

TRANSFERENCIA DE ENERGÍA DURANTE EL PROCESAMIENTO DE YUCA (*Manihot esculenta*) PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA

Juan Pablo Gutiérrez-Zacarías, Francisco Javier López-Martínez y María Elena Vargas-Ugalde*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

*mevargasu@gmail.com

Resumen

Se estudió el escaldado, cocción y deshidratación durante el procesamiento térmico de yuca para elaborar harina; se calculó la energía suministrada para escaldado y los cambios de color, variando los tiempos de operación en escaldado (35, 45 y 55 s) y cocción a 95 °C (15, 20 y 25 min), variando espesor de las rodajas (3, 5 y 7 mm) para cocción y deshidratación en un horno de piedra por 7 h a 90 °C. Se realizaron tres repeticiones de cada corrida. Se calcularon las propiedades térmicas con base en la composición de yuca con las ecuaciones de Choi y Okos. Se obtuvo el peso durante el secado con una balanza electrónica FIAME 10003 SF 400 con precisión de 1 g, Se determinó el color capturando las imágenes con un teléfono celular Xiaomi Poco X3 empleando la aplicación Colorgrab con el espacio de color CIELab; los espesores se midieron con un calibrador digital Surtek 122200 de 0.1 mm de precisión, la temperatura superficial se determinó con un termómetro infrarrojo Etexcity Lasergríp 1080. La yuca se lavó, se escaldó, se le eliminó la piel, se cortó en rodajas y se le sometió a cocción, deshidratación, molienda (molino manual de discos) y almacenamiento. Se encontró que en el escaldado la

cantidad de materia prima perdida, los cambios de color y la energía suministrada (1260.37 kJ) fueron menores con un tiempo de 35 s, con el que se obtuvo el mayor porcentaje de rendimiento másico (90.34%). Se simularon las historias térmicas de la etapa de cocción por el método de elementos finitos utilizando el software COMSOL Multiphysics; se alcanzaron las temperaturas deseadas y la simulación se aproximó a los resultados experimentales. La humedad final fue 12%.

Palabras clave: Escaldado, cocción, secado, simulación matemática.

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta*) perteneciente a la familia *Euphorbiacea*, es un cultivo perenne con abundantes ramas y mide hasta dos metros de altura. Sus flores son de color amarillo verdoso, los frutos son parecidos a pequeños plátanos y son comestibles. Tiene la característica de adaptarse a cualquier tipo de clima, por lo que puede desarrollarse en zonas húmedas y cálidas. Aunque el uso principal de este producto es el forrajero, se pueden encontrar en menor medida extracciones de almidón y harinas como productos o subproductos (Rivadeneira *et al.*, 2017). En México, este arbusto se desarrolla en seis entidades: el estado de Tabasco destaca en producción al aportar 13.3 mil toneladas, seguido por Michoacán y Morelos, con 3.3 y 1.8 mil toneladas, respectivamente (Bastida, 2021) La yuca contiene glucósidos cianogénicos que tienen un potencial efecto tóxico en el organismo humano ya que, al intentar digerirlos, se hidrolizan y se descomponen en glucosa y cianuro. Con el propósito de que los productos o subproductos de yuca sean inocuos, se requiere el uso de tratamientos previos, como la cocción, ya que estos compuestos son altamente solubles en agua y al mantener estas temperaturas, los glucósidos

ligados a la estructura se van liberando parcialmente hasta minimizar las cantidades presentes. La cocción requiere realizarse a 95 °C para la evaporación del ac. cianhídrico dentro de los tejidos de la yuca (Rivadeneira *et al.*, 2017)

Objetivo

Este trabajo tuvo como objetivo obtener los requerimientos mínimos para el procesamiento térmico de harina de yuca (escaldado, cocción y deshidratado), evaluando el color, los rendimientos másicos y energéticos simulando los procesos de transferencia de energía involucrados en la cocción.

