{M_0 X_{w0} + M_t X_{wt}}{M_0} \quad (2)$$

$$\Delta M = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \quad (3)$$

$$M_s = \frac{M_0 X_{s0} + M_t X_{st}}{M_0} \quad (4)$$

Donde:  $M_0$  y  $M_t$  son las masas inicial y final de la lámina de sardina respectivamente.  $X_{w0}$  = fracción en peso de agua inicial en la lámina.  $X_{wt}$  = fracción en peso del agua final en la lámina luego del tratamiento osmótico.  $X_{s0}$  = fracción en peso de NaCl inicial en la lámina.  $X_{st}$  = fracción en peso de NaCl final en la lámina luego del tratamiento osmótico. Las fracciones en peso son iguales a los porcentajes de agua y de sal divididos por 100.

### Tratamiento estadístico de los datos

Se utilizó un diseño compuesto central con bloques incompletos y aleatorios. Los bloques se formaron con sardinas capturadas en una misma fecha. Dos bloques eran de 6 corridas cada uno y el otro bloque era de 8 corridas, teniéndose así un total de 20 experiencias. En la TABLA I se presentan los niveles reales y codificados de los factores ensayados. La base de datos fue dividida aleatoriamente en dos partes iguales: la primera de ellas se utilizó para obtener los modelos y la segunda, para hacer la validación de los modelos hallados. Los modelos se obtuvieron al estudiar las relaciones de las variables respuestas en función de los factores analizados mediante análisis de regresión lineal múltiple. Los modelos hallados se validaron con la segunda base de datos [19] empleando un algoritmo escrito en Matlab V. 6,5 (The Mathworks Inc. Natick, MA, USA, 2001) con el cual se halló el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error estándar. Se consideró que los modelos eran válidos si los valores de  $R^2$  y error estándar arrojados por la segunda base de datos eran similares a los hallados en los modelos obtenidos por la primera base de datos [19]. Para optimizar este sistema constituido por las tres respuestas de interés, se empleó el método gráfico convencional [12] en el cual los modelos hallados se emplean para obtener gráficas de contorno de cada respuesta y luego éstas se sobreponen logrando una optimización multirespuesta. Para los tratamientos estadísticos de los datos se empleó el paquete estadístico Statgraphics V. 5,0 (Statistical Group Corp., Rockville, Md, USA, 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Obtención de los modelos

En la TABLA I se muestran los valores de los niveles de los factores estudiados y las respuestas pérdida de agua, de peso y ganancia de sal obtenidas durante la deshidratación osmótica de la sardina, según el diseño compuesto central por bloques incompletos y aleatorios empleado. Estas variables respuestas fueron calculadas utilizando las ecuaciones 2, 3 y 4 respectivamente.

**TABLA I**  
**VALORES DE LOS NIVELES DE LOS FACTORES EMPLEADOS EN LAS DIFERENTES CORRIDAS Y LAS RESPUESTAS**  
**PÉRDIDA DE AGUA, PÉRDIDA DE PESO Y GANANCIA DE SAL OBTENIDAS DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA,**  
**SEGÚN EL DISEÑO COMPUESTO CENTRAL (N=4)**

Concentración (% p/p)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Pérdida de agua (g/g)	Pérdida de peso (g/g)	Ganancia de sal (g/g)
25	34	220	0,2225	0,1773	0,1852
19	30	220	0,1100	0,1232	0,1463
25	30	140	0,1950	0,1866	0,1712
19	34	140	0,1000	0,0992	0,1309
22	32	180	0,1625	0,1558	0,1618
22	32	180	0,1750	0,1373	0,1669
25	30	220	0,2175	0,1488	0,1807
19	34	220	0,1675	0,1359	0,1436
25	34	140	0,2175	0,1516	0,1753
19	30	140	0,1125	0,0705	0,1308
22	32	180	0,1900	0,1195	0,1523
22	32	180	0,1800	0,1092	0,1696
22	32	115	0,1975	0,0960	0,1576
22	32	245	0,2000	0,1455	0,1643
17,1	32	180	0,0925	0,0833	0,1334
26,9	32	180	0,2650	0,1957	0,1815
22	29	180	0,2325	0,1005	0,1650
22	35	180	0,2300	0,1730	0,1705
22	32	180	0,1625	0,1287	0,1814
22	32	180	0,1900	0,1154	0,1686

Los valores de las respuestas obtenidas son el promedio de cuatro determinaciones.

