

DOI:10.18684/BSAA(14)119-124

PÉRDIDA DE HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE ACEITE DURANTE FRITURA DE TAJADAS DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.)

MOISTURE LOSS AND OIL ABSORPTION DURING THE CHOPS FRIED BANANA (*Musa paradisiaca* L.)

PERDA DE UMIDADE E ÓLEO DE ABSORÇÃO DURANTE O CHOPS BANANA FRITA (*Musa paradisiaca* L.)

ARMANDO ALVIS-BERMÚDEZ¹, PEDRO ROMERO-BARRAGAN², GUILLERMO ARRAZOLA-PATERNINA³

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el efecto de la temperatura y el tiempo sobre la pérdida de humedad y ganancia de aceite y se determinó el coeficiente de difusión en tajadas de plátano maduro durante la fritura por inmersión. Se utilizó plátano de la variedad Hartón con un índice de madurez de $18,9 \pm 0,008$ cortado en rodajas de 4 mm de espesor. La prefritura se realizó en aceite de palma a tres temperaturas (160, 170 y 180°C) durante intervalos de tiempo de 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 segundos. Se observó que hubo mayor evaporación de agua a 180°C, desde 0,66 kg de agua/kg muestra hasta 0,346 kg de agua/kg muestra, que a 160 y 170°C. En cuanto a la absorción de aceite, el contenido de aceite se incrementó rápidamente con el tiempo de proceso, siendo máximo a los 60 segundos para la temperatura de 160°C (13,38% de extracto etéreo). El coeficiente de difusión aumentó a medida que se incrementa la temperatura así: 160°C $8,2137 \pm 0,0936 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, a 170°C $8,3218 \pm 0,0935 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, y a 180°C $8,8622 \pm 0,0935 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Recibido para evaluación: 17 de Diciembre de 2015. **Aprobado para publicación:** 3 de Abril de 2016.

- 1 Universidad de Córdoba, Departamento Ingeniería de Alimentos, Grupo Investigación Procesos y Agro industria de Vegetales. Ph.D. Montería, Colombia.
- 2 Universidad de Córdoba, Departamento Ingeniería de Alimentos, Grupo Investigación Procesos y Agro industria de Vegetales. MSc. Montería, Colombia.
- 3 Universidad de Córdoba, Departamento Ingeniería de Alimentos, Grupo Investigación Procesos y Agro industria de Vegetales. Ph.D. Montería, Colombia.

Correspondencia: aalvis2@hotmail.com

ABSTRACT

In this work the effect of temperature and time on moisture loss and gain oil was studied and the diffusion coefficient was determined in slices of ripe banana during deep fat frying Hartón variety banana was used at a rate of $18,9 \pm 0,008$ maturity sliced 4 mm thick. The pre-frying is performed in palm oil at three temperatures (160, 170 and 180°C) for time intervals of 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 105 seconds. It was observed that was greater evaporation of water at 180°C, from 0,66 kg water/kg sample to 0,346 kg water/kg sample, 160 and 170°C. As for the oil absorption, oil content increased rapidly with the process time being 60 seconds up to a temperature of 160°C (13,38 % crude fat). The diffusion coefficient increased as the temperature increases to 160°C $8,2137 \pm 0,0936 \times 10^{-9}$ m²/s, 170°C $8,3218 \pm 0,0935 \times 10^{-9}$ m²/s, 180°C $8,8622 \pm 0,0935 \times 10^{-9}$ m²/s.

