

# CINÉTICA DE TRANSFERENCIA DE MASA DURANTE SALADO DE ARENCA (*Triportheus magdalenae*)

Diego Felipe Tirado, Diofanor Acevedo y Piedad Margarita Montero

## RESUMEN

El proceso de conservación por salado es una técnica antigua que tiene grandes posibilidades de éxito en Colombia, especialmente en las regiones donde la comunicación es difícil y un sistema de refrigeración se hace imposible por razones de costos. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la cinética de transferencia de masa durante el salado por inmersión de la arenca (*Triportheus magdalenae*) a partir de la determinación de coeficientes de transferencia de masa ( $K_c$ ) y difusividad ( $D_a$ ), con el fin de mejorar la metodología artesanal seguida para el salado de arenca en ciudad de Cartagena. Se

midieron datos de contenido de humedad y NaCl en láminas de arenca de  $2 \times 2 \times 2$  cm, en función del tiempo durante la salazón en soluciones al 10, 15 y 20% p/v de NaCl. Estos datos se utilizaron en un modelo matemático para la determinación de coeficientes de transferencia de masa y difusividad. Se utilizó una ecuación de concentración en función del tiempo y posición para una lámina infinita de espesor  $2L$ . El contenido de humedad fue inversamente proporcional al contenido de NaCl, y los parámetros  $K_c$  y  $D_a$  aumentan con la concentración de NaCl en la solución.

## Introducción

El pescado fresco es un alimento altamente perecedero, en comparación con otros productos alimenticios. Su deterioro se atribuye principalmente a la actividad bacteriana y se manifiesta como cambios en las características sensoriales. El tiempo de deterioro depende principalmente de la especie de pescado, manejo, procesamiento inicial (como el corte y fileteado) y la temperatura de almacenamiento (Tsironi *et al.*, 2009). El salado es un proceso de conservación que prolonga el período de comercialización de pescado a condiciones de almacenamiento de menor costo que los métodos de refrigeración o congelación (Mendieta y Medina, 1993; Boudhrioua *et al.*, 2009). Los

productos salados son de los más difundidos internacionalmente, por la tendencia a promover la inversión en productos destinados para consumo humano directo, considerando como desventajas, en su elaboración, el tiempo prolongado de impregnación de sólidos en el tejido, la manipulación y conservación inapropiadas de la materia prima, y la aplicación de técnicas tradicionales no mejoradas ni optimizadas por ser consideradas sencillas (Mendieta y Medina, 1993).

La deshidratación parcial de productos alimenticios por secado es un proceso osmótico utilizado como pretratamiento para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales de algunos los alimentos (Collignan y Raoult-Wack, 1994; Rastogi *et al.*, 2002; Cath *et al.*, 2006;

Tsironi *et al.*, 2009). Durante este proceso, el agua fluye desde el producto a la solución osmótica, mientras que los solutos son transferidos desde la solución al producto (Raoult-Wack, 1994; Gallart-Jornet *et al.*, 2007; Tsironi *et al.*, 2009). Al reducir la actividad de agua de la matriz del alimento, el crecimiento microbiano se reduce o inhibe (Rastogi *et al.*, 2002; Tsironi *et al.*, 2009). La mayoría de los estudios de conservación por salado se han realizado a productos no cárnicos, y el potencial de extensión de la vida útil de estos productos ha sido demostrado (Dermesonlouoglou *et al.*, 2007a, b, 2008; Kamińska *et al.*, 2008; Tsironi *et al.*, 2009). Para los productos de pescado, sin embargo, existen pocas referencias disponibles

(Albarracín *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2011).

El proceso de conservación por salado es una técnica antigua que tiene grandes posibilidades de éxito en Colombia, especialmente en las regiones donde la comunicación es difícil y un sistema de refrigeración se hace imposible por razones de costos (Mendieta y Medina, 1993; Albarracín *et al.*, 2011). En la mayoría de regiones rurales del país el salado constituye la única forma de conservar el pescado que no se vende o consume fresco (Mendieta y Medina, 1993) y para ello se emplean métodos tradicionales, en escala artesanal. Dentro de los métodos tradicionales empleados en la Región Caribe colombiana, el salado es realizado a la intemperie, acentuándose alteraciones debido a la poca

**PALABRAS CLAVE / Arenca / Conservación / Difusividad / Salado / Transferencia de Masa / *Triportheus magdalenae* /**

Recibido: 07/01/2015. Modificado: 04/02/2015. Aceptado: 05/02/2015.

