

Variación de agua y aceite en snacks de mandioca durante la fritura

Hase S.L.^{a*}, Linares A.^a, Kachuk L.^a, Pérez Navarro O.^b, Miño Valdés J.E.^c

^aFacultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, Posadas, Argentina.

^bFacultad de Química y Farmacia, Universidad Central de las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba

^cFacultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Argentina.

e-mails: sandra.hase2011@gmail.com, arlinares2011@gmail.com, leonardokachuk@gmail.com, opnavarro@uclv.cu, minio@fio.unam.edu.ar

Resumen

Los snacks de mandioca son una alternativa atractiva para los productores locales y para la población celíaca ya que no contienen gluten. La fritura por inmersión resulta adecuada para la preparación de snacks de textura y sabor únicos. Los snacks son elaborados a partir de puré de mandioca, cuyo componente mayoritario es el almidón parcialmente gelatinizado. Esto favorece a la formación de una corteza que disminuye la absorción de aceite. El objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones adecuadas de temperatura y tipo de aceite para obtener un producto con bajo contenido de aceite y de agua. Se utilizó aceite de girasol (AG) y aceite de girasol de alto oleico (AGAO) a 150, 170 y 190 °C. Los resultados mostraron que los snacks perdieron peso durante la fritura aunque el volumen se conservó constante. La ganancia de aceite fue mayor a menor temperatura de fritura y la retención de agua fue mayor a mayor temperatura de fritura. Los snacks fritos en AG y AGAO a 170°C durante 180 segundos retuvieron la menor cantidad de agua y aceite.

Palabras Clave – Agua, Aceite, Fritura, Mandioca, Snacks.

Abstract

Cassava snacks are an attractive alternative for local producers and for the celiac population since they do not contain gluten. Deep frying is suitable for preparing snacks with a unique texture and flavor. The snacks are made from cassava puree, the majority component of which is partially gelatinized starch. This favors the formation of a crust that decreases the absorption of oil. The objective of this work was to determine the appropriate conditions of temperature and type of oil to obtain a product with low oil and water content. Sunflower oil (AG) and high oleic sunflower oil (AGAO) were used at 150, 170 and 190 °C. The results showed that the snacks lost weight during frying, although the volume remained constant. Oil gain was higher at lower frying temperature and water retention was higher at higher frying temperature. Snacks fried in AG and AGAO at 170 °C for 180 seconds retained the least amount of water and oil.

Keywords - Water, Oil, Frying, Cassava, Snacks.

1. Introducción

La mandioca, la "comida de los pobres", es una parte esencial de la dieta de más de quinientos mil millones de personas en África, Asia y América Latina y proporciona un medio de vida para millones de agricultores y muchos procesadores y comerciantes de todo el mundo [1]. El desarrollo del cultivo de la mandioca en la provincia de Misiones (Argentina) se consolidó por la instalación

de diversas industrias productoras de almidón. El desarrollo de pequeñas industrias que consuman las raíces frescas y mantengan su demanda de raíces evitaría que el productor entre en crisis porque no puede vender su producción, ante los precios oscilantes del almidón. La fabricación de una serie de productos en base a harina de mandioca, y puré de mandioca, tales como panificados, fideos, o productos fritos u horneados, como los snacks, significaría la apertura de un mercado que, si bien no es tan grande como el mercado de masa del almidón, podrían consumir una importante cantidad de raíces. La elaboración de snacks es adecuada para la producción en pequeña escala porque requiere de poca inversión en equipamiento, agrega valor a la materia prima, y es una forma rentable de empleo para los pequeños productores y permite reducir la vulnerabilidad de los agricultores a la volatilidad de los precios [2].

La fritura se ha tornado en el pilar de la industria de snacks debido a la alta velocidad de cocción y las deseables características de los productos, y es uno de los principales métodos de cocción en la industria de *catering* a gran escala y de comidas rápidas. Desde el punto de vista de la Ingeniería, la fritura por inmersión profunda es una operación unitaria que comprende un proceso complejo de transferencia de calor y masa, entre el alimento y el medio de fritura, que ocurre en forma acoplada, en dos regiones distintas del alimento, separadas por una frontera móvil y temperaturas por encima del punto de ebullición del agua y que promueve alteraciones fisicoquímicas de los componentes principales. Las propiedades que determinan la calidad total en un alimento frito son el contenido de humedad, el contenido de aceite, las propiedades texturales, estructurales y ópticas. La calidad de los productos obtenidos por fritura depende no sólo de las condiciones de fritura sino también del tipo de aceite y del alimento. Los estudios cinéticos de los cambios de calidad durante la fritura predicen y mejoran la calidad final del producto. El objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones adecuadas de temperatura y tipo de aceite para obtener un snack con bajo contenido de aceite y de agua [2].