RESUMO

Neste estudo, o efeito da temperatura e do tempo sobre a perda de humidade e ganho de óleo foi estudado e o coeficiente de difusão foi determinada em fatias de banana madura para fritar. Variedade de banana Harton foi utilizado a uma taxa de $9,18 \pm 0,008$ maturidade cortado 4 mm de espessura. Foi realizada pré-frita em óleo de palma em três temperaturas (160, 170 e 180°C) por intervalos de tempo de 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 segundos. Os resultados foram de maior evaporação de água a 180°C, de 0,66 kg de água/kg de exemplo para 0,346 kg água /kg de amostra, 160 e 170°C. Quanto à absorção de óleo, teor de óleo aumentou rapidamente com o tempo de processo sendo máximo de 60 segundos para 160°C (13,38% de gordura bruta). O coeficiente de difusão aumentada quando a temperatura aumenta e 160°C $8,2137 \pm 0,0936 \times 10^{-9}$ m²/s, 170°C $8,3218 \pm 0,0935 \times 10^{-9}$ m²/s, a 180°C $8,8622 \pm 0,0935 \times 10^{-9}$ m²/s.

INTRODUCCIÓN

El plátano es un producto de gran aceptación mundial, valorado en numerosos países en línea de desarrollo como producto básico de la alimentación y como producto para exportación, siendo Colombia junto a Ecuador, los primeros países exportadores de plátano del grupo plantain con 130.000 ton/año. A pesar de esto la producción en Colombia (cerca del 95%) se destina principalmente al consumo en hogares, con menos de un 1% destinado a la transformación agroindustrial [1]. Desde esta perspectiva, es idóneo estudiar los procesos de transformación del plátano, para fortalecer su cadena productiva, haciéndola más competitiva por medio de la elaboración de productos con mejor calidad. Entre los procesos de transformación de plátano establecidos en Colombia, se encuentra la fritura, la cual industrialmente se realiza con las variedades de plátano Hartón (Urabá) y Dominico-Hartón (Zona andina), en la elaboración de chips, patacones prefritos o congelados, entre otros [2].

A un alto contenido de humedad de los productos alimenticios que se someten al freído por inmersión, corresponde una mayor absorción de aceite,

PALABRAS CLAVE:

Plátano dominico hartón, Freído por inmersión, Coeficiente de difusión.

KEYWORDS:

Dominico Harton Plantain, Deep fat frying, Diffusion coefficient.

PALAVRAS-CHAVE:

Banana Dominico Harton, fritos por imersão, coeficiente de difusão.

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 [3]. En la fritura existe un corto proceso llamado pre-fritura, el cual acondiciona el alimento hasta un contenido de humedad intermedio y forma una corteza en la superficie del producto, igual que ocurre en el proceso de elaboración de papas francesas prefritas congeladas. Las tajadas de plátano prefrito elaboradas por medio de esta alternativa tecnológica deberán también ser congeladas para su comercialización y freidas antes de su consumo final [4]. El objetivo de este estudio fue encontrar las mejores condiciones de operación de los procesos de pre-fritura, para aplicarlos en la elaboración de tajadas de plátano en estado de madurez, estudiando la pérdida de humedad y ganancia de aceite durante el prefreído de tajadas amarillas de plátano (*Musa paradisiaca* L.)

MÉTODO

Se utilizaron plátanos puntillas provenientes del Municipio de Puerto Escondido (Córdoba) en estado verde, libres de roturas o daños mecánicos generados por golpes; a los cuales se les monitoreó el proceso de maduración en la Planta Piloto de Vegetales de la Universidad de Córdoba. Los plátanos se seleccionaron teniendo en cuenta el estado de maduración de los frutos: Amarillo (A) y muy amarillo (MA), de acuerdo con la escala de color para la maduración del banano propuesta por Van Loesseecke (1950) adaptada para plátano Dominicano Hartón [5]. Una vez alcanzado el color deseado se procedió hacer las muestras. la investigación.

Las tajadas de plátano maduro de 4 mm de espesor se sumergieron en aceite de palma a las temperaturas de 160, 170 y 180°C por intervalos de tiempo 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 segundos en una freidora de acero inoxidable con sistema de control de temperatura, se sacaron las muestras y se colocaron en papel absorbente para remover el aceite superficial y se procedió a determinar la pérdida de humedad mediante el método 930.15/90 de la A.O.A.C y la absorción de aceite mediante el método 920.39/90 [6].