**Diego Felipe Tirado.** Ingeniero de Alimentos y M.Sc. (c) en Ingeniería, Universidad de Cartagena (UCart), Colombia. Investigador, UCart, Colombia. Dirección: Grupo de Investigación NUSCA, UCart, Colombia. Av. Consulado Calle 30 N° 48-152, Cartagena, Colombia. e-mail: dtiradoa@unicartagena.edu.co

**Diofanor Acevedo.** Ingeniero de Alimentos y Químico Farmacéutico, UCart, Colombia. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional (UNal), Colombia. Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Colombia. Docente Investigador, UCart, Colombia.

**Piedad Margarita Montero.** Ingeniera de Alimentos, Universidad de la Salle, Colombia. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UNal, Colombia. M.Sc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Zulia, Venezuela. Docente Investigadora, UCart, Colombia.

## MASS TRANSFER KINETICS DURING ARENCA (*Triportheus magdalenae*) SALTING

Diego Felipe Tirado, Diofanor Acevedo and Piedad Margarita Montero

### SUMMARY

The process of preservation by salting is an ancient technique that has great potential for success in Colombia, especially in regions where communication is difficult and cooling system is unfeasible for its high cost. The aim of this work was to study the kinetics of mass transfer during salting by immersing the arenca (*Triportheus magdalenae*) after determination of mass transfer coefficients ( $K_c$ ) and diffusivity ( $D_a$ ), in order to improve artisanal methodology for salting the species in Cartagena. Data for mois-

ture and NaCl content in arenca slices of  $2 \times 2 \times 2$  cm, depending on the time spent in salting solutions 10, 15 and 20% w/v NaCl were obtained. These data were used in a mathematical model for determining mass transfer coefficients and diffusivity. An equation of concentration vs time and position for an infinite slab of 2L thickness was used. The moisture content was inversely proportional to the NaCl content, and  $D_a$  and  $K_c$  parameters increase with NaCl concentration in the solution.

## CINÉTICA DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA DURANTE A SALGA DA ARENCA (*Triportheus magdalenae*)

Diego Felipe Tirado, Diofanor Acevedo e Piedad Margarita Montero

### RESUMO

O processo de preservação por salga é uma técnica antiga que tem um grande potencial para o sucesso em Colombia, especialmente em regiões onde a comunicação é difícil e um sistema de refrigeração se torna impossível por razões de custo. O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de transferência de massa durante a salga por imersão do arenca (*Triportheus magdalenae*) e determinar os coeficientes de transferência de massa ( $K_c$ ) e difusividade ( $D_a$ ), para melhorar a metodologia artesanal para salgar arenca em Cartagena. Os dados para o teor de hu-

midade e conteúdo de NaCl foram obtidos em folhas de arenca com  $2 \times 2 \times 2$  cm, em função do tempo em soluções de salga 10, 15 e 20% p/v de NaCl. Esses dados foram utilizados em um modelo matemático para determinar os coeficientes de transferência de massa e difusividade. Foi utilizado uma equação de concentração vs tempo e posição para uma placa plana de espessura infinita 2L. O teor de humidade foi inversamente proporcional ao teor de NaCl, e os parâmetros  $D_a$  e  $K_c$  aumentam com a concentração de NaCl na solução.

acción de la luz solar y en general por las desventajosas condiciones ambientales, haciéndose necesario recoger el pescado cuando la humedad relativa es alta o cuando se presenta tiempo lluvioso (Mendieta y Medina, 1993). Esta operación toma generalmente de uno o dos días, tiempo durante el cual se genera una considerable alteración enzimática y bacteriana en el tejido muscular. Esto se debe, en parte, a la lenta difusión de NaCl en el tejido, dando tiempo suficiente para que progresen las alteraciones mencionadas (Mendieta y Medina, 1993; Gallart-Jornet *et al.*, 2007; Albarracín *et al.*, 2011). Por estas razones se hace necesario alcanzar una mejor comprensión de los mecanismos de transporte, desde los conceptos básicos de la investigación en ingeniería de alimentos relacionados con el modelado y cuantificación de la cinética de estos procesos (Gallart-Jornet *et al.*, 2007). En este sentido, el objetivo del presente estudio fue estudiar la

cinética de transferencia de masa durante el salado por inmersión de la arenca (*T. magdalenae*) a partir de la determinación de coeficientes de transferencia de masa ( $K_c$ ) y difusividad ( $D_a$ ), con el fin de mejorar la metodología artesanal seguida para el salado de arenca en ciudad de Cartagena, Colombia.