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Las raíces de mandioca variedad Rocha fueron provistas por la Cooperativa Agrícola Industrial San Alberto Limitada, Puerto Rico, Misiones, Argentina. Luego de ser cosechadas y mantenidas a temperatura ambiente, fueron transportadas de inmediato al laboratorio para ser procesadas. Las raíces se lavaron con agua de red para retirar los restos de tierra, se cortaron en rebanadas de 10 mm de espesor, perpendiculares al eje principal y luego se cortaron en cubos, descartando la fibra central más dura. Las muestras fueron separadas en bolsas herméticas y refrigeradas a -24°C . Estas muestras se enviaron a analizar dando como resultado la composición que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición de las raíces de mandioca

Parámetros	(en g% bh)
Humedad	66,5
Cenizas	1,04
Proteínas (Nx5,7)	0,3
Almidón	31,3
Lípidos	0,1
Fibra cruda	0,74

2.2. Preparación de la muestra

Los snacks se prepararon a partir de puré obtenido por compresión de raíces de mandioca cocidas al vapor. Los bastones de mandioca se obtuvieron haciendo pasar el puré a través de orificios de 6 mm de diámetro y se conservaron en bolsitas de material plástico con cierre hermético a -24°C hasta la realización de las experiencias.

2.3. Fritura

Los bastones de mandioca fueron descongelados a temperatura ambiente y fritos por inmersión profunda, en una freidora con control de temperatura marca Moulinex® Código AF134D, Potencia: 1600 W. La temperatura del aceite se controló mediante una termocupla con sonda Testo de inmersión flexible estanca tipo K clase 1, rango de -60°C a $+1000^{\circ}\text{C}$, transductor patrón Testo un canal T/P modelo 925, con tiempo de respuesta 2 segundos. La freidora se cargó con 2,2 L de aceite. Se utilizó aceite de girasol (AG) marca Natura® con alto contenido de ácido linoleico (poliinsaturado) valioso desde el punto de vista nutricional, y aceite de girasol de alto oleico (AGAO) marca Cocinero®, moninsaturado, de mayor estabilidad y adecuado para la elaboración de snacks. Se mantuvo una relación snacks/aceite de 0,2% P/V, de manera de mantener constante la temperatura del aceite. La temperatura de fritura se fijó en 150°C , 170°C ó 190°C . El tiempo total de fritura para cada temperatura del aceite se determinó en ensayos experimentales previos. Los snacks fritos fueron removidos del aceite mediante una cesta extraíble provista por la freidora y colocados sobre papel absorbente. Después de cada experiencia se controló el nivel de aceite. El aceite fue cambiado después de una hora de tiempo de fritura. Todas las experiencias se realizaron por triplicado.

2.4. Métodos analíticos:

El contenido de agua de los snacks fritos se obtuvo por secado de las muestras a $100 \pm 1^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante.

El contenido de aceite se determinó mediante extracción con Twisselman. Las muestras secas fueron molidas y extraídas con éter de petróleo (p.e. $60-80^{\circ}\text{C}$) por 4 horas. El éter de petróleo fue removido por evaporación, los matraces Twisselman fueron colocados a 60°C en estufa por 24 h y el aceite recuperado fue pesado.

2.5. Modelos matemáticos

El contenido, de agua y de aceite de los snacks de mandioca, se expresó en base al contenido de sólidos no grasos, a partir de los valores expresados en base seca, como sigue:

$$W_s = \frac{W}{1 - W - F} \quad (1)$$

$$F_s = \frac{F}{1 - W - F} \quad (2)$$

Donde: W y F son el contenido de agua y el contenido de aceite de los snacks, expresados en kg kg^{-1} masa de snacks en base seca, y W_S y F_S son el contenido de agua y el contenido de aceite de los snacks, expresados en kg kg^{-1} masa de materia seca no grasa.

Para describir los fenómenos de transferencia de masa (pérdida de agua y ganancia de aceite) dentro del proceso de fritura, se utilizó un modelo cinético de primer orden, basado en las siguientes suposiciones: 1) la temperatura del aceite fue constante durante la fritura, 2) el contenido inicial de agua en el producto fue constante, 3) las dos corrientes de masa (agua de los snacks hacia el aceite y aceite dentro de los snacks) se consideraron independiente unas de otras [3], [4], [5], [6].