Para determinar el coeficiente de difusión se partió de la segunda ley de Fick de difusión en una dimensión, el cambio en la concentración de humedad se representa por la ecuación 1 [3, 7, 8, 9, 10].

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_a \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (\text{Ec.1})$$

La solución a la ecuación 1 fue presentada para placas, cilindros y esferas como una ecuación de concentración, posición, tiempo y resistencia superficial despreciable. Esto puede ser usado para predecir la concentración en cualquier instante a través de una tajada de plátano maduro durante la fritura. La concentración de humedad promedio puede ser normalizada de acuerdo a la ecuación 2.

$$\frac{C(t)-C_\infty}{C_i-C_\infty} = \frac{\text{Contenido humedad promedio final}}{\text{Contenido humedad inicial uniforme}} \quad (\text{Ec.2})$$

La solución para una placa infinita de espesor 2 L se expresa mediante la ecuación 3:

$$\frac{C(t)-C_\infty}{C_i-C_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\left(\frac{\pi^2}{4}\right)\left(\frac{Dat}{L^2}\right)} + \frac{1}{9} e^{-9\left(\frac{\pi^2}{4}\right)\left(\frac{Dat}{L^2}\right)} + \frac{1}{25} e^{-25\left(\frac{\pi^2}{4}\right)\left(\frac{Dat}{L^2}\right)} \right) + \dots + \quad (\text{Ec.3})$$

Para períodos largos de proceso, se toma solamente el primer término de la ecuación 3, el cual provee resultados con suficiente precisión.

$$\frac{C(t)-C_\infty}{C_i-C_\infty} = \frac{8}{\pi^2} e^{-\left(\frac{\pi^2}{4}\right)\left(\frac{Dat}{L^2}\right)} \quad (\text{Ec.4})$$

Aplicando logaritmo natural a ambos lados para simplificar la ecuación 4 se tiene:

$$\ln \left(\frac{C(t)-C_\infty}{C_i-C_\infty} \right) = -\frac{\pi^2}{4} * \frac{Da}{L^2} t + \ln \frac{\pi^2}{8} \quad (\text{Ec.5})$$

Como se observa, la ecuación 5 toma la forma , luego, graficando en función del tiempo, se obtiene una ecuación linealizada, donde el coeficiente de difusión, (D_a en m^2/s), puede ser calculado utilizando la pendiente de la curva así:

$$m = \frac{-\pi^2 D_a}{4L^2} \quad (\text{Ec.6})$$

Dónde: $C(t)$ = Contenido de humedad al tiempo t, ($kg H_2O/kg$ sólidos); C_i = Contenido de humedad inicial ($kg H_2O/kg$ sólidos); C_∞ = Contenido de hu-

medad en equilibrio (kg H₂O/kg sólidos); t = Tiempo (min.); L = Espesor (m) D_a = Coeficiente de difusión m^2/s , m = Pendiente.

RESULTADOS

Determinación de la pérdida de humedad

El contenido de humedad de las tajadas de plátano maduro prefritas a las tres temperaturas presentó una tendencia decreciente con el tiempo de fritura, tal y como se muestra en la figura 1, en esta se observa, durante los primeros 15 segundos de proceso, una mayor evaporación de agua a 180°C desde 0,66 kg de agua/kg hasta 0,346 kg de agua/kg, que a 160°C y 170°C. Pasado este tiempo, disminuye la pérdida de humedad en un periodo más o menos largo. Esto se debe a que la humedad interna abandona el alimento y la temperatura en el centro tiende a elevarse hasta el punto de ebullición del agua, Amiryousefi, Mohebbi, Khodaiyan [11] encontraron que en cubos de carne de avestruz la pérdida de agua fue de 0,108707 g de agua/g de sólido a 135°C, [12] encontró que en papas tipo papa a la francesa se obtuvo mayor pérdida de agua (desde 1 hasta 0,1 kg de agua/kg de sólido) a 180°C que a 140°C (desde 1 hasta 0,25 kg de agua/kg de sólido), mientras que la temperatura de la corteza se aproxima a la del aceite caliente [3, 8, 9, 10, Lalam et al, encontró pérdida de humedad de 15.8 g/100 g en muestras de nuggets de pollo, a 175 °C. [13]