### Materiales y métodos

#### Muestra

La arenca (*Triportheus magdalenae*) provino de la central de abasto de la ciudad de Cartagena, Colombia. La selección y clasificación del pescado se realizó mediante análisis organoléptico para evaluar el índice de frescura de cada ejemplar, buscando mantener las mejores condiciones de frío y que no se rompiera la cadena hasta el momento del procesamiento. Los pescados seleccionados fueron sometidos luego a una operación que consistió en el retiro de las vísceras y

residuos sanguinolentos, para su posterior lavado. Los filetes se obtuvieron de forma manual, para separar el músculo propiamente dicho del esqueleto y piel. Finalmente estos se cortaron en trozos de  $2 \times 2 \times 2$  cm que fueron usados en el proceso de salado.

#### Salado

La solución deshidratante se preparó mediante la mezcla de NaCl de calidad comercial con agua destilada. La relación salmuera:muestra fue >20:01 para evitar la dilución significativa de la salmuera por la transferencia de agua del pescado, lo que llevaría a la reducción local de la fuerza impulsora durante el proceso. La concentración de salmuera se controló a lo largo de cada experimento; se agitó la mezcla continuamente para mantener una temperatura y concentración uniforme en todo el experimento, mejorando así las condiciones de equilibrio. La concentración de la salmuera se ajustó inicialmente y se controló.

#### Contenido de NaCl y humedad

El contenido de humedad y de NaCl de los trozos de arenca fue determinado en muestras frescas y tratadas en cada tiempo de proceso. El contenido de humedad se midió mediante el secado  $103^\circ\text{C}$  hasta masa constante (AOAC, 2003) y el contenido de NaCl por el método de Mohr (AOAC, 2003).

#### Diseño experimental

Las variables controladas (factores) fueron el porcentaje de NaCl en salmuera y tiempo de deshidratación, con tres niveles para la concentración de solución (10, 15 y 20% p/v) y ocho tiempos de proceso (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8h), siguiendo la metodología usada por Corzo y Bracho (2004). Las variables de respuesta fueron porcentaje de humedad y NaCl de las muestras tratadas. Las determinaciones se efectuaron por triplicado. Se utilizó el programa PHARM/PCS versión 4. Cuando se detectaron

diferencias significativas entre las medias, estas fueron comparadas utilizando la prueba de diferencia mínima significativa, con un nivel de significación de  $p < 0,05$ .

#### Coefficientes de transferencia de masa

Los datos de contenido de humedad y NaCl de las láminas de arenca en función del tiempo se utilizaron en un modelo matemático para la determinación del coeficiente de transferencia de masa y difusividad, para lo cual se usó la ecuación de concentración en función del tiempo y la posición, para una lámina infinita de espesor  $2L$ , que se obtiene resolviendo la ecuación diferencial de difusión en estado transitorio mostrada en la Ec. 1, con las condiciones límites e inicial expresados en la Ec. 2. Se considera el espesor de la lámina como un valor promedio, para estimar la geometría de lámina del producto constante durante el proceso y así hacer válido el modelo matemático utilizado del mismo modo que Yildiz *et al.* (2007).

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} \quad (1)$$

$0 \leq x \leq L$  for  $t > 0$

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad x = 0;$$

$$-D \frac{\partial C}{\partial x} = k_c (C - C_\infty) \quad (2)$$

en  $x = L$ ;  
 $C = C_i$  cuando  $t = 0$

La siguiente solución como serie infinita muestra la concentración de la humedad localizada en cualquier punto dentro de la lámina como una función del tiempo.

$$\left( \frac{C(x,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2 \text{Sen} \mu_n}{\mu_n + (\text{Sen} \mu_n)(\text{Cos} \mu_n)} \text{Cos} \left( \mu_n \frac{x}{L} \right) e^{-\mu_n^2 \frac{Dt}{L^2}} \quad (3)$$