La ecuación usada para describir la pérdida de agua y ganancia de aceite fue:

$$W_S + F_S = A + (B - A) * \exp(-k t) \quad (3)$$

Donde: W_S es el contenido de agua al tiempo t ($\text{g agua}/100 \text{ g muestra seca desgrasada}$); F_S es el contenido de aceite al tiempo t ($\text{g aceite}/100 \text{ g muestra seca desgrasada}$), B es el contenido de agua inicial, A es el contenido de agua más aceite en el pseudo-equilibrio al tiempo $t \rightarrow \infty$; t es el tiempo de fritura (s) y k es la constante cinética para este modelo (s^{-1}). A , B y k son parámetros de ajuste del modelo que se obtienen por regresión no lineal para cada temperatura de fritura. En el caso de la fritura no existe un equilibrio real y por ello los valores de contenido de agua y aceite al tiempo $t \rightarrow \infty$, se consideran como de pseudo-equilibrio [5], [6].

La bondad del ajuste de los modelos a los datos experimentales se evalúa mediante el coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (RMSE):

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (c_{cal} - c_{exp})^2}{n} \right)^{0.5} \quad (4)$$

Donde c_{cal} es el valor estimado por el modelo, c_{exp} es el valor obtenido experimentalmente y n es el número de datos experimentales.

3. Resultados y discusión

3.1. Cambios durante del proceso de fritura

A partir del peso de los snacks antes y después de la fritura se obtuvieron los datos de pérdida de peso durante la fritura. El volumen de los mismos se mantuvo constante durante el proceso. Cuando se frían en aceite de girasol (AG) a $150 \text{ }^\circ\text{C}$, $170 \text{ }^\circ\text{C}$ y $190 \text{ }^\circ\text{C}$, los valores obtenidos se representan en la Fig. 1.

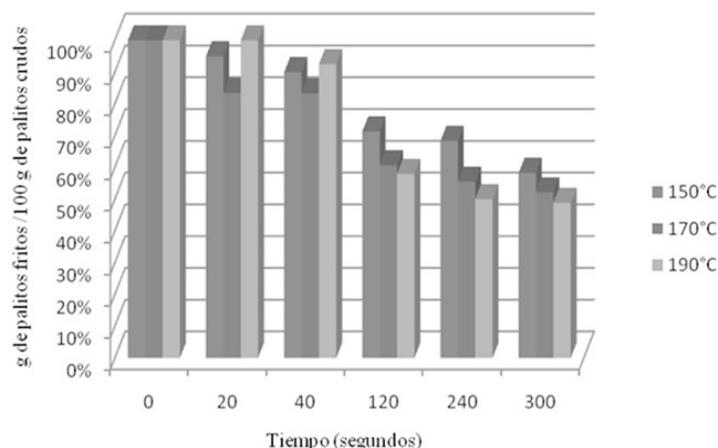


Fig. 1. Pérdida de peso de los snacks de mandioca fritos en AG a 150 °C, 170 °C y 190 °C

Se observa en la Fig.1 que los snacks fritos en AG pierden peso a medida que aumenta el tiempo de fritura, debido a que el peso de agua perdida no es reemplazado por el peso de aceite absorbido. A los 240 segundos de fritura retuvieron entre un 50 % a 40 % del peso inicial siendo menor a medida que aumenta la temperatura de fritura. .

Cuando se fritaron en AGAO a 150 °C, 170 °C y 190 °C, los valores obtenidos se representan en la Fig. 2.

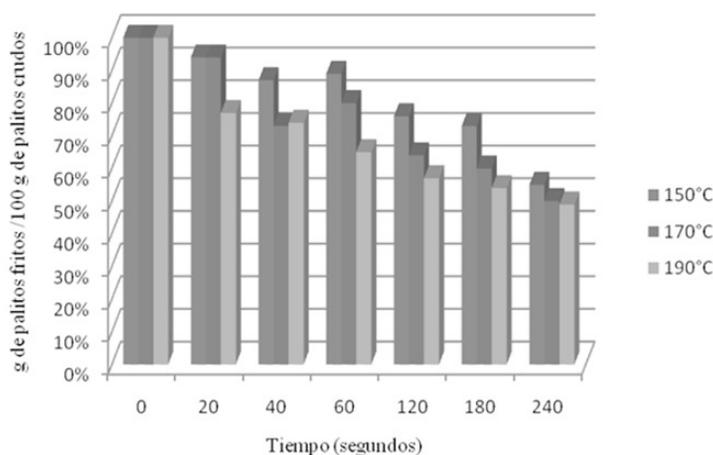


Fig. 2. Pérdida de peso de los snacks de mandioca fritos en AGAO a 150 °C, 170 °C y 190 °C

