

Efecto de los Ultrasonidos de Potencia en la Difusión de Cloruro de Sodio durante el Marinado de Carne de Conejo

D.A. Ochoa-Montes, J.A. Gómez-Salazar, C. Ozuna, A. Cerón-García.

Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida. Universidad de Guanajuato. Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Irapuato-Silao Km-9, Irapuato. Gto. México. C.P. 36500. julian.gomez@ugto.mx

RESUMEN:

El consumo de carne de conejo es muy escaso en México a pesar de su sabor y buen contenido proteico. El marinado puede ser una opción para introducir esta carne en nuevos mercados y al mismo tiempo añadir valor a este alimento. Se ha informado de que el uso de ultrasonidos acelera el proceso de impregnación y mejora calidad en los productos. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto del ultrasonido de potencia sobre la difusión de cloruro de sodio en muestras de carne de conejo durante el marinado ácido. Para este propósito, se prepararon soluciones ácidas de marinado con 70, 140 g y 200 g de NaCl / l. Todas las soluciones incluyeron 3 g de NaNO₂ y 1.5% de ácido cítrico. Se sumergieron láminas de carne de conejo (5 x 3 x 1 cm) en cada solución (muestra 1: 5: solución) durante 120 minutos en baño estático, tomando muestras a 0, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min. El mismo procedimiento se llevó a cabo en un baño de ultrasonidos (US) a 40 kHz y 110 W. El cloruro de sodio se determinó mediante el método de Mohr. Las cinéticas se modelaron utilizando un modelo de difusión. El contenido de cloruro de sodio aumentó en la carne a mayor tiempo de inmersión y concentración de sal en las soluciones. Aumentó el contenido de NaCl en las muestras con la aplicación de los ultrasonidos.

Palabras clave: Cloruro de sodio, ultrasonidos, marinado ácido, modelos de difusión, deshidratación, cinéticas

ABSTRACT:

The consumption of rabbit meat is very scarce in Mexico despite its good taste and high protein content. Marinating can be an option to introduce this meat into new markets and at the same time add value to this food. It has been reported that the use of ultrasound accelerates the impregnation process and improves product quality. The aim of this study was to investigate the effect of ultrasound power on the sodium chloride diffusion in samples of rabbit meat during acid marination. For this purpose, acidic marinating solutions were prepared with 70, 140 and 200 g NaCl/l. All solutions include 3 g of NaNO₂ and 1.5% of citric acid. Rabbit meat sheets (5 x 3 x 1 cm) were immersed in each solution (sample 1: 5: solution) for 120 minutes in a static bath, taking samples at 0, 15, 30, 45, 60, 90 and 120 min. The same procedure was carried out on samples immersed in an ultrasonic bath at 40 kHz and 110 W. Sodium chloride was determined by the Mohr method. The kinetics were modeled using a diffusion model. The content of sodium chloride increased in the meat with a longer immersion time, and with the salt concentration in solutions. NaCl content in meat increased with the ultrasound treatment.

INTRODUCCIÓN

La carne de conejo, a pesar de tener un precio altamente competitivo y alto contenido proteínico, sólo se consume de manera casual. Pese a que la Secretaría de Agricultura impulsa la producción de este producto, las empresas que producen y comercializan carne de conejo son pocas y sólo satisfacen el mercado local. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en México, del 2003 al 2013 se registró un crecimiento promedio anual de solo 0.42%, en contraste con otros países de América como Venezuela y Perú, quienes vieron aumentar su valor del 14-29% (TIERRA FÉRTIL, 2015). De allí, la importancia de que la industria cárnica mexicana pueda innovar en la elaboración de productos cárnicos del sector cunícola con mayor valor agregado, altos niveles de calidad y de competencia en los mercados internacionales.

Dentro de los procesos tecnológicos más utilizados para dar valor agregado a los productos cárnicos se encuentra el marinado. El término marinado se refiere al proceso mediante el cual se incorpora en la carne una solución acuosa u oleosa, que puede contener diferentes ingredientes y/o aditivos (sal, fosfato, proteína, ácidos orgánicos, otros), con el objetivo de mejorar el sabor, dar suavidad u otro tipo de atributos como color y jugosidad (Cruz, 2007). Los factores clave del marinado son la absorción y la retención, la primera se refiere a la salmuera absorbida justo después del proceso de marinado, mientras que la segunda se refiere a la salmuera absorbida y retenida después de 24 horas. Es claro que, en el marinado, la retención debe maximizarse para aumentar el rendimiento (Maddock et. al., 2012).