La forma reducida de la Ec. 3 puede ser usada para obtener la solución para láminas en forma de paralelepípedo (finito en dos dimensiones), haciendo uso de la regla de superposición, según la cual, la solución para la transferencia de masa de una lámina finita en dos dimensiones se encuentra multiplicando la solución para dos láminas infinitas, tal como se muestra en la Ec. 4:

$$\left( \frac{C(x,y,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right)_{\text{Lámina finita}} = \left( \frac{C(x,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right)_{\text{Lámina infinita 2L}} \left( \frac{C(y,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right)_{\text{Lámina infinita 2L}} \quad (4)$$

donde  $C(x, y, t)$  es la concentración de humedad (kg/kg sólidos) en cualquier punto y en cualquier tiempo. Reemplazando en Ec. 4 para placas infinitas de espesor finito en  $x$  e  $y$ , se obtienen las Ecs. 5 y 6.

$$\left( \frac{C(x,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right) = \frac{2 \text{Sen} \mu_n}{\mu_n + (\text{Sen} \mu_n)(\text{Cos} \mu_n)} \text{Cos} \left( \mu_n \frac{x}{L} \right) e^{-\mu_n^2 \frac{Dt}{L^2}} \quad (5)$$

$$\left( \frac{C(y,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right) = \frac{2 \text{Sen} \mu_n}{\mu_n + (\text{Sen} \mu_n)(\text{Cos} \mu_n)} \text{Cos} \left( \mu_n \frac{y}{L} \right) e^{-\mu_n^2 \frac{Dt}{L^2}} \quad (6)$$

El producto de Ec. 5 por Ec. 6 da como resultado la Ec. 7:

$$\left( \frac{C(x,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right) \left( \frac{C(y,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right) = A e^{-\mu_n^2 \frac{Dt}{L^2}} \quad (7)$$

donde

$$A = \frac{2 \text{Sen}^2 \mu_n}{\mu_n [\mu_n + (\text{Sen} \mu_n)(\text{Cos} \mu_n)]} \quad (8)$$

Linealizando la Ec. 7 queda la Ec. 9:

$$\ln \left( \frac{C(x,y,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right) = 2 \ln A - 2 \mu_n^2 \frac{D_a t}{L^2} \quad (9)$$

Graficando  $\ln \left( \frac{C(x,y,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right)$  vs  $t$ , desde el intercepto de la gráfica fue calculada la primera raíz de la ecuación característica ( $\mu_n$ ). Después se determinó el coeficiente de difusión,  $D_a$  ( $m^2/s$ ) desde la pendiente de la sección lineal de esta gráfica que se iguala a  $-2 \mu_n^2 \frac{D_a t}{L^2}$ . Una vez hallado  $\mu_n$  se determina  $Bi_m$  y posteriormente  $k_c$ .

$$Bi_m = \mu_n \text{Tan} \mu_n \quad (10)$$

$$Bi_m = \frac{k_c L}{D_a} \quad (11)$$

## Resultados y Discusión

### Contenido de NaCl

En la Figura 1 se aprecian la variación del contenido de

NaCl a diferentes concentraciones (10, 15 y 20% p/v) y tiempos de salado (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8h). La Figura evidencia que las mejores condiciones de transferencia se realizaron a mayores contenidos de NaCl en la solución, coincidente a lo señalado por López y Dávila (2005), quienes trabajaron en el salado de filetes de merluza (*Merluccius gayi peruanus*). Otros autores también han reportado resultados similares (Palou *et al.*, 1993; Corzo y Brancho, 2004; Bellagha *et al.*, 2007). Lenart y Flink (1984) determinaron que el alimento gana rápidamente sólidos cuando los tiempos son pequeños, como los presentes en una solución de salmuera, por lo cual la mayor cinética de transferencia se da al inicio del proceso. Después de 6h de salado, el NaCl tiende a mantener una concentración prácticamente constante en la muestra hasta el final. Mendieta y Medina (1993) en su estudio de salado de tilapia encontraron que los contenidos de humedad y de NaCl determinados en intervalos de 1h, luego de 16h el NaCl alcanzó una concentración de 17,6% en el músculo de tilapia, permaneciendo casi constante hasta las 24h de inmersión. Esto concuerda con lo informado por diferentes investigadores que trabajaron en el salado de pescado (Sánchez y Lam, 1965; Mendieta y Medina, 1993; Fito *et al.*, 1998). Bolin *et al.* (1983) señalan que esto puede deberse

