

Capacidad de Rehidratación y Cambio de Color de Yuca (*Manihot esculenta crantz*) Deshidratada en Microondas

Carlos García-Mogollón⁽¹⁾, Armando Alvis-Bermúdez^{(2)*} y Pedro Romero-Barragán⁽²⁾

(1) Universidad de Sucre Facultad de Ingeniería, Sincelejo, Sucre, Colombia.

(2) Universidad de Córdoba, Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de vegetales, Carrera 6 N° 76-103, Km 3, vía Cereté, Córdoba, Colombia. (e-mail: aalvis2@hotmail.com)

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia.

Recibido Jul. 28, 2015; Aceptado Sep. 23, 2015; Versión final Oct. 28, 2015, Publicado Feb. 2016

Resumen

Chips de yuca de 0.4 cm de ancho con peso de 20, 35 y 50 g y diámetro de 2, 3 y 4 cm se deshidrataron por microondas a 140W, 280W y 560W. Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial para evaluar el efecto sobre la rehidratación y el color (L^* , a^* , b^* y a^*/b^*). La capacidad de rehidratación fue mejorada con la reducción de la potencia en el tratamiento por microondas y con la masa de la muestra ($p < 0.05$). El chip de 4cm y tratado con una densidad de carga de 0.071g yuca/W potencia presentó la mayor capacidad de rehidratación de 1.947g yuca rehidratada/ g yuca seca. Los cambios de color de los chips de yuca secos no fueron negativos teniendo en cuenta los valores de L^* , a^* y b^* ; logrando valores bajos de a^*/b^* y alta luminosidad, características usuales de productos secos.

Palabras clave: yuca; Manihot esculenta crantz; deshidratación; rehidratación; secado en microondas

Rehydration Capacity and Color Change of Cassava (*Manihot esculenta crantz*) Dried in Microwave

Abstract

Chips of cassava of 0.4cm wide with 20, 35 and 50 g weight and diameter of 2, 3 and 4 cm were dried by microwave at 140W, 280W and 560W. A completely random factorial design was applied to assess the effect on rehydration and color (L^* , a^* , b^* y a^*/b^*). Rehydration capacity was improved with reduction of the power for the microwave treatment and with the weight of the sample ($p < 0.05$). The 4cm chip treated with a density of 0.071g cassava/W presented the higher rehydration capacity of 1.947g rehydrated cassava / g dry cassava. Changes in color of dried cassava chips were not negative, taking into account the values of L^* , a^* and b^* , achieving low values of a^*/b^* and high brightness, common characteristics of dry products.

Keywords: cassava; Manihot esculenta crantz; dehydration; rehydration; microwave drying

INTRODUCCIÓN

La producción de yuca en 2013 fue de 2.172.870 ton en Colombia, 1.192.875 ton en la Costa Atlántica y de 305.195 ton en Córdoba (Agronet, 2013). De la producción total, menos del 10% se procesa con destino a la alimentación animal o para obtener productos industriales, como almidones y aperitivo. Entre los usos industriales de raíces y tubérculos como el ñame, yuca y papa cabe destacar la yuca seca para la elaboración de pan en un 3-20%, galletería 10%, carnes procesadas 100%, mezclas para coladas y sopas 10-40%, dulces de leche frutas 50-100%, condimentos 50-100%, mezclas para empanizados de carnes 15-30% y snacks un 100% (Henao, 2004).

La deshidratación es un proceso que busca conservar por reducción del contenido de agua, de peso y volumen conduciendo al decremento de los costos de transporte (Darvishi et al., 2014). El microondas es una tecnología no convencional, cuyo mecanismo implica el paso de ondas a través de la estructura calentando desde el centro generando un perfil de temperatura de mayor a menor del centro hacia fuera, logrando que el agua se caliente y migre hacia la superficie de la hojuela hasta que alcance la temperatura de evaporación. Esto aumenta los canales para movimiento y salida de agua hacia las capas superficiales, lo que favorece la deshidratación en el tratamiento de secado. El uso del microondas en secado resulta mucho más benéfico en la reducción del tiempo de proceso siendo más uniforme (Sarimeseli, 2011; Darvishi et al., 2013; Zarein et al., 2015).