Metodología

Se utilizó yuca con un peso aproximado de 250 g cada pieza, adquirida en un mercado local de Cuautitlán, Estado de México, la cual se lavó con agua de grifo, se seleccionó y escaldó por inmersión en agua caliente durante 35, 45 y 55 s, respectivamente; después se peló y cortó en rodajas con espesores de 3.5 y 7 mm, medidos con un calibrador digital Surtek 122200 con precisión de 0.1 mm y se le sometió a cocción por inmersión en agua caliente por 15, 20 y 25 min, para después deshidratarla a 90 °C en un horno de piedra hasta obtener distintos valores de humedad final (4, 8 y 12%). Se realizaron tres repeticiones para cada juego de condiciones. Los pesos se registraron con una balanza electrónica FIAME 10003 SF 400 con precisión de 1 g, cada 20 min durante el secado. La temperatura superficial se midió con un termómetro infrarrojo Etecity Lasergrip 1080 y para medir el color se adquirieron imágenes con un teléfono celular Xiaomi Poco X3 empleando la aplicación Colorgrab y el espacio de color CIELab (L= luminosidad, a= coordenadas rojo/verde, b= coordenadas amarillo/azul), antes y después de escaldar para obtener el cambio de color total ΔE con respecto a las muestras sin escaldar. ($\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$) (Talens, 2017).

Mediante el programa COMSOL Multiphysics, con el método de diferencias finitas, se simularon las historias térmicas durante la cocción para visualizar la transferencia de energía a través de las rodajas de yuca. Las propiedades térmicas se calcularon a partir de la composición de la yuca, empleando las ecuaciones de Choi y Okos (1986). Se realizaron balances de materia y energía para calcular el rendimiento másico (Rendimiento másico = masa final / masa inicial x 100) y la energía requerida en escaldado y cocción. Se calculó el calor sensible y latente que se suministró a 2 L de agua para ir de 23 °C a 96 °C, el tiempo para alcanzar la temperatura y el tiempo en que se sumergió en agua cada trozo de yuca durante el escaldado y la cocción.

Resultados

En la Tabla 1 se presenta el rendimiento másico para escaldado a los diferentes tiempos estudiados.

Tabla 1. Rendimientos másicos a diferentes tiempos de escaldado. (Elaboración propia).

Rendimiento del escaldado (%)							
Promedio	Sin (control)	escaldar	Escaldado 35 s	Escaldado 45 s	Escaldado 55 s	Escaldado 55 s	Escaldado 55 s
	84.69		90.34	86.19		83.76	

Tabla 2. Coordenadas en el espacio de color CIELab en yuca escaldada (Elaboración propia).

Color	Sin	escaldar	Escaldado 35	Escaldado 45	Escaldado 55
	(control)		s	s	s
Promedio	L = 74.00		L = 66.27	L = 80.13	L = 72.2
	a = - 0.27		a = - 2.10	a = - 4.10	a = 0.97
	b = - 0.66		b = 28.20	b = 11.03	b = 18.47
	Gris claro		Gris amarillo	Verde claro	Amarillo-naranja

En la Tabla 2 se muestran las coordenadas de color CIELab para los distintos tiempos de escaldado y en la Tabla 3 el cambio total de color de las muestras escaldadas con respecto a las muestras sin escaldar.

Tabla 3. Cambio promedio total de color en los distintos tiempos de escaldado (Elaboración propia).

	⊗E 35 s	⊗E 45 s	⊗E 55 s
Promedio	19.30	17.67	17.26

En la Tabla 4 se presenta la energía suministrada en promedio para cada tiempo de escaldado y en la Tabla 5 el calor suministrado en promedio durante la cocción.

Tabla 4 Energía suministrada durante el escaldado (Elaboración propia).

Sin escaldar (KJ)	Escaldado 35 s (KJ)	Escaldado 45 s (KJ)	Escaldado 55 s (KJ)
0	1260.37	1269.10	1278.10

Tabla 5 Energía suministrada durante la cocción (Elaboración propia).