Durante la experiencia, se obtuvieron niveles de sal ( $\%X_{sf}$ ) en el músculo de la lámina de sardina, que variaron desde 11 a 16%, y % humedad ( $\%X_{wf}$ ) que oscilaron entre 44 y 55 %. En la TABLA I se aprecia que se obtuvieron valores de pérdida de agua que variaron desde 0,09 hasta 0,27 g/g, de pérdida de peso desde 0,07 a 0,20 g/g y de ganancia de sal desde 0,13 hasta 0,19 g/g. La transferencia de masa depende de la concentración y temperatura de la solución osmótica, aumentando al incrementarse estos factores [26, 27].

Los datos de pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sal se ajustaron mediante regresión lineal múltiple, a ecuaciones en función de los factores concentración (C), temperatura (T) y tiempo (t), hallándose los siguientes modelos:

$$M_w = 0,01545C - 0,00337618t - 0,000196593T^2 + 0,000112894Tt \quad (5)$$

$$\Delta M = 0,0348435C - 0,049433T + 0,003545t + 0,0008697T^2 - 0,00014713Ct \quad (6)$$

$$M_s = 0,00405923T - 0,000104891T^2 + 0,000195573CT \quad (7)$$

En las TABLAS II, III y IV se muestran los ajustes de los modelos de  $M_w$ ,  $\Delta M$ ,  $M_s$ . El ANOVA de los modelos señaló que éstos eran significativos ( $P < 0,05$ ) y explicaban el 98,49; 97,42 y 99,40% de la variabilidad en la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sal, respectivamente. El factor que más influye en la  $M_w$  y  $\Delta M$  es la concentración, y el que más influye en la  $M_s$  es la temperatura. El factor que menos influye en la  $M_w$  y  $\Delta M$  es el tiempo, sin embargo, no tiene efecto en la  $M_s$ .

Aunque se han realizado trabajos de optimización por MSR en pescado [7, 13, 32] no se pueden hacer comparaciones con los resultados obtenidos en dichas investigaciones y en este estudio porque son procesos diferentes y por consiguiente la modelación y optimización no son comparables. Con este estudio se presenta un aporte nuevo al proceso de deshidratación osmótica en productos pesqueros.

#### Validación de los modelos obtenidos

Al analizar los valores de  $R^2$  y del error estándar arrojados por los modelos obtenidos con la primera base de datos y compararlos con los arrojados por la segunda base de datos (TABLA V), se puede apreciar que son similares, por lo cual

**TABLA II**  
**AJUSTE DE LA PÉRDIDA DE AGUA OCURRIDA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LÁMINAS DE SARDINA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO DE INMERSIÓN EN SALMUERA**

Parámetros	Valor Estimado	Error Estándar	Estadístico t	Probabilidad
Lineales:				
Concentración	0,0154511	0,00155277	9,95068	0,0000
Tiempo	-0,00337618	0,000590517	-5,71734	0,0000
Cuadráticos:				
Temperatura <sup>2</sup>	-0,000196593	0,0000390623	-5,03282	0,0000
Interacciones:				
Temperatura-Tiempo.	0,000112894	0,0000194419	5,80673	0,0000

R<sup>2</sup> = 0,9848.

