

Efecto de las condiciones de freído sobre la pérdida de humedad y ganancia de aceite en trozos de ñame (*Dioscorea alata*)

The effect of frying conditions on moisture loss and oil uptake in yam slices (*Dioscorea alata*)

Armando Alvis Bermúdez¹, Carlos Vélez Pasos² y Guillermo Arrázola Paternina³

RESUMEN

Las condiciones del efecto de freído sobre la humedad y el contenido de aceite a distintos tiempos fueron estudiadas en dos variedades de ñame: Diamante 22 y Pico de Botella. Los datos experimentales se ajustan a un modelo exponencial de primer orden para la transferencia de humedad ($r > 0,9$) en ambos cultivares. El coeficiente de difusión de la humedad de las dos variedades de ñame, freídos a temperaturas de 140, 160 y 180 °C en tiempos de 1 a 9 minutos fueron de $8,11 \pm 0,76$, $8,21 \pm 0,81$ y $8,62 \pm 0,71 \cdot 10^{-9}$ m²/s, para la variedad Diamante 22, y $8,32 \pm 0,82$, $8,38 \pm 0,78$, $8,54 \pm 0,84 \cdot 10^{-9}$ m²/s para la variedad Pico de Botella, y la energía de activación fue de 24,43 kJ/mol para la variedad Diamante 22 y 21,27 kJ/mol para la variedad Pico de Botella. En los resultados obtenidos se observa que a 180 s y temperatura de 140 °C hay mayor absorción de aceite, teniendo en cuenta simultáneamente la pérdida de humedad en el orden de 0,377 kg de agua/kg de sólidos para Diamante 22 y 0,410 kg de agua/kg de sólido para Pico de Botella a 180 °C durante 540 s.

Palabras clave: freído, pérdida de humedad, coeficiente de difusión, energía de activación, ñame.

ABSTRACT

The effect of frying conditions on immersion on moisture loss and oil content were studied at different times in two yam varieties: Diamante 22 and Pico Botella. The experimental data adjusted itself to the first order exponential model for humidity transfer ($r > 0.9$) for both cultivars. The humidity diffusion coefficient for the two varieties of yam fried at 140°, 160° and 180°C for 1 to 9 minutes were 8.11 ± 0.76 , 8.2 ± 0.81 , and $8.62 \pm 0.71 \cdot 10^{-9}$ m²/s for the Diamante 22 variety, respectively, and 8.32 ± 0.82 , 8.38 ± 0.78 , $8.54 \pm 0.84 \cdot 10^{-9}$ m²/s for the Pico de Botella variety. Activation energy was 24.43 kJ/mol for the Diamante 22 variety and 21.27 kJ/mol for the Pico de Botella variety. The results showed that there was higher oil absorption after 180 s and at 140°C while taking into account 0.377 kg water / kg solid moisture loss for Diamond 22 and 0.410 kg water / kg solid Pico de Botella at 180°C for 540 s.

Keywords: deep fat frying, humidity loss, diffusion coefficient, yam.

Recibido: enero 30 de 2009
Aceptado: febrero 10 de 2010

Introducción

El ñame es, entre los cultivos tropicales de la costa atlántica colombiana, el de menor costo de producción y más remunerativo. Es una planta herbácea con tallo trepador, hojas alternas u opuestas, y la parte alimenticia es el tubérculo, que pueden ser uno o varios y llegan a pesar hasta 20 kg. Los análisis nutricionales han mostrado que aventaja a otras raíces y tubérculos en contenido de aminoácidos y proteínas (Alvis et al., 2008). El freído es básicamente un proceso de deshidratación por inmersión en aceite caliente, la transferencia de masa se caracteriza por la pérdida de humedad y la absorción de aceite, fenómenos que operan en contracorriente. El agua abandona el producto en forma de burbujas de vapor e internamente migra por diversos mecanismos de transporte que aún no han sido dilucidados (Aguilera, 1997). A un alto contenido de humedad de los productos alimenticios que se someten al freído