Recientes estudios con productos hortofrutícolas deshidratados por microondas han evaluado su efecto en términos de color, vitaminas, cristalización, pegajosidad, uniformidad y rehidratación (Seguí et al., 2013; Zura et al., 2013a; Zura et al., 2013b; Doymaz y Özdemir, 2014; Ogawa y Adachi, 2014; Vergeldt et al., 2014; Rafiq et al., 2015) entre otras propiedades funcionales. Cuando el alimento se deshidrata sufre cambios estructurales y geométricos que dependen de su composición y la rigurosidad del tratamiento. Uno de los cambios típicos es la reducción del volumen y el incremento de la porosidad. El encogimiento origina que el volumen del producto disminuya debido a que el agua es evaporada, produciendo que la estructura superficial durante el secado se deforme fácilmente provocando huecos, mientras que la parte interna tiene pocas rupturas, donde la difusividad es reducida debido a que el agua restante está ligada por puentes de hidrogeno. Por lo tanto se espera que la microestructura de los poros y la porosidad en sí, jueguen un papel importante en el mecanismo de rehidratación. Al rehidratar se busca reconstituir lo más próximo al fresco y en el menor tiempo (Melquíades et al., 2009). La mayoría de los productos deshidratados son rehidratados para su uso como materia prima o para consumo directo. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la potencia, el diámetro del chip y la masa en la en el color y la cinética de rehidratación de chips de yuca deshidratadas por microondas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamiento de secado

Se tomaron muestras de yuca (*Manihot esculenta crantz*) de la variedad Verónica provenientes de la ciudad de Montería, Córdoba, Colombia. La adecuación se realizó en un procesador CHEF VE800 Javar cortando rebanadas de 0.4 cm de espesor con 2, 3 y 4 cm de diámetro. Se tomaron muestras para determinar el contenido inicial de humedad, cenizas, proteínas y fibra (AOAC, 1993). Se utilizó un horno microondas doméstico de marca Haceb HM-1.1 con una frecuencia de 2450MHz y dimensiones internas de 354x228x373 mm. Se tomaron 20, 35 y 50 g de muestra, se distribuyeron uniformemente en el plato del microondas y se secaron a 140W, 280W y 560W.

Rehidratación

Para establecer el método de rehidratación se tomó en cuenta el Método 88-04 de la (AACC, 1983). Las pruebas se realizaron con 2.5 g de chips de yuca adicionándoles 25 ml de una solución de NaCl a 37°C (2.5 g / 100 ml) en un Beaker de 100 ml. Los cambios en peso durante la rehidratación se registraron cada 5 minutos, en un intervalo de 5 a 100 minutos. La constante de velocidad cinética para la rehidratación se determinó tomando la relación de rehidratación en función al peso ganado por la muestra con respecto al peso seco. La velocidad de rehidratación (Zambrano et al., 2007) está representada por la pendiente de la curva de acuerdo a la ecuación (1).

$$X = X_e - (X_e - X_i) e^{-K_{reh} t} \quad (1)$$

Donde X, representa el contenido de humedad de los chips durante la rehidratación (Kg Agua/Kg sólido seco), X_e es el contenido de humedad en el equilibrio, K_{reh} es la velocidad de rehidratación en min^{-1} y t es el tiempo de rehidratación (min).

La razón o capacidad de rehidratación CR (g de yuca rehidratada / g yuca seca), la cual expresa la habilidad del material para rehidratarse, puede calcularse a partir de la ecuación (2)

$$CR = W_r / W_d \quad (2)$$

Dónde W_r es el peso total al final de la rehidratada y W_d es el peso del material seco.

Color

El análisis de color se realizó determinando las coordenadas de color del espacio CIELab. Las mediciones se hicieron con un colorímetro Colorflex EZ 45 (HunterLab®) calibrado con un plato de cerámica estándar de color verde y blanco estándar antes de su lectura. Los tres parámetros en el modelo representan la luminosidad de color (L^* , $L^*=0$ rendimientos negro y $L^*=100$ indica blanca), su posición entre rojo y verde (a^* , valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo) y su posición entre amarillo y azul (b^* , valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo) y la relación a^*/b^* .