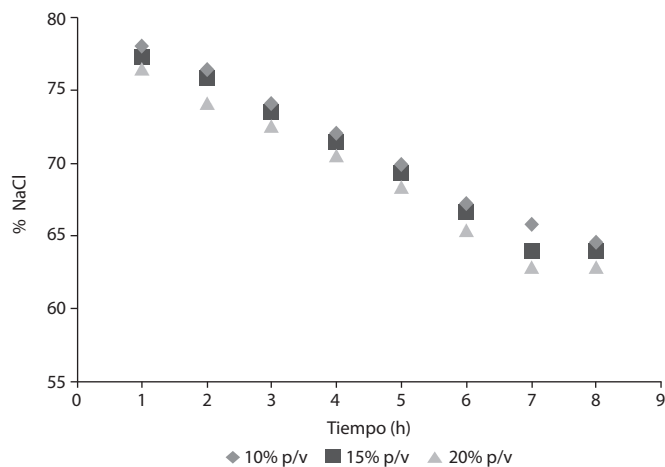


Figura 1. Contenido de NaCl a diferentes concentraciones y tiempo.

a que luego de la cinética de mayor transferencia no hay una abundante migración de soluto hacia las células durante el salado, sino que permanecen los sólidos entre los espacios intercelulares, disminuyendo la ganancia de solutos.

Coefficientes de transferencia de masa y difusividad de NaCl

Los diagramas de la relación del contenido adimensional de NaCl vs tiempo obtenidos a las concentraciones de 10, 15 y 20% p/v son presentados en la Figura 2. Las pendientes de la sección lineal de estas curvas se obtuvieron mediante análisis de regresión lineal y fueron usadas posteriormente para determinar el coeficiente de transferencia de masa y difusividad de NaCl, tal como se muestra en la Tabla I. El diagrama de la Figura 2 muestra que la velocidad de ganancia de NaCl de las láminas de arena aumenta con el

incremento de las concentraciones de NaCl de las soluciones. Las pendientes de la sección lineal de estas curvas se obtuvieron mediante análisis de regresión lineal y fueron usadas posteriormente para determinar el coeficiente de transferencia de masa de NaCl efectivo. En la Figura se evidencian las pendientes positivas, lo que indica la ganancia de sólidos por parte de la muestra. Además, se puede observar que las pendientes, y por tanto la velocidad de transferencia de NaCl, aumenta con la concentración de la solución. En la Tabla I se muestran los valores calculados del coeficiente de transferencia de masa ( $K_c$ ) y el coeficiente de difusividad ( $D_a$ ). Ambos parámetros aumentan con la concentración de NaCl en el medio, tal como lo reportan otros (Lazarides *et al.*, 1995; Park *et al.*, 2002; Moreira y Xidieh, 2004).

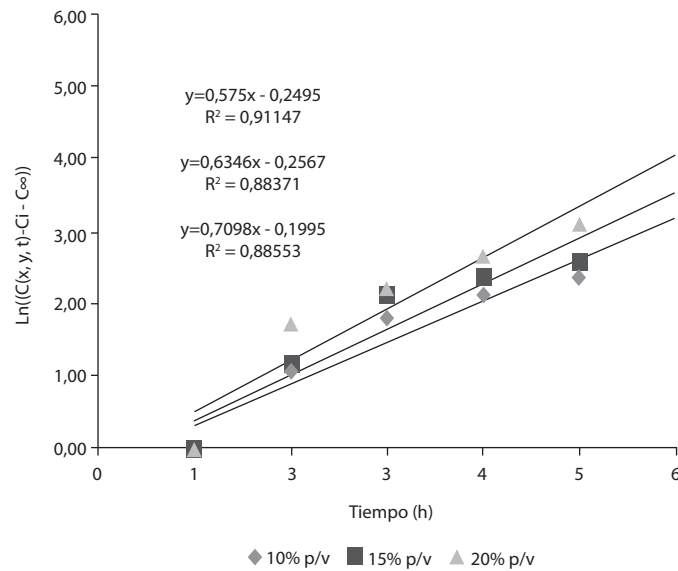


Figura 2. Pendiente de la sección lineal de la relación adimensional concentración de NaCl vs tiempo.