por inmersión, corresponde una mayor absorción de aceite, y se presume que de un contenido menor de humedad, especialmente en las capas externas del producto, resulta menor evaporación de agua y por tanto menor porosidad interna donde se puede ubicar el aceite absorbido (Demirkol et al., 2006; Aguilera, 1997; Kozempel et al., 1991). Lamberg (1990) determinó que el contenido de humedad en la superficie parece ser el parámetro crítico en la absorción de aceite en tajadas de papa frita. Trozos que fueron escaldados y secados hasta contenidos de humedad entre 1,1 y 2,86% en la superficie mostraron menor absorción de aceite a medida que disminuía la humedad

Algunos modelos se han desarrollado para describir la pérdida de humedad y la ganancia de aceite en productos biológicos (Sakin et al., 2007). Sosa et al. (2006); Vélez y Sosa (2003), Moreira y Bakker-Arkema (1989), Gamble et al. (1987b) y Kozempel et al. (1991) usaron la ley de difusión de Fick's para modelar la pérdida de humedad con un modelo cinético de orden cero para predecir

¹ Ingeniero de alimentos. Especialista, en Gerencia Educativa, Universidad de Córdoba, Colombia. Ph.D., en Ingeniería, Área de énfasis Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Colombia. Profesor, Universidad de Córdoba, Colombia. aalvis2@hotmail.com

² Ingeniero agrícola. M.Sc., en Ingeniería Agrícola y Ph.D., en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Campinas, Brasil. Profesor, Universidad del Valle, Colombia. cvelez@univalle.edu.co

³ Ingeniero de alimentos. Especialista, en Gerencia Educativa, Universidad de Córdoba, Colombia. M.Sc., en Procesos de frutas tropicales, Universidad Miguel Hernández, Orihuela, España. Ph.D., en Ciencias de los Alimentos, Universidad de Alicante, España. Profesor, Universidad de Córdoba, Colombia. guillermo.arrazola@ua.es

la absorción de aceite. Moreira *et al.* (1995) usaron el mismo modelo de difusión para predecir la pérdida de humedad de tajadas de tortilla de maíz durante el freído, encontrando una alta absorción de aceite. Krokida *et al.* (2000) emplearon un modelo cinético de primer orden para predecir la pérdida de humedad y la absorción de aceite de papas fritas en función del tiempo de freído; los resultados indicaron que la temperatura del aceite y el espesor de los trozos de papa tienen efecto significativo en la absorción de aceite y la pérdida de humedad. Math *et al.* (2004) estudiaron los mecanismos de transferencia de humedad y absorción de aceite durante el freído de papas, un *snack* oriental, utilizando un modelo exponencial de primer orden. Yildiz *et al.* (2007) determinaron los parámetros de transferencia de calor y masa durante el freído por inmersión de rebanadas de papa en forma de paralelepípedo de (8,5 x 8,5 x 70 mm) inmersas en aceite de girasol a las temperaturas de 150, 170 y 190 °C., hallando que el coeficiente de difusión tenía valores de $9,2 \pm 1,1 \cdot 10^{-9}$, $11,0 \pm 1,0 \cdot 10^{-9}$ y $18,2 \pm 0,7 \cdot 10^{-9}$ m²/s a las temperaturas de 150, 170 y 190 °C.

Las teorías anteriores coincidieron en que en el freído por inmersión hay absorción de grasa y pérdida de agua; no se han realizado estudios para predecir la pérdida de humedad y ganancia de aceite al freír trozos de ñame a diferentes temperaturas y tiempos de freído. El presente trabajo tiene como objetivo encontrar modelos de mecanismos de transferencia de masa durante el freído por inmersión de trozos de ñame, calculando la pérdida de humedad a varias temperaturas y tiempos de freído, y el estudio del efecto de la temperatura de freído en la absorción de aceite y evaporación de agua en función del tiempo de freído.