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3^3 correspondiente a la variable categórica potencia con tres niveles (140, 280 y 560W), diámetro del chip (2, 3 y 4 cm), peso de yuca (20, 35 y 50 g); 3 repeticiones para un total de 81 unidades experimentales. Se aplicó el Test de Tukey con un nivel de significación de $p < 0.05$ a la capacidad de rehidratación (CR) respecto a los factores potencia y masa; la velocidad de rehidratación (K_{reh}) con respecto a la potencia, masa y diámetro de los chips de yuca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad de Rehidratación

La CR fue afectada por la potencia, la masa de yuca y la interacción de los factores ($p < 0,05$). El diámetro de los chips de yuca no mostró un efecto significativo ($p > 0,05$). Los cambios químicos y físicos de los chips de yuca derivados de la deshidratación están asociados con su matriz fibrosa, riqueza en almidón y agua. En la Tabla 1 se presentan los valores de CR después de 80min en rehidratación, obtenidos para cada tratamiento de secado a las que fueron sometidas las muestras.

Tabla 1: Capacidad de rehidratación de la yuca seca

Potencia (W)	CR (g de yuca rehidratada/g yuca seca)	Masa Yuca (g)	CR (g de yuca rehidratada/g yuca seca)
560	1.779a	35	1.781a
280	1.830ab	50	1.801a
140	1.839b	20	1.867b

La deshidratación a 560W causa mayor encogimiento en la muestra, debido a la salida más rápida de agua a través de los chips, lo cual implica una estructura rígida, con espacios intercelulares menos definidos que restringieron la difusión del agua. Esto puede observarse en los valores de CR, donde se demuestra que el secado produce el mayor daño de los tejidos vegetales (membrana y pared celular), lo que implica en una mayor capacidad de rehidratación y una menor capacidad de retención de agua; es decir, que los tejidos al estar más dañados son capaces de absorber más agua pero no pueden retenerla. Ogawa y Adachi (2014) sugieren que la gelatinización del gránulo de almidón previene el flujo de agua al interior de la matriz. La potencia a 280W no mostró diferencias con los tratamientos a 560W y 140W en la CR, evidenciando una intensidad intermedia sobre la estructura del chip entre la mayor y menor potencia. El secado en microondas a 140W daño en menor grado la estructura. La interacción de los factores potencia y masa de yuca seca (Figura 1) muestra que la menor densidad de carga del microondas (g yuca/potencia W) tiene un efecto importante sobre la estructura de los chips de yuca, dado que la menor intensidad del tratamiento establecido en el tiempo requerido para secar los 20 g de yuca fresca fue inferior; además, de la intensidad recibida por los 50 g refleja que la CR se ve afectada por la rigurosidad de la potencia aunque la densidad de carga sea menor a 560W.

Es importante destacar que la deshidratación por microondas reduce el tiempo de la operación y aunque es una tecnología de calentamiento, su mecanismo implica un calentamiento desde el centro del producto hacia la superficie modificando los canales de salida del vapor y al final el efecto sobre la estructura de los chips confirmando que los procesos termicos rompen la célula reduciendo su capacidad de rehidratación (Melquíades et al., 2009; Doymaz e Ismail, 2013; Zura et al., 2013a).

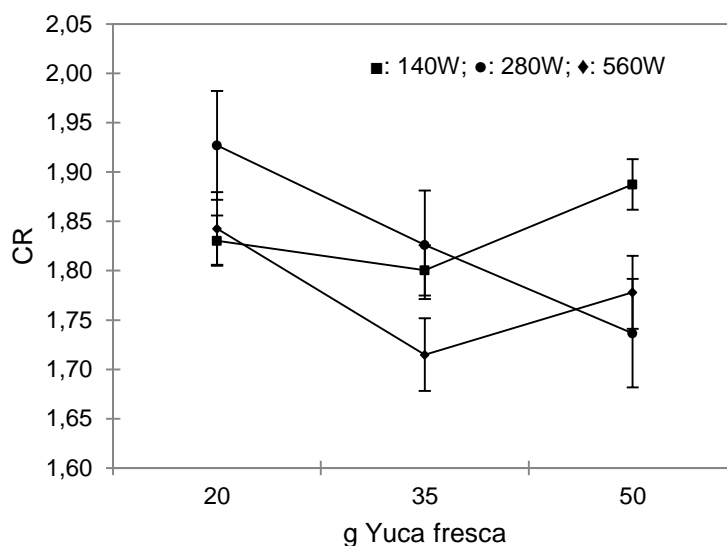


Fig. 1: Interacción de los factores Potencia: Masa de yuca (g) sobre la CR de yuca seca