TABLA I  
VALORES DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA Y DIFUSIVIDAD DE NaCl EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN

% p/v	Coefficiente de difusividad $D_a$ ( $\times 10^{-5} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Coefficiente de transferencia de masa $K_c$ ( $\times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
10v	2,29	5,01
15	2,52	5,53
20	2,82	6,19

### Contenido de humedad

En la Figura 3 se aprecia la variación del contenido de humedad a diferentes concentraciones de NaCl (10, 15 y 20% p/v) y tiempos de salado (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8h). La pérdida de humedad es un importante fenómeno de transporte de masa durante el salado. La tasa de este proceso está directamente relacionada con el tiempo de exposición de la muestra (Nasiri *et al.*, 2011). Como se muestra en la Figura, el contenido de humedad disminuye significativamente con el aumento de tiempo de salado. El contenido de humedad inicial de la arena se cuantificó entre un 76,56 y un 77,98% en base húmeda. La pérdida de humedad fue mayor a altas concentraciones de NaCl y se presentó una rápida disminución de humedad en los primeros minutos, como fue informado por otros autores para productos cárnicos (Palou *et al.*, 1993; López y Dávila, 2005). El contenido de humedad fue inversamente proporcional al contenido de NaCl, tal como lo reportan otros autores (Sánchez y Lam, 1965; Mendieta y Medina, 1993; Fito *et al.*, 1998; Larrazábal *et al.*, 2010). La deshidratación de las células

es ocasionada porque NaCl ingresa a través de la membrana celular, alterando las propiedades coloidales de las proteínas y se altera la relación agua-proteína (Mendieta y Medina, 1993).

Se encontró que según la concentración de NaCl (10, 15 y 20% p/v) hay efecto ( $p < 0,05$ ) sobre las fracciones de agua, existiendo diferencias en la cantidad de agua eliminada de las muestras durante los tratamientos de salado y según el tiempo que permanecen en la solución osmótica, diferencias ocasionadas porque el gas que ocupaba parcialmente la estructura porosa es sustituido, parcialmente, por la solución osmótica cuando las fuerzas capilares intervienen (López y Dávila, 2005). Al aplicar la prueba de significación de Duncan se determinó que la pérdida del contenido de agua de las muestras varía con la concentración y tiempo de salado. En general el aumento de tiempo y concentración de NaCl en solución favorece la pérdida de agua. Resultados similares han reportado otros autores en salado de pescado (Palou *et al.*, 1993; Corzo y Brancho, 2004; López y Dávila, 2005; Bellagha *et al.*, 2007).

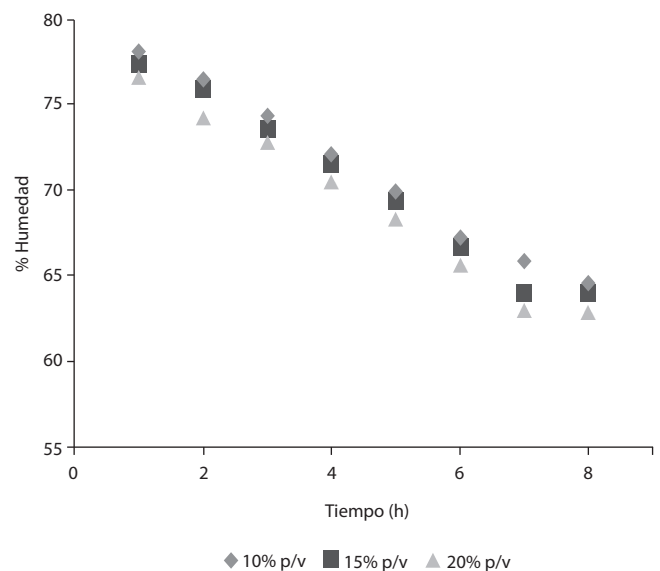


Figura 3. Contenido de humedad a diferentes concentraciones de NaCl y tiempo.