**TABLA III**  
**AJUSTE DE LA PÉRDIDA DE PESO OCURRIDA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LÁMINAS DE SARDINA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO DE INMERSIÓN EN SALMUERA**

Parámetros	Valor Estimado	Error Estándar	Estadístico t	Probabilidad
Lineales:				
Concentración	0,0348435	0,00898029	3,87999	0,0005
Temperatura	-0,049433	0,0126345	-3,91255	0,0004
Tiempo	0,00354516	0,0010879	3,2587	0,0026
Cuadráticos:				
Temperatura	0,000869743	0,000207698	4,18754	0,0002
Interacciones:				
Tiempo-Concentración	-0,000147129	0,0000491805	-2,99162	0,0052

R<sup>2</sup> = 0,9742.

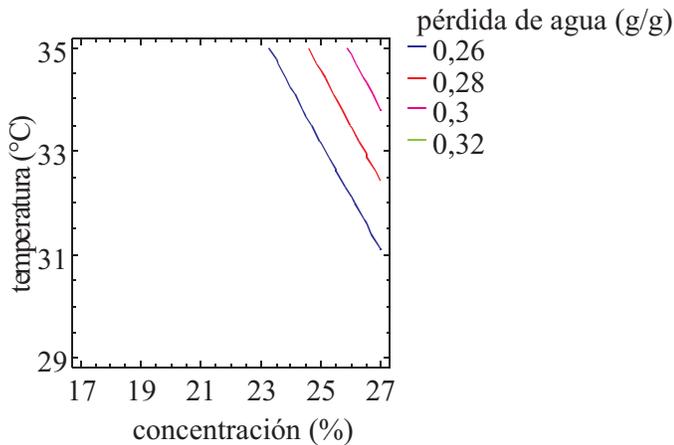
**TABLA IV**  
**AJUSTE DE LA GANANCIA DE SAL OCURRIDA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LÁMINAS DE SARDINA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO DE INMERSIÓN EN SALMUERA**

Parámetros	Valor Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Probabilidad
Lineales:				
Temperatura	0,00405923	0,00148537	2,7328	0,0098
Cuadráticos:				
Temperatura	-0,000104891	0,0000424488	-2,47099	0,0185
Interacciones:				
Temperatura-Concentración	0,000195573	0,0000261331	7,4837	0,0000

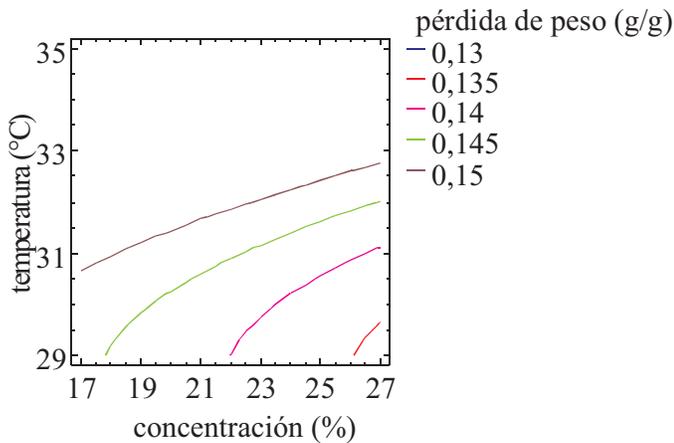
R<sup>2</sup> = 0,9940.

**TABLA V**  
**VALIDACIÓN DE LOS MODELOS HALLADOS PARA EXPLICAR LA PÉRDIDA DE AGUA, PÉRDIDA DE PESO Y GANANCIA DE SAL DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LÁMINAS DE SARDINA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO DE INMERSIÓN EN SALMUERA**