Actualmente, el empleo de ultrasonidos de potencia en el procesamiento de alimentos está basado en la ventaja que representa sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempo de proceso y mejorar atributos de calidad, obteniendo productos frescos y con características nutrimentales y de inocuidad adecuadas. Además, es considerada una tecnología limpia y de gran potencial de aplicación en proceso como secado, congelado, descongelado, extracción, entre otros (Robles et. al., 2012; Gómez et. al., 2009). Esta tecnología provoca el fenómeno de la cavitación, el cual produce disrupción celular y con ello un posible ablandamiento del tejido tratado, como es el caso de la carne. Cárcel (2003) realizó tratamientos a muestras cilíndricas y laminares de lomo de cerdo marinado en salmuera saturada, aplicando ultrasonidos a intensidades elevadas ($> 39 \text{ W/cm}^2$) presentándose ganancias de NaCl significativas superiores a muestras en tratamientos con y sin agitación de la salmuera de marinado (sin aplicación de US). Por lo anterior, con el presente trabajo se pretende acelerar el proceso de marinado de carne de conejo, mejorar su terneza y conservación, aplicando una nueva tecnología, como es el caso de los ultrasonidos de potencia., evaluar el efecto de la aplicación de dicha tecnología en la transferencia de materia durante el marinado de la carne de conejo, así como analizar las cinéticas de agua y NaCl.

En el presente trabajo, se observó un aumento de cloruros de sodio en la carne conforme avanzaba el tiempo de marinado, los ultrasonidos beneficiaron el proceso ya que se encontraron diferencias significativas entre el proceso sin ultrasonidos y con ultrasonidos. El contenido de NaCl aumentó en todos los tratamientos cuando se aplicaron los ultrasonidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima

Como materia prima se utilizó carne de conejo de raza California, adquirida en el Centro Nacional de Cunicultura ubicado en la ciudad de Irapuato. Se obtuvieron muestras de las piernas traseras de los conejos, en forma paralelepípedica (5 x 3 x 1 cm), haciendo el corte en la carne previamente congelada.

Tratamientos

Las muestras fueron sometidas a diferentes tratamientos en medio líquido. Estas fueron marinadas por inmersión en soluciones que contenían diferentes concentraciones de NaCl (70, 140, 200 gr/l), con un agregado de 3g/l de NaNO₂ y 1.5% de ácido cítrico. A diferentes tiempos (0, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min) las muestras fueron retiradas de las soluciones de marinado. Estos mismos tratamientos se realizaron aplicando ultrasonidos de potencia por medio del uso de un baño de ultrasonidos (Branson M2800) a 40 kHz y 110 W de potencia de salida. Antes y después de los tratamientos se pesaron las muestras.

Extracción y Determinación de NaCl

Pasado el tratamiento de marinado, se realizaron extractos de las muestras de carne a fin de determinar su contenido de NaCl con el método de Mohr (AOAC. 2000). Para ello, se tomaron 5g de muestra triturada, esta se sometió a cocción por 2 minutos en 50 ml de agua destilada y posteriormente se aforó a 100ml. Finalmente, se filtró en un papel filtro Whatman No. 4, obteniendo así el extracto. A 5ml del extracto final se agregaron 3 gotas de solución de K₂Cr₂O₇ y se titularon con AgNO₃ a 0.1N hasta obtener coloración anaranjada. Por último, se calculó el porcentaje de NaCl (James. 1995).

Determinación de humedad

Se realizó con 5 g de muestra previamente triturada. Esta se deshidrató en un horno Shel LAB a 100°C durante 24 horas hasta llegar a peso constante. Se determinó el contenido de humedad por cálculo (AOAC. 2000).

Modelización y cálculo de la difusividad

Para la modelización y cálculo del coeficiente de difusión del NaCl en las muestras de carne de conejo, se usó un modelo difusivo a partir de la segunda ley de Fick (ecuación 1). Se consideró una geometría de lámina semi-infinita, resistencia externa despreciable y que las dimensiones de las muestras permanecían constantes durante todo el experimento.