Aunque el diámetro de los chips mostró no tener efecto significativo en este parámetro de rehidratación, la interacción con los factores potencia y masa de yuca muestra que el chip de 4 cm y la densidad de carga de 0,071g yuca /W potencia (20g/280W) tiene la mayor CR de 1.947g yuca rehidratada/ g yuca seca de todos los tratamientos. En contraste con productos deshidratados con aire caliente como las castañas secas a 65 °C con CR de 0.927 g agua/g materia seca a los 60min (Moreira et al., 2008), carne con CR de 1.2 g agua/g materia seca (Muñoz et al., 2012) muestran valores menores a los obtenidos y zanahoria a 80 °C con CR de 5.28 g agua/g materia seca (Melquíades et al., 2009) con un valor mayor al obtenido.

Cinética de Rehidratación

Se observan en las curvas de rehidratación una rápida velocidad de reconstitución durante los primeros minutos, seguido por un incremento gradual que tiende a un máximo en la CR alrededor de los 80min en todos los tratamientos (Figura 2). En la adsorción de agua durante el periodo evaluado se observa un primer segmento (hasta 10min) de contacto en la rehidratación; puesto que la muestra deshidratada contiene moléculas que se encuentran formando puentes de hidrogeno en las regiones hidrófilas, que al estar en contacto con moléculas de agua quedan retenidas por interacciones de Van der Waals hasta saturar los poros superficiales. El segundo periodo presenta una tendencia de adsorción de humedad de manera exponencial, donde las moléculas de agua comienzan a penetrar al interior de la fase sólida, dándose un movimiento de solutos en donde se dispersa el material soluble formando la fase líquida. Las interacciones determinan las fuerzas y la cinética para el transporte del agua (Van der Sman y Meinder, 2013).

La intensidad y el mecanismo de deshidratación sea aire caliente, osmótica, liofilización y microondas afecta la permeabilidad de las membranas celulares, la formación de estructuras porosas y el mecanismo por difusión, hinchamiento, capilaridad y/o todas simultáneamente que gobierna el transporte de agua (Zambrano et al., 2007; Ho et al., 2013; Van der Sman et al., 2014). Sin embargo, la gelatinización de los carbohidratos cambia la estructura interna de la yuca aunado a una pérdida de sólidos puede ejercer un efecto perjudicial sobre la rehidratación asociado al sólido amorfo permitiendo que a medida que se lleva el proceso de secado aumenten las fuerzas cohesivas y se reduzca la movilidad de las moléculas.

El modelo exponencial describe satisfactoriamente las curvas de rehidratación de los chips de yuca en todos los tratamientos ($R^2 > 99\%$ y $SSE < 1\%$). El diámetro tiene un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la K_{reh} , formando tres grupos homogéneos conformado por la mayor K_{reh} es 0.048 min^{-1} con 2 cm, 0.040 min^{-1} con 4 cm y 0.036 min^{-1} con 3 cm indicando la influencia sobre los cambios estructurales en los chips. Al correlacionar las variables potencia y densidad de carga con los indicadores CR y K_{reh} se aplicó la matriz de correlación de Pearson (Tabla 2) mostrando que no existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en la correlación con los indicadores CR y K_{reh} ; sin embargo, exhiben una tendencia negativa con respecto a la potencia y positiva con la densidad de carga.

En el fenómeno de la rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) la absorción de agua dentro del material deshidratado, b) la pérdida de solutos al medio y c) el hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentado o recuperando su tamaño y volumen inicial. Las variables operacionales del secado (temperatura, potencia y

tiempo de exposición) afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, por lo que es común utilizar índices numéricos para observar este efecto, entre estos indicadores destacan la capacidad de rehidratación y la capacidad de retención de agua, que tienen que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento. Estos índices pueden disminuir o aumentar, ya sea por una desnaturalización y/o agregación de proteínas bajo el efecto calor, concentración de sales, desorción de agua, destrucción de pectinas y membranas celulares.