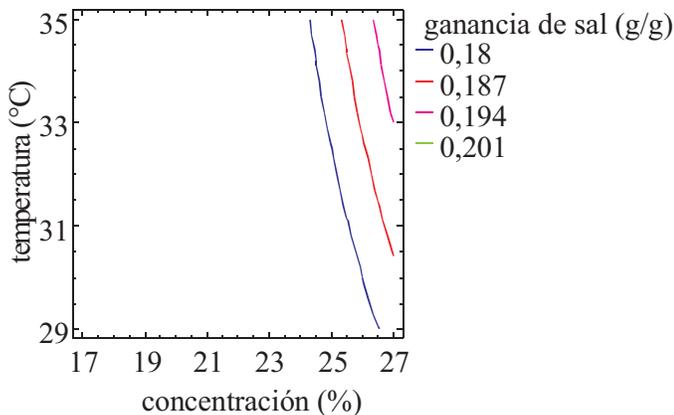
Modelo	Modelación		Validación	
	R <sup>2</sup>	Error Estándar	R <sup>2</sup>	Error Estándar
Pérdida de Agua	0,9849	0,0243490	0,9747	0,0307
Pérdida de Peso	0,9742	0,0238151	0,9630	0,0287
Ganancia de Sal	0,9940	0,012972	0,9926	0,0146



**FIGURA 1. GRÁFICA DE CONTORNO DE LA PÉRDIDA DE AGUA MOSTRANDO LAS CURVAS QUE MEJOR SATISFACEN EL CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN.**



**FIGURA 2. GRÁFICA DE CONTORNO DE LA PÉRDIDA DE PESO MOSTRANDO LAS CURVAS QUE MEJOR SATISFACEN EL CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN.**



**FIGURA 3. GRÁFICA DE CONTORNO DE LA GANANCIA DE SAL MOSTRANDO LAS CURVAS QUE MEJOR SATISFACEN EL CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN.**

los modelos se consideran válidos y se pueden utilizar para predecir la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sal ocurrida durante la deshidratación osmótica de láminas de sardina a las condiciones de concentración, temperatura y tiempo empleadas en este estudio.

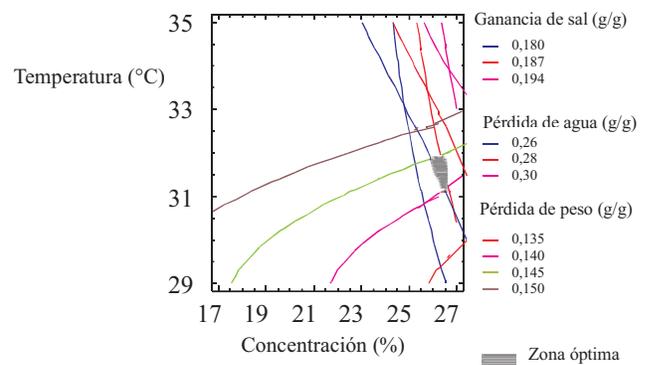
**Optimización de los niveles de los factores que permitan tener las mejores respuestas del proceso de deshidratación osmótica**

Para realizar la optimización por la metodología de múltiples respuestas, se requiere considerar las restricciones que se deben cumplir para aproximarse a la estabilidad del producto pesquero en estudio. Para ello se necesita que la lámina de sardina tenga la mayor ganancia de sal y la mayor pérdida de agua, unido a la menor pérdida de peso posible para que el empresario o comerciante no tenga tantas mermas en su producto.

Dado que en los modelos ajustados el tiempo es el factor con menores efectos, se consideró tomar un tiempo constante para lograr la optimización. Con la finalidad de conocer cuál tiempo de los estudiados es el más apropiado para la optimización, se obtuvieron graficas de contorno a diferentes tiempos encontrándose que a 245 min se satisfacían las restricciones de optimización al encontrar un área de intersección entre las curvas que representen la mayor ganancia de sal y la mayor pérdida de agua con la mínima pérdida de peso posible.

Para tener una mayor apreciación de las curvas que mejor satisfacen el criterio de optimización, se presentan las FIGS. 1, 2 y 3 que son las gráficas de contorno de las variables respuesta en estudio a un tiempo constante de 245 min.

