

COEFICIENTE DE DIFUSIÓN Y PERDIDA DE HUMEDAD DURANTE EL PROCESO DE PRE-FRITURA DE LA ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza*)

COEFFICIENT OF DIFFUSION AND LOSS OF MOISTURE DURING THE PRE-FRITURA PROCESS OF THE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza*)

¹Seijas-Chacón, H*; ²Pabon-Mora, C.

^{1,2}Universidad de Pamplona / Facultad de Ingenierías y Arquitectura / Programa de Ingeniería de Alimentos / Grupo de Investigación Innovaciones Alimentarias / Semillero de Innovaciones Alimentarias / Villa del Rosario - Colombia. Correo electrónico: hector.seijas@unipamplona.edu.co *

Recibido 21 de marzo de 2017; Aceptado 30 de mayo de 2017.

RESUMEN

Colombia es uno de los mayores productores en el mundo de arracacha, está compuesta principalmente de almidones y azúcar, posee también un alto contenido de micronutrientes (Vitamina B1, B3, hierro, calcio y fósforo), además su contenido de agua es elevado lo que la hace perecedera. Existen muy pocos estudios sobre esta raíz en procesos de transferencia de masa y calor, debido a que no tiene gran aprovechamiento industrial, pero con buen potencial por las características fisicoquímicas que posee. El objetivo de este trabajo fue determinar el coeficiente de difusión y la pérdida de humedad de la arracacha sometida a prefritura. Para lo

cual se sometió a fritura por inmersión en aceite de soya a 180°C por 30s, 45s, 65s, 90s, y 105s. Se pudo determinar que a mayor tiempo de exposición mayor pérdida de humedad, sin embargo la pérdida de humedad es baja comparado con otros matrices como el ñame, maíz, areca, debido a que la arracacha no permite fácilmente la liberación de agua, como se pudo observar en el coeficiente de difusión determinado por la segunda ley de Fick.

Autor a quien dirigir la
correspondencia: Seijas-Chacón, H*;
Correo electrónico:
hector.seijas@unipamplona.edu.co

Palabras Claves: Arracacha; Coeficiente de difusión; Prefritura; Ley de Fick.

ABSTRACT.

Colombia is one of the main countries in the world of arracacha, it is composed mainly of starches and sugar, it also has a high content of micronutrients (Vitamin B1, B3, iron, calcium and phosphorus), it also contains hot water makes it perishable. There are very few studies on this root in processes of mass and heat transfer, because it does not have great industrial use, but with good potential for the physicochemical characteristics it has. The objective of this work was to determine the diffusion coefficient and the moisture loss of the arracacha after prefrying. For which it was subjected to a frying by immersion in soybean oil at 180 ° C for 30s, 45s, 65s, 90s, and 105s. It could be determined that the longer exposure time increased moisture loss, however the moisture loss is low compared to other matrices such as the name, corn, herring, because the arracacha does not allow the release of water, as could be observed in the coefficient of diffusion by the second law of Fick.

Key words: Arracacha; Diffusion coefficient; frying; Fick's Law.

INTRODUCCIÓN

La arracacha es una raíz originaria de los Andes que pertenece a la familia *Apiaceae* con ciclo perenne. Es uno de los alimentos básicos para los pueblos indígenas de la costa caribeña venezolana y de Amazonas (Pérez et al., 2011), gracias a estas culturas indígenas y etnias se mantienen las siembras ya que las cultivan para autoconsumo o venta (Vásquez, et al., 2004). El uso común en Colombia es en un plato típico denominado “sancocho” mezclada con verduras y carnes (Jiménez, 2005), ya Brasil le están dando más aprovechamiento y se consigue no sólo en estado fresco si no en harina y chips. Esta planta se cultiva de manera anual, en Venezuela, Colombia, Brasil y Ecuador, su cultivo se da en buenas condiciones entre los 1000-2000 msnm. Brasil es el mayor productor de los países andinos (Knudsen, Hermann, Dos Santos, & Sorensen, 2004). Colombia se encuentra entre los primeros productores a nivel mundial según cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Norte de Santander es el segundo productor a nivel nacional con una participación del 17,3 %. La arracacha recibe diferentes nombres en Perú, se conoce con los nombres de racacha y virraca (Seminario, 2004); en Ecuador, como zanahoria del país o zanahoria blanca; en Venezuela, como apio criollo (Jimenez,