Se observa en la Fig.2 que los snacks fritos en AGAO pierden mayor peso que los fritos en AG (Fig. 1) en los primeros minutos de fritura, sin embargo a los 240 segundos de fritura el peso final es independiente del tipo de aceite y sólo depende de la temperatura.

En las Fig. 3 y 4 podemos observar la composición porcentual de los snack a medida que transcurre el proceso, a diferentes temperaturas de fritura y en los dos aceites estudiados.

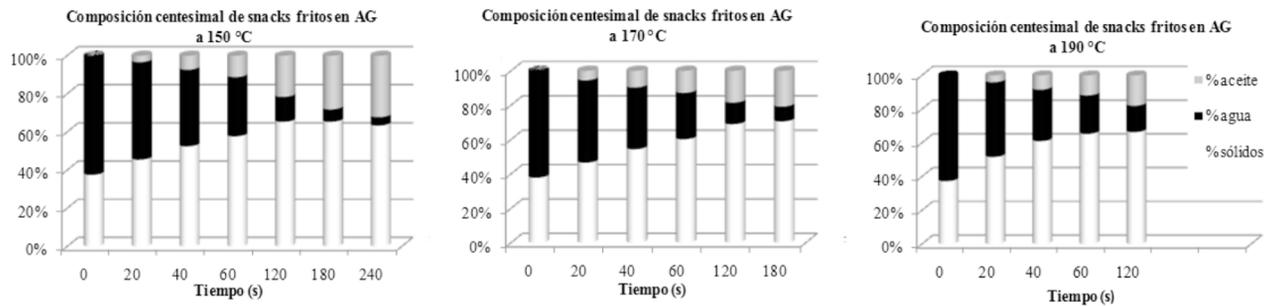


Fig. 3. Composición porcentual de los snacks de mandioca fritos en AG a 150 °C, 170 °C y 190 °C a diferentes tiempo de fritura

En el caso de los snacks de mandioca, el tamaño de la muestra es pequeño, y el tiempo necesario para desarrollar una superficie crocante evitando que la misma se carbonice o se queme, es corto y depende de la temperatura de fritura. En general, el contenido de agua disminuye y el de aceite aumenta. Cuando se utilizó AG (Fig. 3) se determinó que la ganancia de aceite es alta a bajas temperaturas de fritura y la retención de agua es alta a altas temperatura de fritura.

Un comportamiento similar se observa cuando los snacks se fritan en AGAO (Fig. 4) donde la retención de agua es aún mayor.

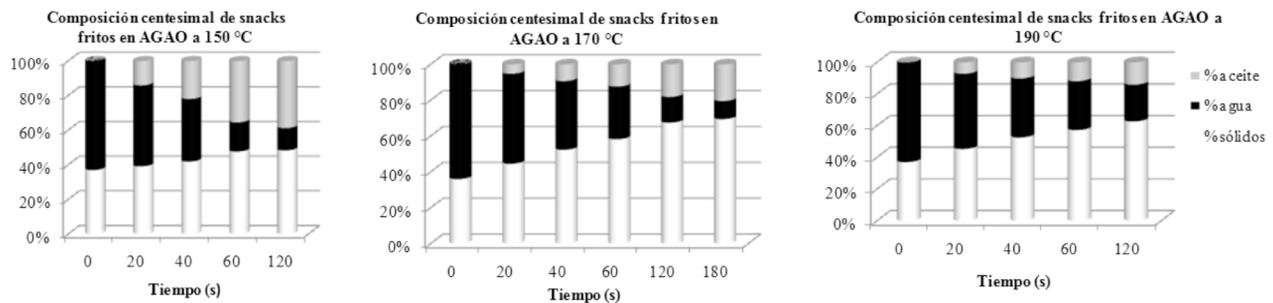


Fig. 4. Composición porcentual de los snacks de mandioca fritos en AGAO a 150 °C, 170 °C y 190 °C a diferentes tiempo de fritura

El contenido de agua en los snacks determina la calidad de los mismos ya que poca agua interior resulta en una pérdida de ternura y mucha agua exterior resulta en una pérdida de crocancia [7]. Otros investigadores también señalaron diferencias en el contenido de aceite en “crisps” de papas fritos en aceite de girasol y un aceite de alto oleico, observando una diferencia más marcada a medida que aumenta la temperatura de fritura [8].