Materiales y métodos

Para el estudio se utilizó la variedad Pico de Botella, que se cultiva en la región norte de Colombia. Los ñames fueron pelados, lavados y cortados en forma de paralelepípedo de dimensiones 0,8 X 0,8 x 4 cm. El proceso de freído se llevó a cabo en una freidora de acero inoxidable de 5 litros de capacidad, con control automático de temperatura marca MKE (Indianápolis – Estados Unidos) y se utilizó aceite de soya refinado. Una vez alcanzadas las temperaturas de freído deseadas se sumergieron simultáneamente 30 trozos de ñame y para cada tiempo de freído establecido el producto se extrajo del baño y se dejó escurrir sobre toallas de papel absorbente para eliminar la grasa superficial. Inicialmente, para la determinación del coeficiente de difusión a diferentes temperatura de fritura (140, 160 y 180 °C) se sumergieron trozos de ñame (de 0,8 x 0,8 x 4 cm.) en aceite refinado de soya en una freidora de acero inoxidable de 5 litros de capacidad. Al cabo de distintos tiempos (1, 3, 5, 7 y 9 minutos) se sacaron muestras y se colocaron en papel de filtro para remover el aceite superficial e inmediatamente se les determinó la humedad a 105 °C hasta peso constante (A.O.A.C., 2003) y el contenido de aceite mediante extracción por solvente con hexano durante 8 horas (A.O.A.C., 2003). Para cada temperatura de freído se hicieron tres réplicas.

Resultados y discusión

Pérdida de humedad: los datos experimentales del contenido de humedad en función del tiempo para cada temperatura estudiada se ajustan al modelo exponencial de primer orden propuesto por (Math *et al.*, 2004):

$$(M_t = Ae^{-kt}) \quad (1)$$

donde: M_t = contenido de humedad al tiempo t (kg H₂O/kg sólidos); t = tiempo (min); A = constante (kg H₂O/kg sólidos); k = constante tiempo (1/s).

Las figura 1a y 1b muestran el ajuste lineal ($\ln M_t$ vs. t) de los datos experimentales para las variedades Diamante 22 y Pico de Botella, respectivamente, freídos a 140, 160 y 180 °C. Se observa que hay mayor evaporación de agua a 180 °C que a 140 y 160 °C para ambas variedades; respecto de los resultados obtenidos no hay trabajos realizados con estas variedades. El contenido de humedad final en kg H₂O/kg sólidos fue de 0,377 para Diamante 22 y 0,4107 para Pico de Botella a 180 °C al cabo de 9 minutos, mientras que a 140 y 160 °C fue más elevada. También se aprecia que las dos variedades exhiben el mismo comportamiento y éste es muy similar al informado con la papa a la francesa (Zak y Holy, 1973; Gamble *et al.*, 1987a). En la tabla 1 se presentan los parámetros de las regresiones para ambas variedades de ñame.

Con la difusividad y la energía de activación, al existir un gradiente de concentración de humedad a lo largo de la dirección de difusión, se consideró el cumplimiento de la segunda ley de Fick, que para difusión unidireccional a lo largo del eje (z) y con coeficiente de difusión constante, se expresa mediante la ecuación (2).

$$Ja = D_{AB}(\partial^2 C_A / \partial z^2) \quad (2)$$

La ecuación (2) ha sido resuelta para los casos de geometrías definidas (Crack, 1975). En los ensayos el trozo de ñame tiene forma paralelepípedo de 1 x 1 cm y 4 cm de longitud; por lo tanto, la geometría que se asume es de una placa, y considerando la difusión en estado inestable tenemos la siguiente expresión:

$$\frac{M_t - M_\infty}{M_i - M_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\left(\frac{\pi^2}{4}\right)\left(\frac{Dat}{L^2}\right)} + \frac{1}{9} e^{-9\left(\frac{\pi^2}{4}\right)\left(\frac{Dat}{L^2}\right)} + \frac{1}{25} e^{-25\left(\frac{\pi^2}{4}\right)\left(\frac{Dat}{L^2}\right)} + \dots \right) \quad (3)$$