2005) y racacha (Amaya & Julca, 2006) y en Brasil, mandioquinha-salsa (Zárate et al., 2009) y batata baroa (Amaya & Julca, 2006). La arracacha está compuesta principalmente por azúcares y almidones, también posee alto contenido de Vitamina B1 y B3, calcio, hierro y fósforo, además del contenido agua (Collazos, 1993). A pesar de que se ha tratado establecer el cultivo como comercial no se ha logrado, una de las alternativas para transformar las materias primas únicas de sabor y textura es la fritura.

El proceso de fritura en los alimentos, se define como “cocción” (inmersión) en aceite o grasa a temperaturas elevadas (150-200 °C), actuando como transmisor de calor que produce un calentamiento rápido y uniforme (Fillion & Henry, 1998; Saguy & Dana, 2003). Los factores que influyen son la temperatura, tiempo, tipo de aceite, tamaño y naturaleza del producto. Cuando un alimento se sumerge en un medio caliente, tal como aceite su temperatura aumenta rápidamente y el agua que contiene se elimina en forma de vapor, por lo que su superficie empieza a deshidratarse, se forma una corteza y el frente de evaporación va trasladándose hacia el interior del producto (Fellows, Trepát, & Javier, 1993; Moreira, Castell-Perez, & Barrufet, 2004). Como mencionaban algunos autores el aceite es

otro factor influyente sobre la transferencia de masa que se da en la fritura, ya que esta operación es simultánea, es decir operación de transferencia de agua desde el producto hacia afuera de él y del aceite hacia el interior del alimento, algunos tienen mayor rendimiento como se evidencio en lo expuesto para el alimento (Valenzuela, Sanhueza, Nieto, Petersen, & Tavella, 2003), sin embargo los estudios de Barrios y Osorio no especifican el tipo de aceite solo hacen referencia que es un aceite 100% vegetal.

La temperatura en la superficie del alimento alcanza la del fluido caliente y la interna aumenta lentamente hasta alcanzar los 100 °C (Fellows *et al.*, 1993).

A nivel mundial el consumo de frituras es considerado de bajo valor nutrimental y de alto aporte calórico y por ello se ha incrementado el interés de la industria en diseñar nuevos productos con el fin de mejorar la calidad de los alimentos, reduciendo al mínimo la absorción de aceite y la formación de acrilamida (Arias *et al.* 2013), sin embargo la fritura es uno de los métodos de cocción más aceptados por el sabor y textura que imparte a los alimentos que no es posible conseguir con otras técnicas de procesado. La prefritura es una técnica que se emplea como técnica de conservación de alimentos disminuyendo el contenido de humedad. Este proceso de

fritura crea poros en el producto ocasionado por la pérdida de humedad, lo cual genera un espacio destinado para la entrada de aceite. En presencia de un alto contenido de agua en las muestras, ésta fluye en el medio poroso debido a las fuerzas capilares hasta el frente de evaporación (Kassama & Ngadi, 2005). Por esta razón, la formación de estos capilares controla la absorción del aceite. Sin embargo, también se ha demostrado que durante la pérdida de humedad se presenta un encogimiento en las dimensiones del producto (Kassama & Ngadi, 2005). Según Puente L *et al.* (2013) el D_a de sistemas alimentarios debe estar entre 10^{-12} y $10^{-8} m^2/s$

Los estudios que se realicen sobre los parámetros precisos de transferencia de calor y masa de arracacha, son importantes para los procesos de modelado durante los cuales tiene lugar la transferencia simultánea de calor y masa (Yıldız, Palazoğlu, & Erdoğan, 2007), debido a que se ha demostrado que en condiciones del proceso de fritura a altas temperaturas y baja humedad se da a lugar a la formación de acrilamida, debido a la interacción entre asparagina y azúcares reductores (es decir, glucosa, fructosa) en las condiciones anterior mencionadas (Gökmen, Palazoğlu, & Şenyuva, 2006).