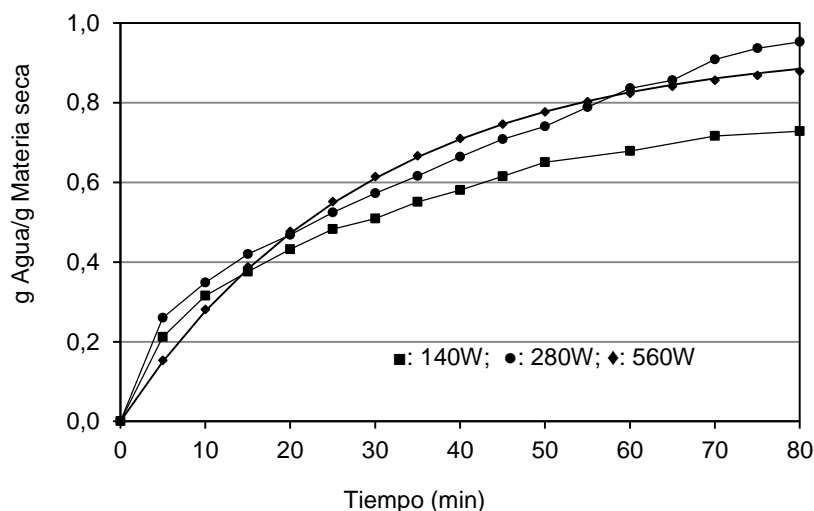


Fig. 2: Cinética de rehidratación para chips de 4cm y 35g de yuca seca fresca

Tabla 2: Matriz de correlación

Variables	Potencia(W)	DC(g/W)	K_{reh}	CR
Potencia(W)	1	-0.746	-0.450	-0.411
DC(g/W)	-0.746	1	0.513	0.179
K_{reh}	-0.450	0.513	1	0.176
CR	-0.411	0.179	0.176	1

Cambio de color

Los parámetros de la escala CIELab L^* , a^* , b^* y los valores de a^*/b^* fueron evaluados el efecto de la potencia de tratamiento, diámetro y la masa de los chips de yuca no mostrando diferencias significativas ($p > 0.05$), excepto el parámetro Luminosidad (L^*) con respecto al diámetro de los chips ($p < 0.05$). El test de Tukey para comparar las medias de L^* por el diámetro, establece que existen dos grupos homogéneos significativamente diferentes ($p < 0.05$) conformados por el diámetro de 2 cm y el otro grupo por los diámetros de 3 cm y 4 cm del chip de yuca.

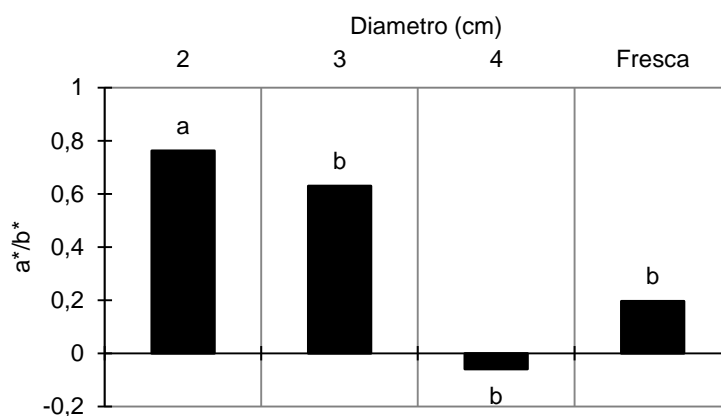
Los tratamientos por microondas son reportados no causantes de daños de color durante el secado, a diferencia del secado en horno que causa oscurecimiento en los productos por las altas temperaturas del tratamiento (Maskan, 2001). Teniendo en cuenta que los parámetros del color evaluados en los chips de yuca secos no fueron afectados por los tratamientos comprometiendo su apariencia, los valores fueron comparados con los valores de los parámetros de la yuca fresca mediante la aplicación del test de Dunnett teniendo en cuenta la variable diámetro (Tabla 3). Es importante destacar el incremento de los valores de L^* en los chips de yuca seco indicando el blanqueamiento de la superficie. El parámetro a^* se mantiene sin variaciones importantes con valores centrales en su posición respecto a su escala de verde (valores negativos) y rojo, significando un parámetro no importante en este tipo de productos; sin embargo, el parámetro b^* con valores positivos (indican amarillo) posee más importancia dado que en la yuca es característica una pigmentación amarilla asociada a su composición, aunque la apariencia sea predominantemente blanca.