Descartando los términos de mayor orden en la ecuación (3), asumiendo $M_\infty = 0$ y reagrupando los términos, ésta queda simplificada como:

$$-\ln(\pi^2 M_t / 8M_0) = \pi^2 Da t / 4L^2 \quad (4)$$

donde: M_t = contenido de humedad al tiempo t , (kg H₂O/kg sólidos); M_0 = contenido de humedad inicial (kg H₂O/kg sólidos); t = tiempo (min); L = espesor (m); Da = coeficiente de difusión m²/s.

Para determinar el coeficiente de difusión (D_a) se utilizó la ecuación (4), pues del gráfico $-\ln(\pi^2 M_t / 8M_0)$ vs t , se estima D_a del valor de la pendiente para las tres temperaturas de freído: 140, 160 y 180 °C y para las dos variedades de ñame (Tabla 2). Durante el período inicial de freído se observó la pérdida de humedad más rápidamente y ésta tiende a estabilizarse algo después de 5 minutos, debido a la evaporación en la superficie del producto. El cambio de presión de vapor de agua dentro de los trozos de ñame posiblemente incide en la separación celular del producto. El coeficiente de difusión no presenta diferencias entre las dos variedades. La influencia de la temperatura de freído sobre el coeficiente de difusión efectivo muestra un comportamiento tipo Arrhenius:

$$D_a = D_0 \exp(-E_a / RT) \quad (5)$$

En la figura 2 se ofrece el gráfico correspondiente a $\ln D_a$ en función de $1/T$, de donde se calcula el valor de la energía de activación; estos valores se encuentran cercanos a los reportados por

Hernández *et ál.* (2000) y Vega *et ál.* (2001). Los valores se despliegan en la tabla 2.

Tabla 1. Constantes de la ecuación (1) para Diamante 22 y Pico de Botella

Variedad	Diamante 22			Pico de Botella		
	Temperatura/°C	A/(kgH ₂ O.kg sol ⁻¹)	k/s ⁻¹	r ²	A/(kgH ₂ O.kg sol ⁻¹)	k/s ⁻¹
140	1.848	1.30 *10 ⁻⁰³	0.924	1.762	1.47*10 ⁻⁰³	0.957
160	1.848	1.58 *10 ⁻⁰³	0.912	1.772	2.13*10 ⁻⁰³	0.973
180	1.844	3.06 *10 ⁻⁰³	0.978	1.456	2.40*10 ⁻⁰³	0.947

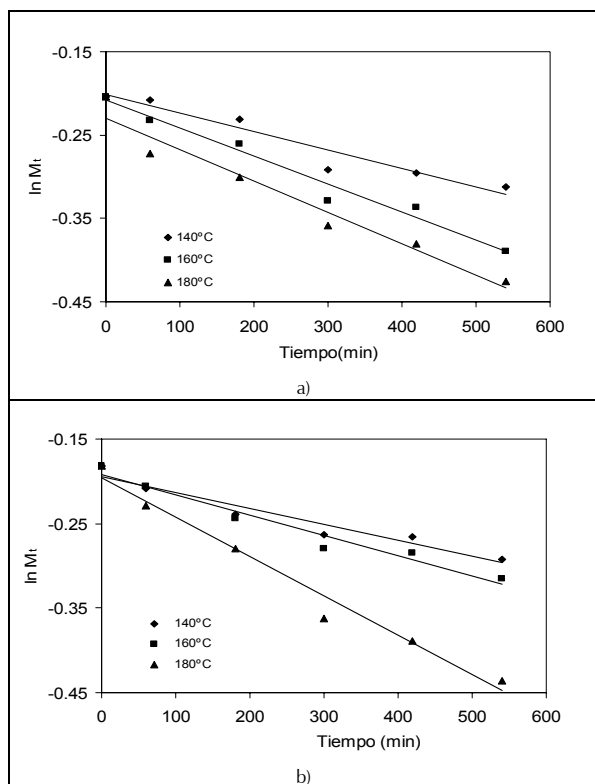


Figura 1. a. Pérdida de humedad de la variedad Diamante 22 a distintas temperaturas según Modelo logarítmico. b. Pérdida de la variedad Pico de Botella a distintas temperaturas según Modelo logarítmico