Para entender los mecanismos implicados en el proceso de fritura se han desarrollado modelos matemáticos (Ateba & Mittal, 1994; Bouchon & Pyle, 2005), como la ley difusional de Fick, el cual es el más usado y otros modelos como los de Newton, Henderson-Pabis, Page, Monad y Moyano-

Pedreschi. Los estudios sobre la arracacha soy muy escasos, más sobre temas de transferencia de masa y calor. Por tal razón, el objetivo de este trabajo fue determinar el coeficiente de difusión y la pérdida de humedad de la arracacha sometida a prefritura.

METODOLOGÍA

La arracacha se obtuvo del municipio de Ragonvalia – Norte de Santander (Colombia), en estado maduro, libre de roturas y daños mecánicos generados por golpes. La muestra se trasladó a los laboratorios de la Universidad de Pamplona – Villa del Rosario para sus respectivos análisis. El aceite de soya empleado fue obtenido de un supermercado de cadena.

Los tiras planas de arracacha (5*0,5*0,2 cm) se sumergieron en aceite de soya a 180 °C por 30s, 45s, 65s, 90s, y 105s utilizando una freidora eléctrica marca RECO de 4 L de capacidad equipada con un termostato para el control de la temperatura, al sacar las muestras de la freidora se les eliminó el aceite superficial con papel absorbente, posterior se determinó la pérdida de humedad (AOAC 930.15, 1990). La metodología empleada para determinar el coeficiente de difusión fue descrita por Alvis A. *et al.*, (2016) empleando la segunda Ley

de Fick de difusión, con una modificación en la dimensiones de las láminas; el cambio de concentración de humedad se representa por la ecuación 1.

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

La solución de la ecuación 1 se presenta para placas cilindros y esferas como una ecuación de concentración, posición, tiempo y resistencia superficial. La concentración de humedad promedio puede ser normalizada según la ecuación 2.

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

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

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

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

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

Aplicando logaritmo natural a ambos lados para simplificar la ecuación 4 se tiene la ecuación 5.

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

Como se observa, la ecuación 5 toma forma, luego, graficando en función del tiempo, se obtiene una ecuación linealizada, en el cual el coeficiente de difusión D_a en m^2/s , puede ser calculado utilizando la pendiente de la curva como se expresa en la ecuación 6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad de la arracacha fue determinada en 69,88%, lo cual está por debajo de lo que reportan varios autores que oscila entre 71-77% (Jiménez, 2005; León M, Villacorta G, & Pagador F, 2011; Seminario, 2004), en el proceso de pre fritura se eliminó el 16 % del contenido de agua inicial de las muestras, en un tiempo de 105s. El proceso de pre fritura, presentó una tendencia decreciente tendencia logarítmica del contenido de humedad con el tiempo de fritura así como se observa en la figura 1. R^2

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

Donde:

$C(t)$ = Contenido de humedad al tiempo t (kg H_2O / kg solidos)

C_i = Contenido de humedad inicial (kg H_2O / kg solidos)

C_{∞} = Contenido de humedad en equilibrio (kg H_2O / kg solidos)

t = Tiempo (min)

L = Espesor (m)