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D_e \left[\frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} \right] \quad (1)$$

Una vez formulado el problema se obtuvo la ecuación de gobierno (ecuación 1), la condición inicial (ecuación 2) y las condiciones de contorno (ecuación 3 y ecuación 4).

$$C(x,0) = C_0 \quad (2) ; \quad \frac{\partial C}{\partial t} (x=0) = 0 \quad (3) ; \quad C(L) = C_e \quad (4)$$

En la resolución de la ecuación 1 considerando las condiciones mencionadas (ecuación 2, ecuación 3, ecuación 4). se obtiene una ecuación que permite calcular la concentración media de NaCl en toda la muestra.

$$\frac{\bar{C}(0-L,t) - C_e}{C_0 - C_e} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\lambda_n L} e^{-D\lambda_n^2 t} \quad (5)$$

Donde $\lambda_n L = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$, n= 0.1.2....

De donde \bar{C} es el contenido medio de la sustancia que difunde, C₀ y C_e contenido inicial y de equilibrio de la sustancia que difunde. La bondad del ajuste de los datos experimentales al modelo (ecuación 5) se calculó mediante el porcentaje de varianza explicada.

$$\% \text{ var} = \left(1 - \frac{S_{yx}^2}{S_y^2} \right) \quad (6)$$

Donde. S_y^2 y S_{yx}^2 son las desviaciones estándar de la muestra y de la correspondiente estimación, respectivamente.

$$S_y^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (C_{i \text{ exp}} - \bar{C}_{\text{exp}})^2}{N-1} \right) ; \quad S_{yx}^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (C_{i \text{ exp}} - C_{i \text{ calc}})^2}{N-2} \right)$$

Donde $C_{i \text{ exp}}$ es el valor experimental, \bar{C}_{exp} es el promedio de los valores experimentales, $C_{i \text{ calc}}$ es el valor calculado por el modelo y N es el número de determinaciones (Mercier et al. 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad experimental de las muestras durante el proceso de marinado se muestra en la Figura.1. Como se esperaba, cuanto más largo sea el tiempo de marinado, menor será el contenido de humedad. Además, se observa que el contenido de humedad disminuye con el aumento de la concentración de NaCl en la solución de marinado. Dicho efecto es mayor al aplicar una concentración de 200 g de NaCl/L, mientras que a 70 y 140 g de NaCl/L las muestras alcanzaron el equilibrio en el mismo tiempo con un contenido de 72% de humedad.

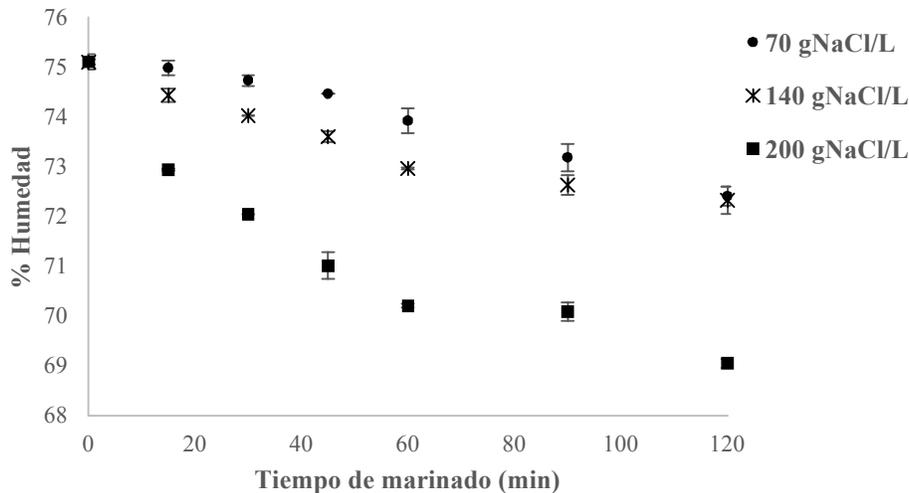


Figura 1. Contenido de humedad en láminas de carne de conejo marinadas a diferentes concentraciones de NaCl.