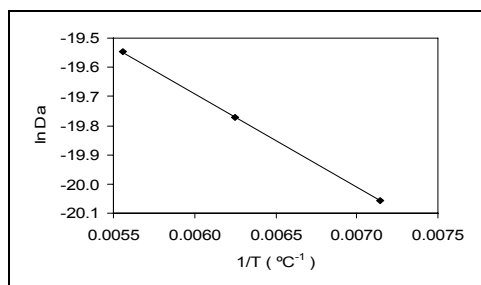


Figura 2. Efecto de la temperatura de freído sobre el coeficiente de difusión.

Tabla 2. Coeficiente de difusión y energía de activación de la humedad durante la fritura del ñame a diferentes temperaturas

Variedad	Diamante 22		Pico de Botella		
	T/°C	Da/(m ² /s x 10 ⁹)	Ea/(kJ/mol)	Da/(m ² /s x 10 ⁹)	Ea/(kJ/mol)
140		8.11±0.76		8.32±0.82	
160		8.21±0.81	24.43	8.38±0.78	21.27
180		8.62±0.71		8.54±0.84	

En las figuras 3a y 3b se señala la variación del contenido de aceite en los trozos de ñame, observándose que aumenta con el tiempo de proceso, siendo máximo a los 180 segundos para la temperatura de 140 °C, lo cual es atribuido al reemplazo del agua evaporada. Algunos autores han reportado aumento en el contenido de aceite cuando la temperatura de éste disminuye para tajadas de patatas (Gamble *et ál.*, 1987a), para tortillas de maíz (Moreira *et ál.*, 1995), para donas (Vélez y Sosa-Morales, 2003), para patatas (Math *et ál.*, 2004) y para trozos de patatas (Yildiz *et ál.*, 2007).

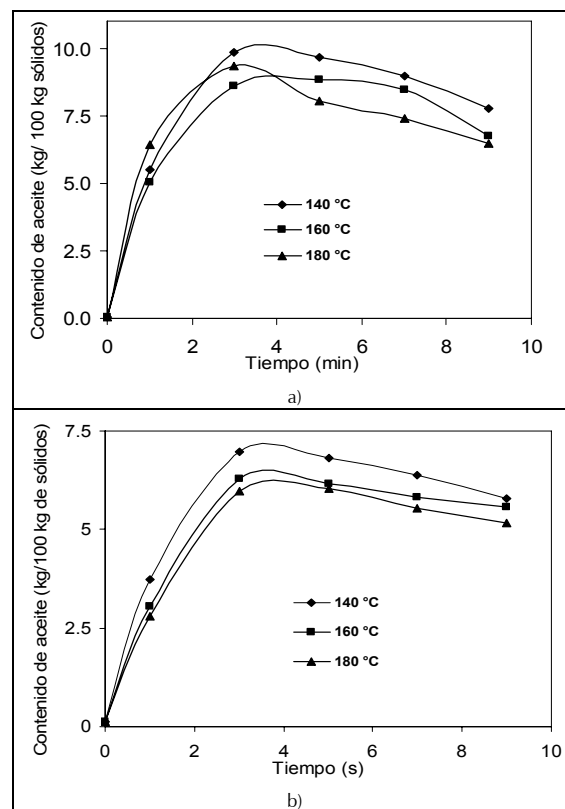


Figura 3. a. Contenido de aceite de la variedad Diamante 22 a distintas temperaturas. b. Contenido de aceite de la variedad Pico de Botella a distintas temperaturas

Conclusiones

Durante el proceso de freído la pérdida de humedad se describe satisfactoriamente por medio de un modelo exponencial de primer orden. No se observaron diferencias apreciables entre las dos variedades de ñame estudiadas en cuanto al coeficiente de difusión y la energía de activación asociadas al proceso de transferencia de masa, cuyos valores son similares a los hallados en el freído de papa tipo francesa. El contenido de absorción de aceite durante el freído por inmersión para las dos variedades de ñame (Diamante 22 y Pico de Botella) es mínima, comparada con otros productos similares sometidos a freído, como papa a la francesa.

