

## VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO EN ZANAHORIA Y MODELADO DEL PROCESO

J. S. García-Ramírez<sup>a</sup>, A. Cerón-García, C. Ozuna, J. A. Gómez-Salazar<sup>a, b\*\*</sup>.

<sup>a</sup> Departamento de Alimentos División de Ciencias de la vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Irapuato-Silao km 9, Ex Hacienda el Copal, C.P. 3600, Irapuato, Guanajuato, México. <sup>b</sup> Universidad De La Salle Bajío, Avenida Universidad 602, Lomas del Campestre, 37150 León de los Aldama, Guanajuato, México. \*jsamane@hotmail.com, \*\*julian.gomez@ugto.mx

### RESUMEN:

La industria alimentaria, en respuesta a la demanda por parte de los consumidores de alimentos naturales, frescos y libres de conservantes químicos, emplea agentes orgánicos para mejorar la conservación de alimentos. El ácido cítrico es uno de los aditivos más utilizados por la industria alimentaria. Es un ácido orgánico tricarbónico que está presente en la mayoría de las frutas, es un buen conservante y antioxidante natural. El objetivo de este estudio fue evaluar la velocidad de penetración de ácido cítrico en muestras de zanahoria así como los procesos de transferencia de materia que tienen lugar en tratamientos sólido-líquido. Para la experimentación se escogieron tres concentraciones industriales de ácido cítrico (150 ppm, 400 ppm y 900 ppm) en donde láminas zanahoria se sumergían a diferentes tiempos (entre 0 y 120 minutos). Se realizó un estudio cinético del transporte de agua y ácido cítrico en cada experimento, se modelaron dichas cinéticas y se calcularon los coeficientes de difusión de agua y ácido cítrico. Los resultados indicaron que el contenido de humedad y ácido cítrico en las zanahorias aumenta al incrementar los tiempos de inmersión y la concentración de ácido cítrico en la solución. Se observó un aumento del coeficiente de difusión con el aumento de la concentración de ácido cítrico.

### ABSTRACT:

The food industry, in response to demand from consumers of natural, fresh and free of chemical preservative food, organic agents were used to improve conservation. Citric acid is one of the additives most used by the food industry, it is a tricarboxylic organic acid and it is present in most fruit. It is a good preservative and a natural antioxidant. The objective of this study was to evaluate the rate the penetration of citric acid in carrot samples and processes of mass transfer occurring in solid-liquid treatments Three concentrations of acid were chosen, where the samples were immersed for different times. From the experiment carried out, a kinetic study of the transferred water and solutes was made, these kinetic were molded and the coefficients of the diffusion of water and solutes were calculated. The results indicated that the moisture and citric acid concentration of the samples increases with increasing immersion time and concentration of the citric acid solutions. An increment of the diffusion coefficient with the raise of the concentration of citric acid was observed.

**Palabras clave:** ácido cítrico, conservante, zanahoria.

**Keywords:** citric acid, carrot, preservative.

**Área:** Modelación de Procesos

### INTRODUCCIÓN

En el mercado actual es cada día mayor la tendencia de los consumidores a adquirir alimentos con características sensoriales que reflejen una mínima intervención de procesos industriales, muy especialmente cuando el alimento comercializado es una

fruta o un vegetal. En respuesta a dicha demanda, se han desarrollado un conjunto de procedimientos o técnicas de conservación de alimentos.

El empleo de agentes orgánicos para mejorar la conservación de alimentos, es una alternativa de uso eficiente en el proceso mínimo de frutas y verduras puesto que reduce el contenido de microorganismos y retarda la actividad enzimática (Gabaldón-Leyva et al., 2007). Entre ellos destaca el ácido cítrico, que es uno de los aditivos más utilizados por la industria alimentaria, es un ácido orgánico tricarbónico que está presente en la mayoría de las frutas, es un buen conservante y antioxidante natural.

Los tratamientos de alimentos sólidos en disoluciones hipertónicas han sido utilizados como un medio para prolongar su vida útil desde hace mucho tiempo.

En este tipo de procesos, se pueden distinguir dos flujos principales de materia de sentidos opuestos. Por un lado, una salida de agua del sólido y, por otro lado, una ganancia de solutos procedentes de la disolución. En ambos flujos, se distinguen por lo tanto dos tipos de transporte diferenciados. Un transporte interno en el sólido y un transporte externo entre la superficie del sólido y la disolución. Una propiedad fundamental del transporte interno, y característica de cada material, es la difusividad, que se define, por analogía con la conductividad térmica de los procesos de transferencia de calor.

Los modelos matemáticos suponen un camino para describir determinados procesos o fenómenos a partir de datos determinados experimentalmente o para predecir comportamientos bajo condiciones diferentes (Mulet, 1994). Para describir la transferencia de materia (agua) ocurrida durante el proceso de absorción de un alimento existen varias ecuaciones empíricas y teóricas que ajustan los datos experimentales de humedad en función del tiempo. Dentro de las más utilizadas están: el modelo difusional, el cual utiliza la segunda ley de Fick, el modelo empírico de Peleg, las cuales se ha demostrado que simulan correctamente el proceso (Marín et al. 2006). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue estudiar las cinéticas de penetración de ácido cítrico en zanahoria mínimamente procesada y modelar dicho proceso.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Materia prima**

Como materia prima se utilizaron zanahorias de la variedad Nantes Op, adquiridas en el mercado local del municipio de Irapuato. Esta zanahoria es de forma cilíndrica, muy uniforme, excelente color naranja intenso, de follaje vigoroso y oscuro.