D_a = Coeficiente de difusión

m = pendiente

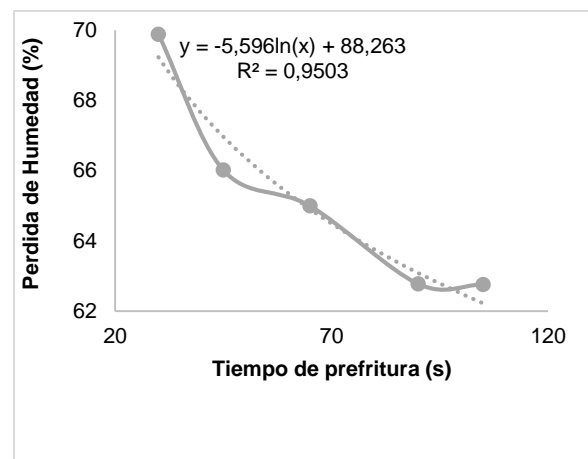


Figura 1. Pérdida de peso de la arracacha en el tiempo de pre-fritura.

Según Barrios Barrios *et al.*, 2016; Osorio *et al.*, 2016) se da una pérdida de humedad significativa en los primeros 100s. Con respecto al D_a , se determinó a través de la segunda ley de Fick, el cual se describe en la tabla 1, empleando la pendiente obtenida a través de la linelización de los datos que se observa en la gráfica 2. Este valor se asemeja a los valores reportados por Tirado D *et al.* (2016) para secado de arenca, pero en la literatura no se ha reportado sobre los parámetros cinéticos de fritura para la arracacha.

Tabla 1. Coeficiente de difusión de la arracacha a 180 °C

Coeficiente de Difusión (D_a)	$1,0132 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
-----------------------------------	--

Se evidencia diferencias en los coeficientes de difusión debido a que esta varía según el contenido de humedad (Maldonado, Santapaola, Singh, Torrez, & Garay, 2008), como también la temperatura (Gavidia *et al.*, 2013).

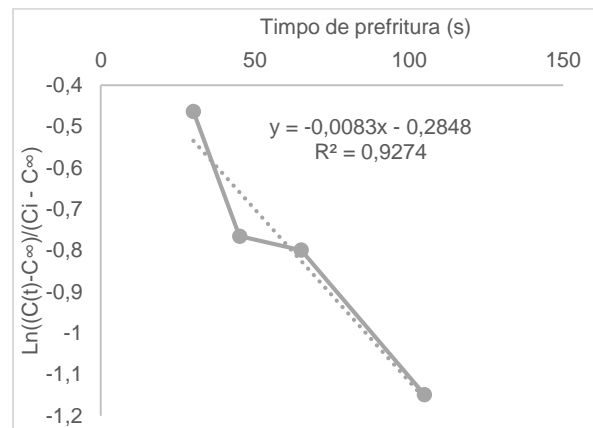


Figura 2: Sección lineal de la relación adimensional humedad vs tiempo

Los datos arrojados en otros estudios, como para la arveja cultivada en Nariño, se obtienen valores de D_a mayor en procesos de fritura al vacío que a presión atmosférica, además los valores D_a para la arracacha fueron superiores a los reportados para la arveja (Barrios *et al.*, 2016; Osorio *et al.*, 2016). El estudio realizado por Alvis *et al.* (2009) en el cual determinó la transferencia de calor y materia de la fritura de ñame en diferentes tiempos, reporto un D_a de $1,95 \times 10^{-9}$, $2,59 \times 10^{-9}$, $3,24 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para las temperatura de 140°C, 160°C y 180°C respectivamente, se puede decir que los valores D_a obtenidos para la arracacha, son altos en comparación a otras investigaciones, probablemente, debido a la composición química que no permite una difusión rápida del agua, conservando de esta forma la textura, además la naturaleza del almidón es adecuada para procesos de

conservación como la prefritura, pero se deben realizar más investigaciones con otras variables de transferencia de masa y calor, para el diseño de equipos adecuados para estos tipos de productos.