En la FIG. 4 se presenta la zona óptima o de convergencia de una máxima pérdida de agua, máxima ganancia de sal unida a una mínima pérdida de peso obtenida por la sobrepo-



**FIGURA 4. ZONA ÓPTIMA PARA LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LAS LÁMINAS DE SARDINA: CONCENTRACIÓN DE SALMUERA DE 26,5%; TEMPERATURA DE 31,6° A 31,8°C Y TIEMPO DE 245 min.**

sición de las graficas de contorno. La zona óptima se logra a un tiempo de 245 min, una concentración entre 26 y 26,5% de sal y una temperatura entre 31,6 y 31,8 ° C, la cual es la temperatura ambiental promedio en climas tropicales. En esta zona óptima, la pérdida de agua fue de 0,26 g/g, la pérdida de peso de 0,145 g/g y la ganancia de sal de 0,187 g/g.

## CONCLUSIONES

Este estudio permitió modelar la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sal que ocurren durante la deshidratación osmótica de láminas de sardina y optimizar adecuadamente dichas respuestas mediante la MRS aplicando restricciones que satisficieran criterios económicos y de estabilidad del producto.

La zona óptima o de convergencia de una máxima pérdida de agua y ganancia de sal con una mínima pérdida de peso se logró con una salmuera saturada (26,5% NaCl), una temperatura aproximada de 32°C (fácilmente obtenida en climas tropicales) y un tiempo de 245 min.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias al financiamiento otorgado por el FONACIT al proyecto S1-2000000773 titulado "Estudio de la Deshidratación Osmótica de la Sardina".

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRÉS, A.; RODRÍGUEZ, S.; BARAT, J.; FITO, P. Application of vacuum impregnation technology to salting and desalting cod (*Gadus morhua*). In: Fito P, Chiralt A, Barat J, Spiess W, Beshnilian D. (Ed.) **Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation. Applications in Food Industries**. Technomic Publishing, Lancaster USA, 185-192 pp. 2001.
- [2] ARTEAGA, G.; LI-CHANG, E.; VASQUEZ-ARTEAGA, M.; NAKAI, S. Systematic experimental designs for product formula optimization. **Trends Food Sci. Technol.** 5: 243-254. 1994.
- [3] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C). **Official Methods of Analysis**. 15<sup>th</sup> Ed, Washington USA. 1113-1117 pp. 1990.
- [4] BARAT, J.; ANDRÉS, A.; FITO, P. **Deshidratación Osmótica de Alimentos**. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones, Valencia España. 73 pp. 1998.
- [5] BOLIN, H.; HUXSOLL, C.; JACKSON, R. Effects of osmotic agents and concentration on fruit quality. **J. Food Sci.** 48: 202-204. 1983.
- [6] BOX, G.; WILSON, K. On the experimental attainment of optimum conditions. **J. Royal Statist. Soc. (Series B)** 13:1-45. 1951.
- [7] CHEN, J. S.; LEE, C. M.; CRAPO, C. Linear programming and response surface methodology to optimize surimi gel texture. **J. Food Sci.** 58(3): 535-539. 1993.
- [8] CHIRALT, A.; FITO, P.; BARAT, J.; ANDRÉS, A.; GONZÁLEZ, C.; ESCRICHE, I.; CAMACHO, M. Use of vacuum impregnation in food salting process. **J. Food Eng.** 42: 435-446. 2001.
- [9] CORZO, O.; BRACHO, N. Effects of brine concentration and temperature on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of sardine sheets. **Lebensm. Wiss. u Technol** 37(4): 475-479. 2003.
- [10] CORZO, O.; BRACHO, N.; RODRIGUEZ J.; GONZÁLEZ, M. Dinámica de la transferencia de masa en la deshidratación osmótica con pulso de vacío de láminas de sardina. **Saber** 16(2): 124-129. 2004.
- [11] CORZO, O.; BRACHO, N. Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupin model. **J. Food Eng.** 66:51-56. 2005.
- [12] FLOROS, J.; CHINNAN, M. Computer graphics-assisted optimization for product and process development. **Food Technol.** 42:72-78, 84. 1988.
- [13] GBOGOURI, G. A.; LINDER, M.; FANNI, J.; PARMEN-TIER, M. Influence of hydrolysis degree on the functional properties of salmon byproducts hydrolysates. **J. Food Sci.** 69(8): 615-622. 2004.
- [14] GE, Y.; NI, Y.; YAN, H.; CHEN, Y.; CAI, T. Optimization of the supercritical fluid extraction of natural vitamin E from wheat germ using response surface methodology. **J. Food Sci.** 67(1):239-243. 2002.
- [15] GUILLOU, A.A.; FLOROS, J.D. Multiresponse optimization minimizes salt in natural cucumber fermentation and storage. **J. Food Sci.** 58:1381-1389. 1993.
- [16] KONG, Q.; HE, G.; CHEN, Q.; CHEN, F. Optimization of medium composition for cultivating *Clostridium butyricum* with response surface methodology. **J. Food Sci.** 69(7): 163-168. 2004.
- [17] LERICI, C.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, A.; BARTO-LUCCI, L. Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **J. Food Sci.** 50: 1217-1219. 1985.
- [18] MEAD, R.; PIKE, D. A review of response surface methodology from a biometric viewpoint. **Biometr.** 31: 803-851. 1975.
- [19] MONTGOMERY, D.; PECK, E. **Introduction to Linear Regression Analysis**. John Wiley & Sons, New York USA. 345 pp. 1982.