15 min (KJ)	20 min (KJ)	25 min (KJ)
2028.41	2293.31	2564.34

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de las curvas de penetración de calor obtenidas por simulación con el software COMSOL Multiphysics en una rodaja de yuca sometida a cocción por 20 min.

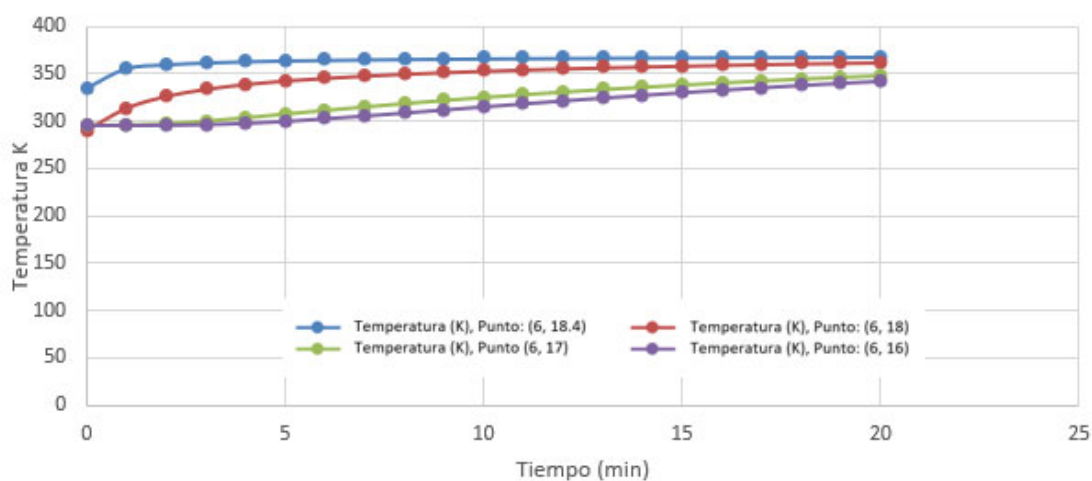


Figura 1. Curvas de penetración de calor para una rodaja de yuca para 20 min de cocción (Elaboración propia).

En la Figura 2 se presentan las animaciones obtenidas por simulación con el programa COMSOL Multiphysics de la penetración de calor durante la cocción de yuca.

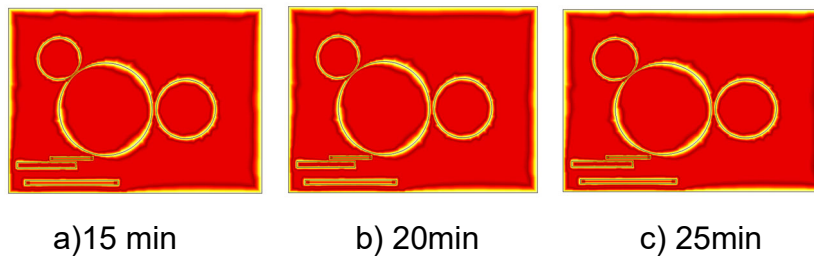


Figura 2 Animaciones de la simulación de penetración de calor durante la cocción de yuca (Elaboración propia).

En la Figura 3 se muestra una curva de pérdida de peso en función del tiempo para la deshidratación de rodajas de yuca de 3 mm de espesor (12% humedad final).

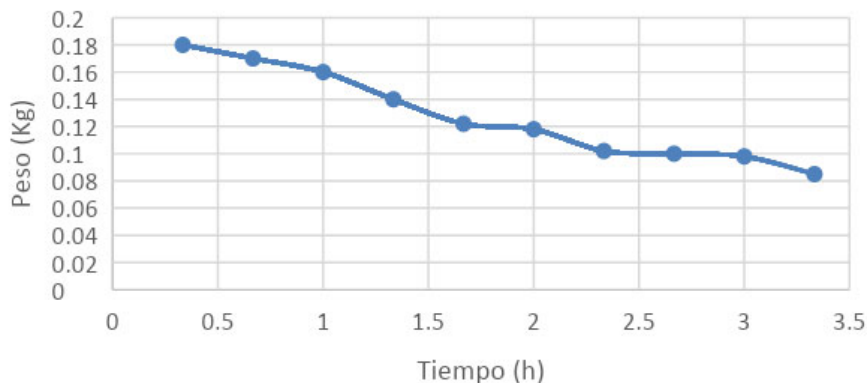


Figura 3. Curva de pérdida de peso en función de tiempo para rodajas de 3mm de espesor (12% de humedad final) (Elaboración propia).