Durante la fritura, el agua se evaporó a una velocidad más alta que a 100 °C, la temperatura de la porción interior se elevó más rápido que a la ebullición normal y las altas temperaturas en la interfase alimento-aceite condujeron al desarrollo de una corteza que actuó como una barrera a la pérdida de agua desde la porción interior [7]. El almidón fue el principal responsable de la formación de la corteza. Muchos trabajos de investigación señalan el importante rol que juega el

almidón gelatinizado como un agente formador de películas que actúan como barrera a la absorción de aceite y la pérdida de agua [9], [10], [11], [7]. Además se observó que la fritura atmosférica produce casi el 100 % de gelatinización del almidón en una mezcla gluten+almidón y que el aumento de temperatura favoreció la formación de la corteza [12], [13]. En el caso de los snacks de mandioca, con un alto contenido de almidón, la gelatinización del mismo favorecería a la formación de una capa externa delgada y firme alrededor del material, que ofrece fuerte resistencia a la entrada de aceite y la pérdida de agua, efecto que se hace más importante a mayor temperatura.

En la Fig. 3 y 4 se mostraron que los snacks fritos en AG y AGAO a 170°C durante 180 s contienen la menor cantidad de agua y aceite. Observaciones similares fueron reportadas para la fritura de matrices de almidón de mandioca y gluten de trigo vital [11].

3.2. Efecto de la temperatura y el tipo de aceite sobre el contenido de agua y aceite en función del tiempo de fritura

El estudio de la cinética de cambios en el contenido de agua y aceite durante el proceso de fritura permitió comparar los parámetros cinéticos para las diferentes temperaturas de operación y en los dos aceites. La cantidad de agua perdida fue expresada como W_s (1) y la cantidad de aceite ganado fue expresada como F_s (2). Estos datos fueron ajustados a la ecuación cinética de pseudo primer orden dada por la ecuación (3).

Se observó que a mayor tiempo de fritura el contenido de agua más aceite disminuyó en los primeros minutos tendiendo a un valor constante. Los valores experimentales y los obtenidos por el modelo se muestran en las Fig. 5 y 6 y los valores de las constantes y la bondad de ajuste del modelo se presentan en la Tabla 2. Los valores de R^2 indicaron un buen ajuste al modelo.

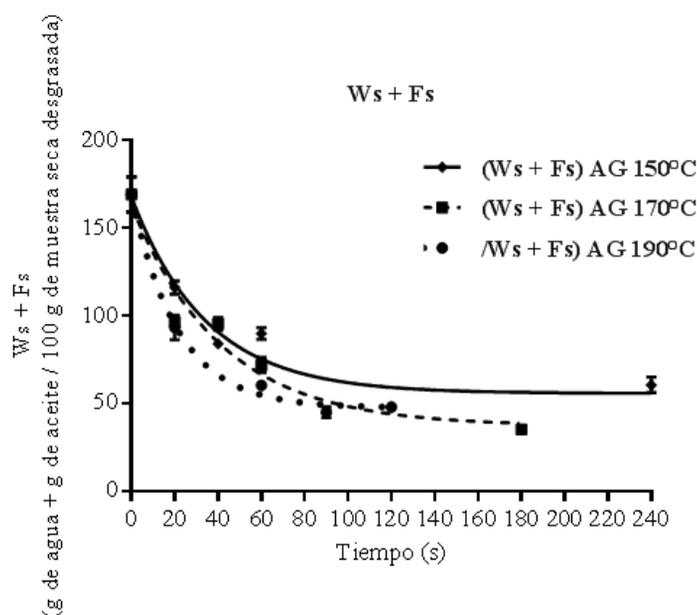


Fig. 5. Datos experimentales y modelo de pseudo primer orden para el contenido de agua más aceite en snack de puré de mandioca fritos en AG a 150 °C , 170 °C y 190 °C