CONCLUSIONES

Se logró a través de proceso de prefritura disminuir el contenido de humedad de la arracacha en el 16% del contenido inicial, esto permite obtener menor agua disponible, lo que representa aumento en la vida útil del producto, esta pérdida de humedad depende directamente del tiempo de exposición del producto con el aceite. El coeficiente de difusión (D_a) en el proceso de prefritura para

la arracacha a 180°C fue de $1,0132 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, dando a expresar que la velocidad de deshidratación es baja a diferencia de otras materias primas. Esto permitió dar a conocer parámetros de comportamiento de la arracacha en procesos de prefritura, del cual no hay datos reportados.

BIBLIOGRAFÍA

Alvis-Bermúdez, A., Romero-Barragan, P., & Arrazola-Paternina, G. (2016). Pérdida de humedad y absorción de aceite durante fritura de tajadas de plátano (musa paradisiaca l.). *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 14(2), 119–124.

Alvis, A., Cortés, L. E., & Páez, M. (2009). Transferencia de Calor y Materia durante la Fritura de Trozos de Ñame (Dioscórea alata) . *Información Tecnológica* . scielocl .

Amaya, J., & Julca, J. (2006). Arracacha, Arracacia xanthorrhiza Bancroft. *Gerencia Regional de Recursos Naturales Y Conservación Del Medio Ambiente. Gobierno Regional La Libertad. Perú*, 15.

Association of Official Analytical Chemist. AOAC. (1990). Official methods of analysis. Volume I y II. 15th ed. AOAC, Arlington, V.A. USA. *Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists/AOAC*,.

- Ateba, P., & Mittal, G. S. (1994). Dynamics of crust formation and kinetics of quality changes during frying of meatballs. *Journal of Food Science*, 59(6), 1275–1278.
- Barrios Barrios, L., Osorio Mora, O., & Cerón Cárdenas, A. F. (2016). Estudio de las cinéticas de pérdida de agua y absorción de aceite durante la fritura de arveja (*Pisum sativum* L.). *Acta Agronómica*, 65(3), 226–231.
- Bouchon, P., & Pyle, D. L. (2005). Modelling oil absorption during post-frying cooling: I: model development. *Food and Bioproducts Processing*, 83(4), 253–260.
- Collazos, C. (1993). Composición química de alimentos de mayor consumo en el Perú. MINSA INN. Perú. Pag.
- Fellows, P., Trepatt, S., & Javier, F. (1993). *Tecnología del procesamiento de los alimentos: principios y prácticas*. Acribia,.
- Fillion, L., & Henry, C. J. K. (1998). Nutrient losses and gains during frying: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49(2), 157–168.
- Gavidia, A., Carbajal, R., Reyna, L., Hidalgo, C., Guevara, C., Cabellos, J., & Rojas, J. (2013). Efecto de la temperatura y la concentración del jarabe de inmersión en la difusividad efectiva y aceptación sensorial en cubos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) osmodeshidratado. *Agroindustrial Science*, 3(1), 65–70.
- Gökmen, V., Palazoğlu, T. K., & Şenyuva, H. Z. (2006). Relation between the acrylamide formation and time–temperature history of surface and core regions of French fries. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 972–976.
- Jimenez, F. (2005). Características nutricionales de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y sus perspectivas en la alimentación. *Publicación Virtual Red Peruana de Alimentación Y Nutrición*. Lima, Peru. Retrieved from <http://www.rpan.org/monografias/monografia002.pdf>
- Jiménez, F. S. (2005). Características nutricionales de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y sus perspectivas en la alimentación. *Publicación Virtual Red Peruana de Alimentación Y Nutrición*. Lima, Perú. 22p. Disponible Desde Internet En: [Http://www. Rpan.org/monografias/monografia002. Pdf](Http://www.Rpan.org/monografias/monografia002.Pdf) (Con Acceso 12/05/09).
- Kassama, L. S., & Ngadi, M. O. (2005). Pore