El Contenido de NaCl en las muestras de carne de conejo durante el tiempo de marinado se presenta en la Figura 2. Se observa que la concentración de NaCl aumentó al incrementar el tiempo de marinado, siendo este incremento más elevado los primeros 20 minutos de tratamiento. Estos resultados son acordes en proceso de salado de carne por inmersión, en donde se presenta una penetración rápida de sal en el inicio de salado, siguiendo una tendencia a la uniformidad al final del proceso (G.Volpato et. al., 2007). Igualmente, se puede observar un efecto de la

concentración de NaCl en la solución de marinado sobre el contenido de NaCl en la carne de conejo, en donde una mayor penetración de dicha sal se presentó al aumentar la concentración de la solución. Dicho efecto fue mayor al aplicar una concentración de 200 g de NaCl/L.

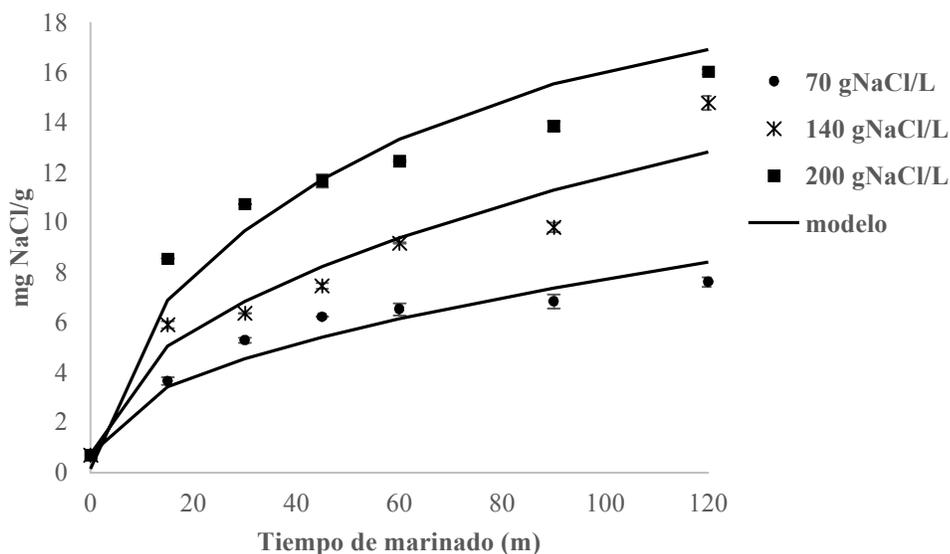


Figura 2. Cinéticas de penetración de NaCl en láminas de carne de conejo marinadas a diferentes concentraciones de NaCl. Ajuste de los datos al modelo matemático.

Los valores del coeficiente difusivo se presentan en la Tabla 1, además del porcentaje de varianza para el ajuste de los modelos a los datos experimentales. Se observa que, al incrementar la concentración de NaCl en las soluciones de marinado, también se incrementaron los coeficientes de difusividad efectiva de NaCl ($p < 0.05$). Graiver et. al, 2006 realizaron estudios de difusión de NaCl en carne de cerdo, encontrando coeficientes difusivos 100 veces más bajos que lo obtenidos en este estudio. Dicha diferencia puede deberse a que en nuestro estudio se aplicó ácido cítrico en el marinado, y puesto que la aplicación de ácido cítrico en carne, produce ruptura del tejido y pérdida elevada de agua (Goli et al., 2014), esto disminuye la difusión de las sales disueltas en la fase acuosa de la matriz cárnica. Por otro lado, se obtuvo un ajuste adecuado de los datos experimentales de NaCl al modelo de Fick (Fig. 2), esto se confirma con los valores obtenidos en el porcentaje de varianza mayores a 90% (Tabla 1).

Los US afectaron significativamente la difusividad del cloruro de sodio ($p < 0.05$). Los valores del coeficiente de difusión aumentaron al aplicar los ultrasonidos en el proceso de marinado (Tabla 1). En la Figura 3 se muestra el contenido de NaCl en láminas de carne de conejo marinadas a 200 gr de NaCl/L sin y con aplicación de US. Se puede observar una mayor concentración de NaCl en las muestras tratadas con US durante el marinado. Igualmente, el ajuste de los datos al modelo matemático fue satisfactorio (%var mayor a 90%).