## Coefficientes de transferencia de masa y difusividad de la humedad

Los diagramas de la relación del contenido adimensional de humedad vs tiempo obtenidos a las concentraciones de 10, 15 y 20% p/v son presentados en la Figura 4. Las pendientes de la sección lineal de estas curvas se obtuvieron mediante análisis de regresión lineal y fueron usadas posteriormente para determinar el coeficiente de transferencia de masa y difusividad de la humedad, tal como se muestra en la Tabla II. Este diagrama muestra que la velocidad de pérdida de humedad de láminas de arenca aumenta con el incremento de las concentraciones de NaCl de las soluciones. Las pendientes de la sección lineal de las curvas se obtuvieron mediante análisis de regresión lineal y fueron usadas posteriormente para determinar el coeficiente de transferencia de

masa efectivo. En la Tabla II se muestran los valores calculados del coeficiente de transferencia de masa ( $K_c$ ) y el coeficiente de difusividad ( $D_a$ ).

Los valores del coeficiente de transferencia de humedad encontrados en el presente trabajo para láminas de arenca son cercanos a los reportado por Tirado *et al.* (2015), quienes encontraron valores entre 3,31 y  $9,68 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  en el deshidratado de tilapia (*Oreochromis niloticus*), y muy parecidos a los resultados de otros autores en el secado de diversos productos alimentarios (Yildiz *et al.*, 2007; Alvis *et al.*, 2009; Tirado *et al.*, 2013).

## Conclusiones

Las mejores condiciones de transferencia de masa se obtuvieron a mayores contenidos de NaCl en la solución, y la velocidad de ganancia de sólidos en las láminas de arenca aumentó con el incremento en

las concentraciones de las soluciones. El contenido de humedad disminuyó significativamente con el aumento de tiempo de salado y la rápida disminución de agua en los primeros minutos fue mayor a altas concentraciones de NaCl. Los valores de los coeficientes de transferencia de masa encontrados en el presente trabajo para láminas de arenca son similares a los reportados por otros autores.

## REFERENCIAS

Albarracín W, Sánchez IC, Grau R, Barat JM (2011) Salt in food processing; usage and reduction: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46: 1329-1336.

Alvis A, Cortés L, Páez M (2009) Transferencia de calor y materia durante la fritura de trozos de ñame (*Dioscorea alata*). *Inf. Tecnol.* 20: 99-109.

AOAC (2003) *Métodos de Análisis de la Asociación Oficial de Química Analítica para Determinar Humedad, Fibra, Cenizas, Grasa y Proteína*. Association of Analytical Communities Washington, DC, EEUU.

Bellagha S, Sahli A, Farhat A, Kechaou N, Glenza A (2007) Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modellin. *J. Food Eng* 78: 947-952.

Bolin HR, Huxsoll CC, Jackson R (1983) Effect of osmosis agents and concentration on fruit quality. *J. Food Sci.* 48: 202-205.

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

Cath YT, Childress AE, Elimelech M (2006) Review. Forward osmosis: Principles, applications and recent developments. *J. Memb. Sci.* 281: 70-87.

Collignan A, Raoult-Wack AI (1994) Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. *LWT* 27: 259-264.

Corzo O, Bracho N (2004) Effects of brine concentration and temperature on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of sardine sheets. *LWT* 37: 475-479.

Dermesonlouoglou EK, Giannakourou MC, Taoukis PS (2007a) Kinetic modeling of the

degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. *Food Chem.* 103: 985-993.

Dermesonlouoglou EK, Giannakourou MC, Taoukis PS (2007b) Kinetic modeling of the quality degradation of frozen watermelon tissue: effect of the osmotic dehydration as a pretreatment. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42: 790-798.

Dermesonlouoglou EK, Giannakourou MC, Taoukis PS (2008) Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 9 542-549.

Fito P, Chiralt A, Barat J, Salvatori D, Andrés A (1998) Some advances in osmotic dehydration of fruits. *Food Sci. Technol. Int.* 4: 329-338.

Gallart-Jornet L, Barat JM, Rustad T, Erikson U, Escriche I, Fito P (2007) Influence of brine concentration on Atlantic salmon fillet salting. *J. Food Eng.* 80: 267-275.

Kamińska A, Lewicki PP, Malczyk P (2008) Mass transfer in osmotically dehydrated apple stored at temperatures above zero. *J. Food Eng.* 86: 140-149.

Larrazábal MJ, Escriche I, Camacho MM (2010) Changes in quality associated with the conditions of marinating of salmon (*Salmo salar*) and their evolution during storage. *CyTA - J. Food* 8: 39-47.