Determinación de la absorción de aceite

En la figura 2 se observa que la absorción de aceite de las tajadas prefritas aumenta a medida que se

Figura 1. Pérdida de humedad de las tajadas prefritas de plátano amarillo a las temperaturas estudiadas.

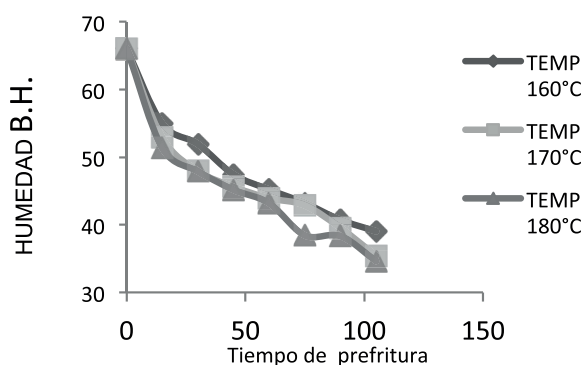
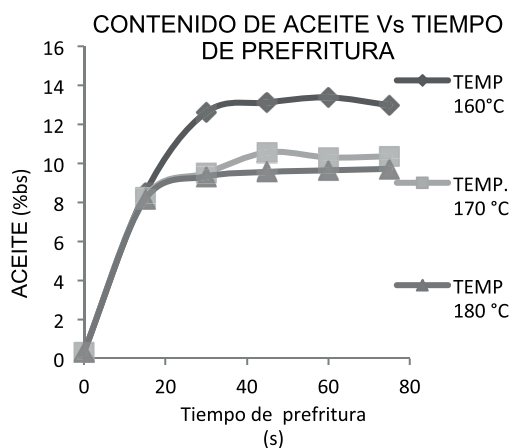


Figura 2. Cinética de absorción de aceite en las tajadas de plátano maduras prefritas a las temperaturas estudiadas.



incrementan los tiempos del proceso a las diferentes temperaturas, esto se debe principalmente a la pérdida considerable de humedad en el producto la cual es reemplazada por aceite resultados similares han sido reportados en varios trabajos de investigación como (3, 9, 10, 14, 15, 16]. Existiendo una relación inversamente proporcional entre el contenido de grasa y la pérdida de humedad de las tajadas de plátano amarillo y por su parte la absorción de aceite disminuye a medida que aumenta la temperatura de proceso [23, 24].

Determinación del coeficiente de difusión de las tajadas de plátano amarillo durante el prefreído por inmersión

Para determinar el coeficiente de difusión (D_a) se empleó la segunda ley de Fick, a partir de la cual se estima D_a del valor de la pendiente para las tres temperaturas de freído 160, 170 y 180°C lo mencionado se observa en el cuadro 1. Se observa que el coeficiente de difusión de la humedad de las tajadas aumenta con la temperatura del proceso de fritura, resultados similares a los reportados por, Alvis *et al*, [9] para trozos de batata ($0,92 \pm 0,17 \times 10^{-6}$, $1,07 \pm 0,14 \times 10^{-6}$, $1,39 \pm 0,38 \times 10^{-6}$ m^2/s) a las temperaturas de 150, 170 y 190°C, Tirado *et al*, [10] en fruta de pan ($1,08 \times 10^{-10}$, $9,57 \times 10^{-10}$, $10,86 \times 10^{-10}$ m^2/s) a las de 150, 170 y 190°C, Yildiz *et al*, [16] para trozos de ñame fritos (entre $1,95 \times 10^{-9}$ m^2/s y $3,24 \times 10^{-9}$ m^2/s) a las temperaturas de 140, 170 y 180°C y [15] en trozos de papa ($9,2 \pm 1,1 \times 10^{-9}$, $11,0 \pm 1,0 \times 10^{-9}$ y $18,2 \pm 0,7 \times 10^{-9}$ m^2/s) a las temperaturas de 150, 170 y 190°C respectivamente y son menores a los reportados por Tirado *et al*, [17] para el freído de pasabocas de plátano Hartón con espesor de