### **Preparación de las muestras de zanahoria**

Las zanahorias se lavaron con agua destilada y se cortaron en láminas uniformes de (2.9 x 10.2cm) a fin de tener una geometría específica y un volumen de control para modelar el proceso. Las muestras se pesaron antes y después de someterlas a los tratamientos.

### **Tipos de tratamientos realizados**

Las muestras de zanahoria se sometieron a distintos tratamientos en medio líquido. Este consistió en una disolución de ácido cítrico a diferentes concentraciones (150, 400 y 900ppm). Todos los tratamientos se realizaron en recipientes que contenían la disolución de tratamiento y en la que se sumergieron las muestras a diferentes tiempos (15, 30, 45, 60, 90, 120 minutos).

### Extracción

Pasado el tiempo de inmersión de las muestras, cada muestra se retiró de la solución y se realizaron extractos de las mismas, de acuerdo a la norma NMX-F-102-S-1978, para ello se trituro la muestra y se tomaron 30g para llevarla a calentamiento con 120ml de agua por una hora cuidando no pasar más de 70°C, una vez pasado el tiempo se filtró y se aforo a 250ml. Del extracto obtenido se tomó una alícuota de 10ml y se diluyó en 100ml de H<sub>2</sub>O.

### Determinación de ácido cítrico

Para determinar el contenido de ácido cítrico se realizó una curva patrón a partir de una solución que contenía una concentración de 725 ppm de dicho ácido (solución madre). Se tomaron diferentes alícuotas, se diluyeron y se determinó su concentración a partir del método piridina anhídrido acético seguido por Marrier et al., (1958). Por otro lado, de los extractos diluidos, se tomó 1ml de cada uno y se determinó el ácido cítrico con el método descrito anteriormente y se leyó su absorbancia con un espectrofotómetro a 420nm. A partir de las absorbancias obtenidas y la curva patrón se calcularon las concentraciones de ácido cítrico contenido en cada muestra.

### Determinación de humedad

La humedad se determinó en las muestras tratadas y en muestras de zanahoria fresca. El principio operacional del método de determinación de humedad se efectuó utilizando estufa y balanza analítica, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra hasta alcanzar un peso constante (Nollet, 1996).

### Modelado

Para el modelado del transporte de agua y ácido cítrico en el interior de la Zanahoria, 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 agua y ácido cítrico en toda la muestra.

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

Donde  $\lambda n L = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$

De donde  $\bar{C}$  es el contenido medio de la sustancia que difunde,  $C_0$  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 y el coeficiente de determinación múltiple  $R^2$ .

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

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

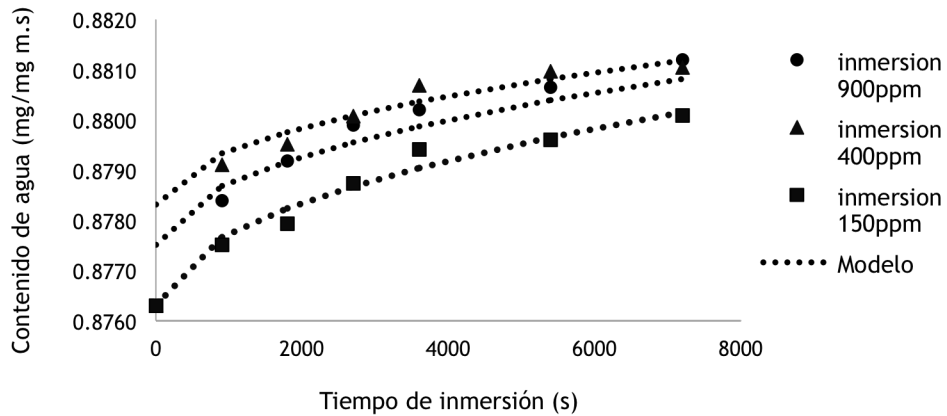
$$S_y^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (C_{i\text{exp}} - \bar{C}_{\text{exp}})^2}{N - 1} \right) \quad (7) \quad S_{yx}^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (X_{i\text{exp}} - X_{i\text{calc}})^2}{N - 2} \right) \quad (8)$$

Donde  $C_{i\text{exp}}$  es el valor experimental,  $\bar{C}_{i\text{exp}}$  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

### Contenido de Humedad

La variación entre el contenido de humedad en las muestras de zanahoria respecto al tiempo de inmersión se presenta en la figura 1. Se observa que la humedad aumenta al incrementar el tiempo de inmersión. Estos resultados pueden ser debido a la adsorción de agua de las muestras y por consiguiente al aumento de volumen (hinchamiento) de las mismas.