Tabla I. Coeficiente de difusión efectiva de NaCl en carne de Conejo. Efecto de la concentración de NaCl.						
Tratamiento (g NaCl/L)	Baño estático			Baño con US		
	De $\times 10^7$ (m^2/s)	\pm std $\times 10^7$	% var.	De $\times 10^7$ (m^2/s)	\pm std. $\times 10^7$	% var.
70	1.36 ^a	0.09	95.52	4.20 ^d	0.04	90.10
140	3.44 ^b	0.06	92.14	4.60 ^f	0.02	96.30

120	6.38 ^c	0.30	93.12	9.69 ^g	0.32	96.62
-----	-------------------	------	-------	-------------------	------	-------

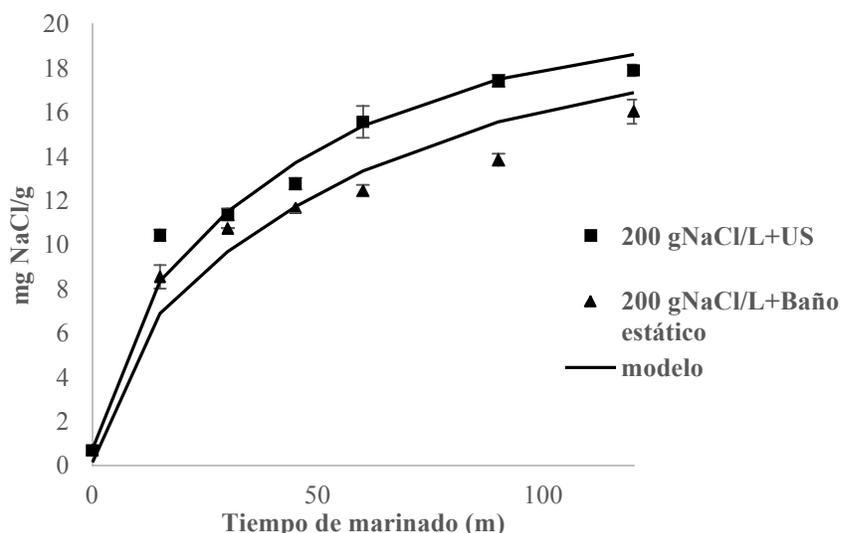


Figura 3. Contenido de NaCl en láminas de carne de conejo marinadas a 200 gr de NaCl/L en baño de estático y en baño con aplicación de US. Ajuste de los datos al modelo matemático.

BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. *Official Methods of Analysis*. (2000). EUA.
- Goli, T., Ricci, J., Bohuon, P., Marchesseau, S., Collignan, A. (2014). Influence of sodium chloride and pH during acidic marination on water retention and mechanical properties of turkey breast meat. *Meat Science*, 96 (2014), pp. 1133–1140.
- Gómez Díaz. L. M. (2009). Aplicaciones del ultrasonido en el tratamiento de alimentos. *temas selectos de ingeniería de alimentos*. 59-73.
- Cárceles, J.A., Benedito, J., Bon J., Mulet, A. (2003) Influencia de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de materia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España.
- Maddock. M. (2012). Carnes marinadas. otra alternativa de carnes maduradas en el mercado. *contexto ganadero*.
- Medina. J. C. (2007). Condiciones técnicas para garantizar un buen marinado en la carne. *engormix*.
- Mercier. S., Villeneuve. S., Mondor. M., Moresoli. C., Marcos. B. 2015. Modeling of the water absorption during the steeping of yellow peas. *Food and Bioproducts Processing*. 94. 20-28
- Robles & Ochoa. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 109-122.
- S. James (1995). *Analytical Chemistry of Foods*. First edition.
- TIERRA FÉRTIL (2015). Producción de conejo estancada en México. [Consulta el 18 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.tierrafertil.com.mx/produccion-de-conejo-estancada-en-mexico>
- Volpato G, Michielin E.M.Z, Ferreira S.R.S, Petrus J.C.C.(2007). Kinetics of the diffusion of sodium chloride in chicken breast (pectoralis major) during curing. *Journal of Food Engineering*, 79:779-785.