Bibliografía

- Aguilera, J. M., Fritura de Alimentos, Temas en Tecnología de Alimentos., Alfa Omega, CYTED, España, Vol. I, Capítulo 5, 1997, pp. 187-214.
- Alvis, A., Vélez, C., Rada-Mendoza, M., Composición de ñames frescos cultivados en Colombia y sometidos a freído por

- inmersión., *Información Tecnológica*, Vol. 19, No. 1, 2008, pp. 3-10.
- AOAC., *Métodos de análisis de la asociación oficial de química analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína.*, Washington, U.S.A., Chapter 32: 1, 2, 5 y 14, 2003.
- Crank, J., *The mathematics of diffusion.*, 2nd Ed., Oxford University Press, London, 1975, pp. 2-37.
- Demirkol, E., Ferruh y Koray., *Analysis of mass transfer parameters (changes in mass flux, difusión coefficient and mass transfer coefficient during baking of cookies.*, *Journal food Engineering* 72, 2006, pp. 364-371.
- Gamble, M. H., Rice, P., Selman, J. D., *Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from.*, *Journal Food Science Technology*, Vol. 22, No. 6, 1987, pp. 233-241.
- Hernández, J. A., Pavon, G., García, M. A., *Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food drying kinetics.*, *Journal of Food Engineering*, Vol. 45, 2000, pp. 1-10.
- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., *Water loss and oil uptake as a function of frying time.*, *Journal Food Engineering*, Vol. 44, No. 1, 2000, pp. 39-46.
- Lamberg, I., *Transport phenomena in potato tissues.*, Dissertation, Departments of Food Engineering, Lund University, Lund, Sweden, 1990.
- Math, R., Velu, V., Nagender, A., Rao, D. G., *Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of potatoes.*, *Journal Food Engineering*, Vol. 64, No. 4, 2004, pp. 429-434.
- Moreira, R., Bakker-Arkem, F., *Moisture desorption model for nonpareil almonds.*, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 42, 1989, pp. 123-133.
- Moreira, R. G., Palau, J. K., Sweat, V. E., Sun, X., *Thermal and physical properties of tortilla chips as a function of frying time.*, *Journal of Food Processing and Preservation*, Vol. 19, No. 4, 1995, pp. 175-189.
- Sakin, M., Ertekin, F. K., Ilicali, C., *Modeling the moisture transfer during baking of white cake.*, *Journal Food Engineering*, 80, 2007, pp. 822-831.
- Sosa-Morales, M. E., Orzuna-Espiritu, R., Vélez-Ruiz, J. F., *Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat.*, *Journal of Food Engineering*, Vol. 77, No. 3, 2006, pp. 731-738.
- Vega, A., Andrés, A., Fito, P., *Cinética de secado por aire caliente de datos de pimiento (*Capsicum annum L.*).*, III Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, Tomo II, Capítulo 2, 2001, pp. 228-234.
- Vélez, R. J. F., Sosa-Morales, M. E., *Heat and mass transfer during the frying process of donuts*, by CRC Press LLC, 2003.
- Yildiz, A. T., Palazoglu, K., Erdogdu, F., *Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices.*, *Journal of Food Engineering*, Vol. 79, No. 1, 2007, pp. 11-17.
- Zak, J., Holt, C., *Effect of finish-frying conditions on the quality of French fried potatoes.*, *Journal Food Sciences*, 38, 1973, pp. 92-95.