En términos generales, en los chips de yuca secos la luminosidad L^* es el parámetro más importante indicando que el producto no se quemó, el valor a^* aumento y el b^* se redujo indicando una reducción del "amarillo" de la superficie. Con respecto a la relación a^*/b^* se consideran valores bajos de a^*/b^* como

deseados en productos secos (Soysal, 2004), en este estudio comparado con la variable diámetro con el valor en la yuca fresca (Figura 2) mostraron valores bajos y diferencias significativas con respecto al diámetro de 2 cm, consecuencia del menor valor b^* . Pérez y Hoyos (2012) obtuvieron valores de a^*/b^* inferiores a 1.0 cuando secaron yuca al sol, en horno y microondas (560W y 700W), también obtuvieron valores altos de luminosidad. Otros estudios como el secado de cubos de remolacha los parámetros fueron incrementándose en el periodo de velocidad decreciente (Figiel, 2010), en ajo deshidratado el color se hizo más brillante cuando se secó usando microondas mientras el convectivo lo hizo menos brillante (Figiel, 2009), en tajadas de cebolla los valores de L^* se redujeron, a^* y b^* se incrementaron por tratamiento a 700W (Arslan y Ozcan, 2010).

Tabla 3: Test de Dunett para comparación CIELab

Categoría	L^*	a^*	b^*
Fresca	97.0a	-0.024ab	1.035a
4 cm	99.71b	-0.100a	1.031a
3 cm	99.81b	0.395b	0.851a
2 cm	99.99b	0.317b	0.580b

Fig. 2: Test de Dunett para a^*/b^* respecto al chip fresco de yuca

Los resultados de cromaticidad con la escala CIELab mostrados representan los valores de los parámetros estándar evaluados a nivel superficial; sin embargo, otros aspectos relacionados con el tiempo de secado aplicado, los efectos internos del producto no son fácilmente observables. Teniendo en cuenta que en el secado por microondas el líquido fluye hacia la superficie donde es evaporado, este proceso permite un secado sin que la superficie se sobrecaliente. Por lo tanto, en términos de la degradación superficial del color, la preservación del color del producto es buena.

CONCLUSIONES

El secado y la rehidratación son procesos que se espera que se lleven a cabo de manera similar pero inversamente respecto al tiempo. Los chips de yuca deshidratados presentan destrucción de enlaces moleculares que provocaron una estructura contraída, por lo que al rehidratarse se forman nuevos enlaces internos, lo que finalmente influye en la capacidad de rehidratación. Los cambios de color de los chips de yuca secos no fueron negativos teniendo en cuenta los valores de L^* , a^* y b^* . Así, con el secado en microondas se lograron valores bajos de a^*/b^* y altos de L^* deseados para productos secos.

REFERENCIAS

Agronet, *Sistemas de estadísticas Agropecuarias-SEA, Estadísticas Agroforestales Consolidado Nacional*, <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>. Acceso 6 de Julio (2013)

A.A.C.C.: American Association of Cereal Chemists, *Approved Methods 88-04*, The Association: St. Paul. MN (1983)

A.O.A.C.: Association of Official Analytical Chemist, *Official Methods of Analysis, Section 954.10*. 13th. Ed. Washington D.C., USA (1993)