Lazarides HN, Katsanidis E, Nickolaïdis A (1995) Mass transfer during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *J. Food Eng.* 25: 151-166.

Lenart A, Flink JM (1984) Osmotic concentration of potatoes. I. Criteria for the end point of the osmotic process. *J. Food Technol.* 19: 45-63.

López L, Dávila L (2005) Salado de merluza por pila seca, húmeda y por deshidratación osmótica a vacío (*Merluccius gayi peruanus*). *Rev. Fac. Ing. Indust.* 8(2): 07-14.

Mendieta OW, Medina ML (1993) Salado y secado solar de tilapia (*Oreochromis sp.*) en la región de San Martín. *Folia Amaz.* 5: 117-127.

Moreira P, Xidieh F (2004) Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *J. Food Eng.* 61: 291-295.

Nasiri FD, Mohebbi M, Yazdi FT, Hossein M, Khodaparast H (2011) Kinetic modeling of mass transfer during deep fat

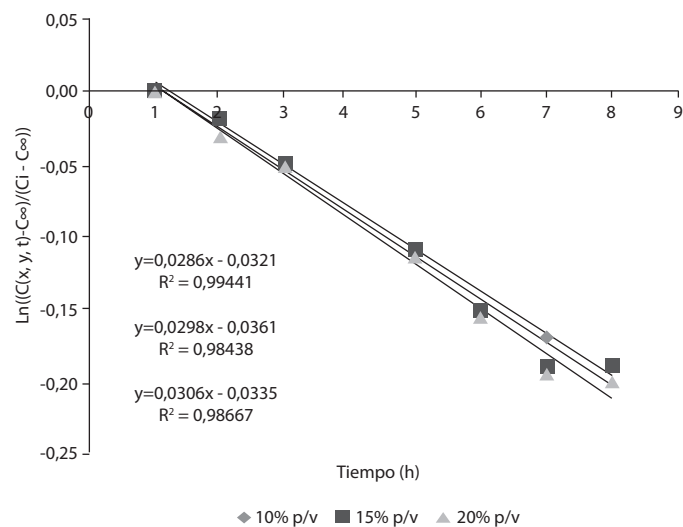


Figura 4. Pendiente de la sección lineal de la relación adimensional concentración de humedad vs tiempo.

TABLA II

VALORES DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA Y DIFUSIVIDAD DE LA HUMEDAD EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN

% p/v	Coefficiente de difusividad $D_a$ ( $\times 10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Coefficiente de transferencia de masa $K_c$ ( $\times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
10	1,13	2,49
15	1,18	2,60
20	1,57	3,45

- frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step. *Food Bioprod. Proc.* 89: 241-247.
- Palou E, López-Mab A., Argaiiz, A, Walti J (1993) Deshidratación Osmótica de Papaya: Efectos de la Concentración del Jarabe. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Alim.* 33: 621-630.
- Park JK, Bin A, Brod FPR, Park THKB (2002) Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). *J. Food Eng.* 52: 293-298.
- Raoult-Wack AI (1994) Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends Food Sci. Technol.* 5: 255-260.
- Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Niranjana K, Knorr D (2002) Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends Food Sci. Technol.* 13: 48-59.
- Sánchez J, Lam R (1965) Principios técnicos de salado y secado del pescado. Estudio químico de la sal en el litoral. *Inf. Inst. Mar Per.* 9: 3-37.
- Tirado DF, Acevedo D, Guzmán LE (2013) Coeficientes convectivos de transferencia de calor durante el freído de láminas de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Inf. Tecnol.* 24(6): 41-46.
- Tirado DF, Acevedo D, Montero PM (2015) Transferencia de calor y materia durante el proceso de freído de alimentos: tilapia (*Oreochromis niloticus*) y fruta de pan (*Artocarpus communis*). *Inf. Tecnol.* 26: 2-11.
- Tsironi T, Salapa I, Taoukis P (2009) Shelf life modelling of osmotically treated chilled gilt-head seabream fillets. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 10: 23-31.
- Wang Y, Zhang M, Mujumdar AS (2011) Trends in processing technologies for dried aquatic products. *Drying Technol.* 29: 382-394.
- Yildiz AT, Palazoglu K, Erdogdu F (2007) Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *J. Food Eng.* 79: 11-17.