- development and moisture transfer in chicken meat during deep-fat frying. *Drying Technology*, 23(4), 907–923.
- Knudsen, S. R., Hermann, M., Dos Santos, F., & Sorensen¹, M. (2004). Inducción de floración en el cultivo de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Raíces Andinas: Contribuciones Al Conocimiento Ya La Capacitación. Serie: Conservación Y Uso de La Biodiversidad de Raíces Y Tubérculos Andinos: Una Década de Investigación Para El Desarrollo (1993-2003) No, 6*, 197–213.
- León M, M. E., Villacorta G, M. Y., & Pagador F, S. E. (2011). Composición química de “oca” (*Oxalis tuberosa*), „arracacha” (*Arracaccia xanthorrhiza*) y „tarwi” (*Lupinus mutabilis*). Formulación de una mezcla base para productos alimenticios. *Revista Venezolana de Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 2(2), 239–252. Retrieved from https://5c29d648-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/1rvcta/v2-n2-2011/Leon-Marrou_et_al._RVCTA-V2N2.pdf?attachauth=ANoY7cqOMBqpNAZeAuXdRZqI9rwtXd2R8BKRE18x-6gEj64bFo_JofEvaZ206yMTJRDINBZz-STVBq4jcbildyw9zkBr1Adaq6SzhFz4N3BGP5kHIGr6_do5WxVD3nTv4Vnea3
- Maldonado, S., Santapaola, J. E., Singh, J., Torrez, M., & Garay, A. (2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), 28(101), 251–256.
- Moreira, R., Castell-Perez, M. E., & Barrufet, M. A. (2004). Deep fat frying.
- Osorio, O., Rodríguez, G., CasteNanos, F., & Chávez, A. (2016). Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 3: Cinética de Pérdida de Agua en Chips de Arveja en Condiciones de Fritura Convencional ya Vacío. *Información Tecnológica*, 27(4), 33–42.
- Pérez, E., Gibert, O., Rolland-Sabaté, A., Jiménez, Y., Sánchez, T., Giraldo, A., ... Dufour, D. (2011). Physicochemical, Functional, and Macromolecular Properties of Waxy Yam Starches Discovered from “Mapuey” (*Dioscorea trifida*) Genotypes in the Venezuelan Amazon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 263–273. <https://doi.org/10.1021/jf100418r>
- Puente-Díaz, L., Echegaray-Pacheco, E., Castro-Montero, E., & Di Scala, K. (2013). Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón (*Citrus limon* (L.) Burm. F. Cv.

- Genova). *Dyna*, 80(181), 91–97.
- Saguay, I. S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56(2–3), 143–152.
- Seminario, J. (2004). *Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. Retrieved from <http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/1b63cd8cee69ef5aca9a4e9f418d6c95.pdf>
- Tirado-Armesto, D. F., Acevedo-Correa, D., & Montero-Castillo, P. (2016). Secado de arenca (*triportheus magdalenae*): influencia del salado en pila seca y húmeda. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 14(2), 57–64.
- Valenzuela, A., Sanhueza, J., Nieto, S., Petersen, G., & Tavella, M. (2003). Estudio comparativo, en fritura, de la estabilidad de diferentes aceites vegetales. *Aceites Y Grasas*, 13(4), 568–573.
- Vásquez, N., Medina, C., & Lobo, M. (2004). morfológica de la colección colombiana (Tolima, Huila, Boyacá, Cauca) de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), 165–178.
- Yıldız, A., Palazoğlu, T. K., & Erdoğdu, F. (2007). Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 11–17.
- Zárate, N. A. H., do Carmo Vieira, M., Graciano, J. D., Figueiredo, P. G., Blans, N. B., & Curioni, B. M. (2009). Produtividade de mandiocinha-salsa sob diferentes densidades de plantio e tamanho das mudas. *Ciência E Agrotecnologia*, 33, 139–
citation_lastpage.