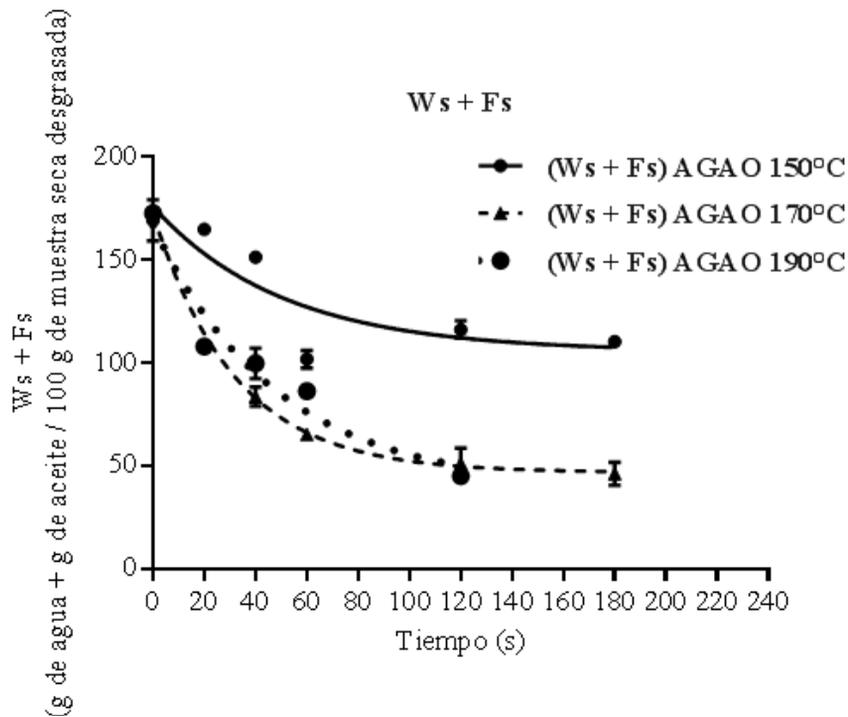


Fig. 6. Datos experimentales y modelo de pseudo primer orden para el contenido de agua más aceite en snack de puré de mandioca fritos en AGAO a 150 °C , 170 °C y 190 °C

Tabla 2. Valores de los parámetros cinéticos A, B, y k y la bondad del ajuste del modelo para el contenido de agua+aceite en función del tiempo de fritura.

		Parámetros de la ecuación (3) $W_s + F_s = A + (B - A) * \exp(-k * t)$			Bondad del ajuste	
Aceite	°C	*A	*B	*k .10 ² (s ⁻¹)	R ²	RMSE
AG	150	55,63 ± 9,23	167,80 ± 11,31	2,907 ± 0,819	0,957	8,265
	170	36,97 ± 17,89	163,00 ± 15,51	2,417 ± 0,944	0,946	10,235
	190	47,35 ± 3,69	168,60 ± 5,09	4,671 ± 0,656	0,995	3,230
AGAO	150	105,50 ± 20,60	175,90 ± 17,60	1,967 ± 1,702	0,762	13,191
	170	46,76 ± 1,26	172,60 ± 1,53	3,111 ± 0,122	0,999	0,972
	190	39,39 ± 26,52	166,80 ± 13,98	2,071 ± 1,030	0,950	9,212

* Valor medio ± DS; R²: coef.de determinación; RMSE: error cuadrático medio

3.2.1. Influencia de la temperatura

El análisis estadístico de las curvas de regresión mostraron que no existe evidencia estadística significativa ($p > 0,05$) entre las cinéticas de los snacks fritos en AG a diferentes temperaturas. Por ello se concluyó que la temperatura no tiene influencia sobre la cinética del contenido de agua más

aceite cuando los snacks se fritan en AG (Fig.5). Sin embargo, existe evidencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre las cinéticas de los snacks fritos en AGAO a diferentes temperaturas. A 150 °C el contenido de agua y aceite en el pseudo equilibrio es mayor que a 170 °C y 190 °C (Fig.6).

3.2.2. Influencia del tipo de aceite

El análisis estadístico de las curvas de regresión mostraron que no existe evidencia estadística significativa ($p > 0,05$) entre las cinéticas de los snacks fritos en AG y en AGAO a 170 °C y 190 °C. A 150°C las muestras fritas en AGAO tuvieron mayor contenido de agua y aceite que las fritas en AG.

3.3. Relación entre la pérdida de agua y la ganancia de aceite

La pérdida de agua y la ganancia de aceite estuvieron interrelacionadas. En general se puede decir que cuanto más agua fue removida de la superficie, más aceite fue absorbido. En la Tabla 3 se observó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para los datos experimentales de contenido de agua y de aceite.