Discusión

Las corridas que pierden menor cantidad de materia prima al remover la cáscara son las escaldadas a 35 s (mayor rendimiento másico), también son las que presentan menor cambio de color y requieren menor gasto energético para escaldar y cocer.

El cambio más significativo de los efectos del tiempo y temperatura de proceso es el color. En la tabla 2 se puede observar el oscurecimiento del producto, que cambia de amarillo hasta verde oscuro o café debido a reacciones de Maillard y pardeamiento enzimático. Las simulaciones de los perfiles de temperatura fueron cercanas a los valores experimentales y permitieron hacer predicciones del comportamiento a mayores espesores y diámetros de las rodajas. El secado de yuca en horno de piedra a 90 °C se llevó a cabo en el período constante hasta un tiempo de 3.5 h y se llegó al 12% de humedad a las 7 h. Para llegar al mismo porcentaje de humedad se requieren 21.36 h (+ 4.71 h) a 50 °C, y 17 h 25 min a 70 °C con la variedad venezolana de yuca (Miranda *et al.*, 2018).

Conclusiones

El escaldado por 35 s y la cocción por 20 min de rodajas de 3 mm de espesor proporciona los requerimientos suficientes para que la yuca sufra los mínimos cambios físicos y se garantiza la inactivación enzimática de peroxidasa y linamarina en la producción de ácido cianhídrico asegurando la inocuidad de la yuca. En la deshidratación de yuca, con un tiempo de 7 h se logra una humedad de 12% obteniéndose las pérdidas mínimas respecto a los demás tiempos de escaldado, cocción y deshidratado estudiados.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de los proyectos UNAM DGAPA PAPIIME PE213020 y FESC UNAM PIAPI 2057.

Referencias

Bastida O. A. (3 de mayo de 2018). *Estadísticas de yuca en México*. Blog Agricultura.

<https://blogagricultura.com/estadisticas-yuca-mexico/>

Choi, Y., Okos, M.R. (1986). Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In Le M. Maguer, & P. Jelen (Eds.). *Food Engineering and Process Applications, 1: Transport Phenomena* (pp. 93-101). New York: Elsevier.

Miranda, P., Martínez, K., Torres, R., Mendoza, J., David, R. (2018). Evaluación experimental del secado de yuca variedad venezolana por medio de un sistema híbrido de calentamiento de aire. *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, 26: 329-338.

Rivadeneira, E., Rodríguez, J., Martínez, M. (2017). Toxicidad de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) Estudio con Linamarina. Cap. 1-3 Saarbrücken. Verlag. pp. 5-21.

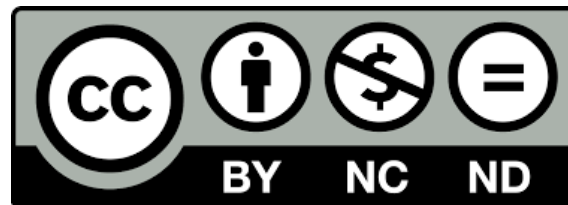
Talens, O.P. (2017). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB* Universitat Politècnica de Valencia pp. 1-7.



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Gutiérrez-Zacarías, J. P., López-Martínez, F. J., y Vargas-Ugalde, M. E. (2021). Transferencia de energía durante el procesamiento de yuca (*manihot esculenta*) para la obtención de harina. *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 4, No. 4, septiembre 2021 - agosto 2022. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2021/memcart2021_paper3.html