- [20] MULLEN, K.; ENNIS, D. Rotatable designs in product development. **Food Technol.** 33:74-80. 1979.
- [21] MYERS, R.; KHURI, A.; CARTER, W. Response surface methodology: 1966-1988. **Technometr.** 31:137-157. 1989.
- [22] OZEN, B.; DOCK, L.; OZDEMIR, M.; FLOROS, J. Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. **J. Food Sci. Technol.** 37:497-502. 2002.
- [23] RAOULT-WACK, A. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends Food Sci. Technol.** 5: 255-260. 1994.
- [24] RASTOGI, N.; RAGHVARAO, K. Kinetics of osmotic dehydration of coconut. **J. Food Proc. Eng.** 18:187-197. 1995.
- [25] RASTOGI, N.; RAGHVARAO, K.; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration. **J. Food Eng.** 31: 423-432. 1997.
- [26] REYES, G. Estudio de la cinética de la deshidratación osmótica de láminas de sardina (*Sardinella aurita*) a diferentes concentraciones y temperaturas de la solución osmótica. Universidad de Oriente. Núcleo de Nueva Esparta. Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar. Dpto. de Tecnología de Alimentos. (Trabajo de Ascenso). 135 pp. 2001.
- [27] REYES, G.; CORZO, O.; BRACHO, N. Modelación mediante la ecuación de Peleg de la variación de masa de láminas de sardinas (*Sardinella aurita*) deshidratadas osmóticamente. **Saber** 14(1):103-106. 2002.
- [28] SÁNCHEZ, D. Factores que afectan la calidad de la sardina para su adecuado uso como alimento. **Memorias Taller "Evaluación, Tecnología e Industrialización de Pequeños Pelágicos"** Instituto Universitario de Tecnología, Cumaná, 12/06-08. Venezuela: 75-82 pp. 2000
- [29] TÉLLEZ, S. J.; MOLDES, A. B.; ALONSO, J. L.; VÁSQUEZ, M. Optimization of lactic acid production by *Lactobacillus delbrueckii* through response surface methodology. **J. Food Sci.** 68(4): 1454-1458. 2003.
- [30] TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. **Food Res. Int.** 26: 59-68. 1993
- [31] WANG, D.; TANG, J.; CORREIA, L.; GILL, T. Postmortem changes of cultivated atlantic salmon and their effects on salt uptake. **J. Food Sci.** 63: 634-637. 1998.
- [32] ZHOU, P.; REGENSTEIN, J.M. Optimization of extraction conditions for Pollock skin gelatin. **J. Food Sci.** 69(5): 393-398. 2004.