Cuadro 1. Coeficientes de difusión de la humedad de las tajadas de plátano maduro prefritas a las tres temperaturas estudiadas.

Temperatura de proceso (°C)	Coefficiente de difusión (m ² /s)
160	8,2137 ± 0,0936x10 ⁻⁹
170	8,3218 ± 0,0935x10 ⁻⁹
180	8,8622 ± 0,0935x10 ⁻⁹

3 mm (2,1817x10⁻⁸ m²/s) a 160°C; Alvis et al, [18] en salchichas fritas (1,31x10⁻⁷ m²/s) a 180°C. Aunque los valores son comparables, las diferencias en magnitud se deben al tipo de alimento, humedad presente, aceite empleado, características estructurales y área de transferencia del alimento, así como a las condiciones de operación del proceso utilizadas en cada experimento [19, 20, 21, 22].

CONCLUSIONES

El contenido de humedad de las tajadas de plátano maduro prefritas a las tres temperaturas estudiadas presentó una tendencia decreciente con el tiempo de fritura, observando mayor evaporación de agua a 180°C con respecto a las temperaturas de 170 y 160°C. La absorción de aceite aumenta con el tiempo de fritura y disminuye a medida que aumenta la temperatura de proceso, encontrándose que la mayor absorción de aceite en las tajadas prefritas se dio a 160°C con un porcentaje de grasa de 13,3817 ± 0,1032 transcurridos 60 s del proceso y la menor absorción se dio a 180°C con un porcentaje de grasa de 9,7164 ± 0,0352% a los 75 s de proceso. El coeficiente de difusión para las tajadas prefritas de plátano aumentó con la temperatura del proceso de fritura, los valores obtenidos a 160, 170 y 180°C fueron de 8,2137 ± 0,0936x10⁻⁹ m²/s, 8,3218 ± 0,0935 x10⁻⁹ m²/s y 8,8622 ± 0,0935x10⁻⁹ m²/s respectivamente.

REFERENCIAS

[1] ASOCIACIÓN HORTOFRUTÍCOLA DE COLOMBIA. La cadena del plátano en Colombia. 2010. Disponible: <http://http://asohofrucol.com.co/archivos/cadenas/plátano.pdf>. [citado 10 Febrero 2014].

[2] ORTEGA, J., MARRUGO, J. y ALVIS, A. Alternativa agroindustrial para el aprovechamiento de los excedentes de la producción de plátano en el departamento de Córdoba. Bogotá (Colombia): Editores e Impresores, 2004, p. 16-47.

[3] ALVIS, A., VÉLEZ, C. y ARRÁZOLA, G. Efecto de las condiciones de freído sobre la pérdida de humedad y ganancia de aceite en trozos de ñame (*Discorea alata*). Revista Ingeniería e Investigación, 30(1), 2010, p. 41-44.

[4] KIM, T. and MOREIRA, R. Deoiling and pre-treatment of for high quality potato chips. Journal of Food Processing Engineering, 36(3), 2013, p. 267-275.

[5] CAYÓN, D., GIRALDO, A. y ARCILA, I. Fisiología de la maduración. En: Poscosecha y agroindustria del plátano en el Eje Cafetero de Colombia. Armenia (Colombia): Universidad del Quindío, 2000, p. 27-37.

[6] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15 ed. Arlington (USA): 1990.

[7] CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. New York (USA): Oxford University, 1975, p. 1-24.