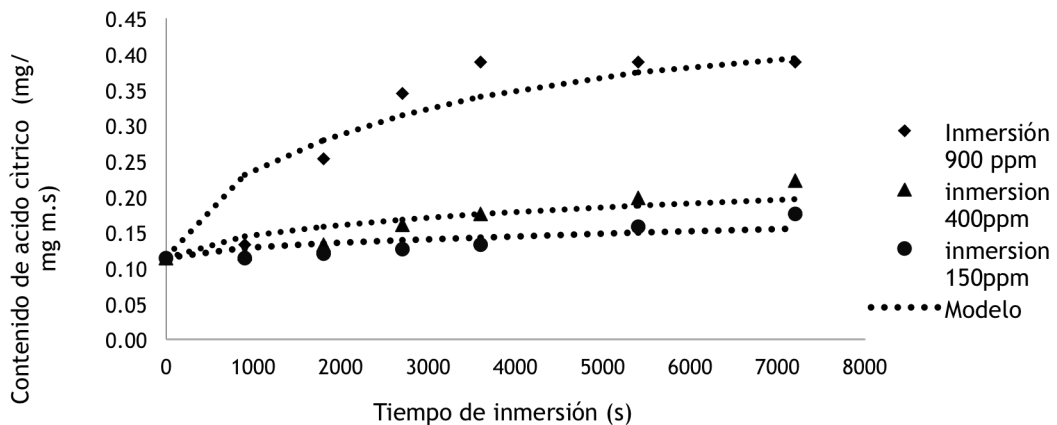


**Figura 1** Comparación entre el contenido de agua promedio experimental y el contenido de agua promedio calculado por el modelo a diferentes concentraciones de inmersión.

Se observa un efecto de la concentración de ácido cítrico en la solución sobre el contenido de agua, por encima de 150ppm las muestras aumentan su contenido de humedad. Durante los primeros 4000 segundos se acelera el contenido de agua en las muestras

**Contenido de ácido cítrico.**

Se obtuvo una curva patrón adecuada, ya que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) resultante fue de 0.9607. La variación en el incremento de la concentración de ácido cítrico en las muestras de zanahoria respecto al tiempo de inmersión se presenta en la figura 2.



**Figura 2** Comparación entre el contenido de ácido cítrico promedio experimental y con el contenido de ácido cítrico promedio calculado por el modelo a diferentes concentraciones de inmersión.

**Determinación del coeficiente difusivo.**

En la tabla 1 se muestran los valores del coeficiente de correlación  $R^2$ , el porcentaje de varianza para el ajuste de los modelos a los datos experimentales, además de los valores calculados del coeficiente de difusión de ácido cítrico y agua en cada una de las cinéticas.

**Tabla I.** Coeficiente difusivo, correlación y porcentaje de varianza, en la difusión de agua y solutos a partir de los tratamientos.

Tratamientos	Ácido cítrico			Agua		
	$R^2$	% Varianza	De ( $m^2/t$ )	$R^2$	% Varianza	De ( $m^2/s$ )
150 ppm	0.87	90.39	$2.57 \times 10^{-7}$	0.99	95.39	$2.68 \times 10^{-7}$
400 ppm	0.93	90.07	$5.44 \times 10^{-7}$	0.98	95.07	$3.14 \times 10^{-7}$
900 ppm	0.93	91.08	$9.00 \times 10^{-7}$	0.99	97.08	$3.00 \times 10^{-7}$

Existe un buen ajuste de los modelos a los datos experimentales (figura 1 y 2), esto debido a los valores obtenidos de  $R^2$  mayores a 0.90. Estos resultados se confirman con los valores obtenidos en el porcentaje de varianza mayores a 90%. Los valores del coeficiente de difusión muestran que conforme aumenta la concentración de las soluciones de inmersión, este aumenta, es decir la velocidad de penetración de agua y solutos en las muestras aumenta al incrementar las concentraciones de las soluciones de inmersión. Los mayores valores del coeficiente de difusión de ácido cítrico y agua se obtuvieron en el tratamiento de 900ppm de ácido cítrico siendo  $9.00E-07 m^2/s$  para ácido cítrico y  $3.00E-07 m^2/s$  para agua.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Gabaldón, C., Quintero, A., Barnard J., Balandrán R., TalamásAbbud, R., Jiménez, J. 2007. Effect of ultrasound on the mass transfer and physical changes in brine bell pepper at different temperaturas. *Journal of Food Engineering*. 81 ,374–379.
- Marin, B., Lemus, M., Flores, M., Vega G. 2006. The rehydration of dehydrated foods. *Chilena de nutrición*. 33, 249–263.
- Marrier, J., Boulet, M. 1958. Direct determination of citric acid in milk with an improved, pyridine acetic anhydride method, *J. Dairy Sci*. 41 (9) ,1683– 1692.
- 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
- Mulet, A. 1994. Drying modelling and water diffusivity in vegetables. *Journal of Food Engineering*. 22, 329-348.
- NMX-F-102-S-1978. Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. Norma mexicana. Dirección general de normas.
- Nollet, M. 1996. Methods, techniques and instruments “En Handbook of food analysis”. CRC Press. 417.