Tabla 3: Coeficiente de correlación de Pearson entre el contenido de agua y la ganancia de aceite

	AG			AGAO		
	150°C	170°C	190°C	150°C	170°C	190°C
(r) coef. de Pearson	-0,9675	-0,9774	-0,9592	-0,9353	-0,9691	-0,8825
R ² coef. de determinación	0,9361	0,9552	0,9201	0,8748	0,9391	0,7788
P (dos colas)	0,0016	0,0041	0,0098	0,0061	0,0065	0,0199

El coeficiente de Pearson mostró que existe una correlación inversa entre el contenido de agua y de aceite. El valor de R^2 indicó la fracción de la varianza que “comparten” las dos variables y un valor pequeño de P (el cual varía entre 0 a 1) indicó que se puede rechazar la idea de que la correlación fue debida a un muestreo aleatorio.

En la Fig. 7 (a) y (b) se graficó la relación entre las cinéticas de pérdida de agua y ganancia de aceite. En la Fig. 7 (a) se mostró que para la fritura en AG a 150°C y 190°C, existió una relación lineal hasta valores de $W_{s\text{mínimo}}$ de 25 y 69 ($g_{\text{agua}} / 100 g_{\text{muestra seca desgrasada}}$) a 150°C y 190°C, respectivamente. Para valores de W_s menores a $W_{s\text{mínimo}}$ la ganancia de aceite aumentó rápidamente a medida que disminuyó el contenido de agua y este comportamiento fue más marcado a 150°C.

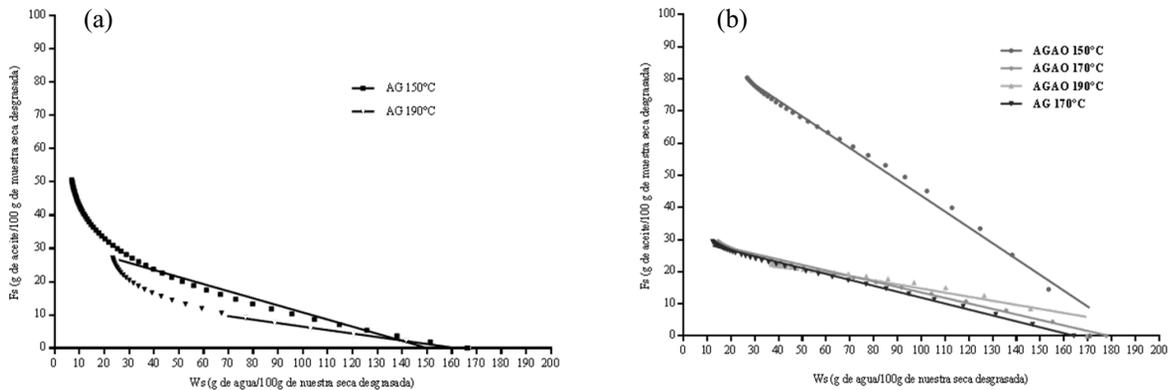


Fig. 7. Relación entre el contenido de agua y ganancia de aceite en snack de mandioca fritos en AG a 150°C y 190°C (a) y en AGAO a 150°C, 170°C, 190°C y AG a 170°C (b).

Se observó que a igual contenido de agua, la ganancia de aceite fue menor a 190°C, o sea que a menor temperatura de fritura la muestra absorbió más aceite, tal como fue observado por otros investigadores [13]. En la Fig. 7 (b) se mostró que para la fritura en AG a 170°C y en AGAO a 150°C, 170°C y 190°C, la correlación fue lineal en todo el rango de tiempos ensayados. Los valores de las pendientes de estas rectas, el valor de $W_{s\text{mínimo}}$ hasta el cual se observó este comportamiento lineal, el tiempo de fritura necesario para alcanzar este valor mínimo de contenido de agua y el coeficiente de determinación (R^2) se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Pendiente de la recta de correlación entre el contenido de agua y la ganancia de aceite, límites de aplicación y coeficiente de determinación

Aceite	Temp (°C)	*Pendiente de la recta de correlación	R^2	W_s mínimo	Tiempo (s) para alcanzar W_s mín.
AG	150	$-0,213 \pm 0,004$	0,9684	$25,73 \pm 4,42$	103
	170	$-0,185 \pm 0,001$	0,9923	$12,14 \pm 9,10$	180
	190	$-0,105 \pm 0,002$	0,9915	$69,43 \pm 7,42$	28
AGAO	150	$-0,493 \pm 0,004$	0,9924	$26,77 \pm 6,03$	180
	170	$-0,171 \pm 0,001$	0,9931	$14,55 \pm 6,40$	180
	190	$-0,127 \pm 0,003$	0,945	$36,97 \pm 6,26$	120