[8] JIBAJA, H. Modelado de la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) [Tesis Ingeniero Agroindustrial]. Quito (Ecuador): Escuela Politécnica Nacional, 2010.

[9] ALVIS, A., GONZÁLEZ, A. y ARRÁZOLA, G. Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas Lam*) Fritos por Inmersión. Parte 2: Propiedades Termofísicas y de Transporte. Revista Información Tecnológica, 26(1), 2015, p. 103-116.

[10] TIRADO, D., ACEVEDO, D. y GUZMÁN, L. Transferencia de Calor y Materia durante el Proceso de Freído de Alimentos: Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y Fruta de Pan (*Artocarpus communis*). Revista Información Tecnológica, 26(1), 2015, p. 85-94.

[11] AMIRYUSEFI, M., MOHEBBI, M. and KHODAIYAN, F. Applying an intelligent model and sensitivity analysis to inspect mass transfer kinetics, shrinkage and crust color changes of deep-fat fried ostrich meat cubes, Revista Meat science, 96, 2014, p. 172-178.

[12] MOYA, K. Determinación de la calidad en papas tipo "french fries" mediante visión computacional y estudio de sus propiedades físicas [Tesis Ingeniero de Alimentos]. Santiago de Chile (Chile): Universidad Santiago de Chile, 2011.

[13] LALAM, S., JASPREET, S., TAKHAR, P., THOMPSON, L. and ALVARADO, C. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets. LWT - Food Science and Technology, 50, 2013, p. 110-119.

- [14] BANSAL, H., TAKHAR, P. and MANE-EROTE, J. Modeling multiscale transport mechanisms, phase changes and thermomechanics during frying. *Food Research International*, 62, 2014, p. 709–717.
- [15] DEBNATHB, S., RASTOGIA, N., KRISHNAB, G. and LOKESH, B. Effect of frying cycles on physical, chemical and heat transfer quality of rice bran oil during deep-fat frying of poori: An Indian traditional fried food. *Food and bioproducts processing*, 90, 2012, p. 249–256.
- [16] YILDIZ, A., PALAZOGLU, K. and ERDOGDU, F. Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 2007, p. 11-17.
- [17] TIRADO, D., ACEVEDO, D. y GUZMÁN, L. Freído por inmersión de los alimentos. *Revista Reciteia*, 12(1), 2012, p. 72-80.
- [18] ALVIS, A., CORTES, L. y PAEZ, M. Transferencia de calor y materia durante la fritura de trozos de ñame (*Dioscorea alata*). *Revista Información Tecnológica*, 20(1), 2009, p. 99-109.
- [19] ROSAS, L. y ZAMBRANO, E. Caracterización del proceso de fritura de pasabocas de plátano variedad Dominico Hartón (*Musa AAB Simmonds*) [Tesis Ingeniería Agroindustrial]. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, 2012.
- [20] RAVLI, Y., DA SILVA, P. and MOREIRA, R. Two stage frying process for high quality sweet potato chips. *Journal of Food Engineering*, 118, 2013, p. 31–40.
- [21] ANSARIFAR, E., SHAHIDI, T., MOHEBBI, M., RAZAVI, S. and ANSARIFAR, J. A new technique to evaluate the effect of chitosan on properties of deep-fried Kurdish cheese nuggets by topsis. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 2015, p. 1211-1219.
- [22] MENDEZ, A., WARNING, A., DATTA, A. and BALSA-CANTO, E. Quality and safety driven optimal operation of deep-fat frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 119, 2013, p. 125–134.
- [23] MIR-BEL, J., ORIA, R. and SALVADOR, M. Influence of temperature on heat transfer coefficient during moderate vacuum deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 113, 2012, p. 167–176.
- [24] SOBUKOLA, O., DUJEK, V. and BOUCHON, P. Understanding the effect of vacuum level in structure development and oil absorption in vacuum-fried wheat starch and gluten based snacks. *Food Bioprocess Technology*, 6(8), 2013a, p. 2010–2017.