* Valor medio \pm desviación estándar; R^2 : coef.de determinación

Las muestras fritas a 150°C absorbieron más aceite, aún a cortos tiempo de fritura. Las muestras fritas a 170 °C absorbieron menos de 30 g de aceite/100 g de muestra seca desgrasada aún a bajos contenidos de agua. Las muestras fritas a 190°C también absorbieron menos de 30 g de aceite/100 g de muestra seca desgrasada sin embargo tienen mayor contenido de agua porque el tiempo de fritura fue menor debido al amarronamiento de su superficie.

4. Conclusiones

Los snacks perdieron peso durante la fritura aunque el volumen se conservó constante, debido a que el peso de agua perdida no fue reemplazado por el peso de aceite ganado. Al final del proceso se conservó entre un 50 % a 40 % del peso inicial siendo menor a medida que aumentó la temperatura de fritura. En general, el contenido de agua disminuyó y el de aceite aumentó. Se determinó que la ganancia de aceite fue alta a bajas temperaturas de fritura y la retención de agua fue alta a altas temperatura de fritura. Los snacks fritos en AG y AGAO a 170°C durante 180 s retuvieron la menor cantidad de agua y aceite.

Referencias

- [1] A. Prakash, "Competitive Commercial Agriculture in Sub-Saharan Africa (CCAA) Study. Cassava: International market profile. Trade and Market Division", Background paper for the Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008.
- [2] S. L. Hase, "Calidad de Productos tipo "snacks" obtenidos por fritura a partir de raíces de mandioca", Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Misiones, Posadas, Misiones, Argentina, 2018.
- [3] R.G. Math, V. Velu, A. Nagender y D.G. Rao, "Effect of frying conditions on moisture, fat and density of papad", Journal of Food Engineering, vol. 64, pp. 429-434, 2004.
- [4] M. K. Krokida, V. Oreopoulou, Z. B. Maroulis y D. Marinos-Kouris, "Deep Fat Frying of potato strips- Quality Issues", Drying Technology: An International Journal, vol. 19, n° 5, pp. 879-935, 2001.
- [5] S. Debnath, K. K. Bhat. y N. K. Rastogi, "Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food", Lebensm.-Wiss.U.-Technol., vol. 36, pp. 91-98, 2003.
- [6] O. Vitrac, D. Dufour, G. Trystram y A. Raoult-Wack, "Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality", Journal of Food Engineering, vol. 53, pp. 161-176, 2002.
- [7] L. Yunsheng, "Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation", Thesis for the degree of Master of Science, McGill University, Montreal, Quebec, Canadá, 2005.
- [8] A. Kita, G. Lisinska y G. Golubowska, "The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps", Food Chemistry, vol. 102, pp. 1-5, 2007.
- [9] M. Kawas y R. Moreira, "Effect of degree of starch gelatinization on quality attributes of fried tortilla chips", Journal of Food Science, vol. 66, n° 2, pp. 300-306, 2001.
- [10] V. Dueik, O. Sobukola y P. Bouchon, "Development of low-fat gluten and starch fried matrices with high fiber content", LWT – Food Science and Technology, vol. 59, pp. 6-11, 2014.
- [11] O. C. Oginni, O. P. Sobukola, F. O. Henshaw, Q. A. O. Afolabi y L. Munoz, "Effect of starch gelatinization and vacuum frying conditions on structure development and associated quality attributes of cassava-gluten based snacks", Food structure, vol. 3, pp. 12-20, 2015.
- [12] I. Contardo, J. Parada, A. Leiva y P. Bouchon, "The effect of vacuum frying on starch gelatinization and its *in vitro* digestibility in starch-gluten matrices", Food Chemistry, vol. 197, pp. 353-358, 2016.
- [13] A. O. Oladejo, H. Ma, W. Qu, C. Zhou, B. Wu, X. Yang y D. I. Onwude, "Effects of ultrasound pretreatments on the kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of sweet potato (Ipomea batatas)", Innovative Food Science and Emerging Technologies, vol. 43, pp. 7-17, 2017.
- [14] A. M. Ziaifar, B. Heyd y F. Courtois, "Investigation of effective thermal conductivity kinetics of crust and core regions of potato during deep-fat frying using a modified Lees method", Journal of Food Engineering, vol. 95, n° 3, pp. 373-378, 2009.