- Arslan, D. y M. Ozcan, *Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices*, Food Science and Technology, 43, 1121-1127 (2010)
- Darvishi, H. y otros tres autores, *Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating*, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 12, 121–127 (2013)
- Darvishi, H. y otros cinco autores, *Study of the drying kinetics of pepper*, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13, 130–138 (2014)
- Doymaz, I. y O. Ismail, *Modeling of Rehydration Kinetics of Green Bell Peppers*, DOI: 10.1111/j.1745-4549.2012.00724.x, Journal of Food Processing and Preservation, 37(5), 907–913 (2013)
- Doymaz, I. y Ö. Özdemir, *Effect of Air Temperature, Slice Thickness and Pretreatment on Drying and Rehydration of Tomato*, DOI: 10.1111/ijfs.12337, International Journal of Food Science y Technology, 49(2), 558–564 (2014)
- Figiel, A., *Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices*, Journal of Food Engineering, 94, 98–104 (2009)
- Figiel, A., *Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods*, Journal of Food Engineering, 98, 461–470 (2010)
- Henao, S., *Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación*, Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Valle (2004)
- Ho, Quang T. y otros doce autores, *Multiscale modeling in food engineering*, Journal of food Engineering, 114(3), 279–291 (2013)
- Maskan, M. *Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying*, Journal of Food Engineering, 48, 169-175 (2001)
- Melquíades, Y., C. López y M. Rosas, *Estudio de la Cinética de Rehidratación de Zanahoria (*Daucus Carota*) Deshidratadas*, doi:10.1612/inf.tecnol.4037it.08, Información Tecnológica, 20(3), 65-72 (2009)
- Moreira, R. y otros tres autores, *Water absorption, texture, and color kinetics of air-dried chestnuts during rehydration*, Journal of Food Engineering, 86, 584–594 (2008)
- Muñoz, I. y otros tres autores, *Rehydration kinetics at 5 and 15°C of dry salted meat*, Journal of Food Engineering, 110, 465–471(2012)
- Ogawa, T. y S. Adachi, *Measurement of Moisture Profiles in Pasta During Rehydration Based on Image Processing*, Food and Bioprocess Technology, 7(5), 1465-1471(2014)
- Pérez, R. y P. Hoyos, *Evaluación del efecto de secado en horno microondas sobre la rehidratación y cambio de color en chips de yuca (*manihot esculenta crantz*)*, Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Ingeniería Agroindustrial, Montería (2012)
- Rafiq, A. y otros tres autores, *Temperature dependence on hydration kinetic model parameters during rehydration of parboiled rice*, DOI 10.1007/s13197-015-1790-7, J Food Sci Technol., 6(43), 1-5 (2015)
- Sarimeseli, A., *Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum L.*) leaves*, Energy Convers. Manag., 52, 1449–1453 (2011)
- Seguí, L., P.J. Fito y P. Fito, *A study on the rehydration ability of isolated apple cells after osmotic dehydration treatments*, Journal of Food Engineering, 115, 145–153 (2013)
- Soysal, Y., *Microwave drying characteristics of parsley*, Biosystems Engineering, 89(2)167–173 (2004)
- Van der Sman, R. G. M. y M. B. J. Meinders, *Moisture diffusivity in food materials*, Food Chemistry, 138(2-3), 1265–1274 (2013)
- Van der Sman, R.G.M. y otros cinco autores, *Multiphysics pore-scale model for the rehydration of porous foods*, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 24, 69–79 (2014)

Vergeldt, F. y otros ocho autores, *Rehydration kinetics of freeze-dried carrots*, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 24, 40–47 (2014)

Zambrano, L., D. Rodríguez y A. Álvarez, *Estudio Cinético y de Superficie de Respuesta para la Rehidratación de Zanahorias (Daucus carota) Liofilizadas*, Información Tecnológica, 18(4), 47-56 (2007)

Zarein, M., S. Hashem y B. Ghobadian, *Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14(1), 41-47 (2015)

Zura, L. y otros cuatro autores, *Effect of Temperature on Rehydration Kinetics, Functional Properties, Texture and Antioxidant Activity of Red Pepper Var. Hungarian (Capsicum Annum L.)*, DOI: 10.1111/j.1745-4549.2011.00623.x, Journal of Food Processing and Preservation, 37(1), 74–85 (2013a)

Zura, L. y otros cinco autores, *Rehydration Capacity of Chilean Papaya (Vasconcellea pubescens): Effect of Process Temperature on Kinetic Parameters and Functional Properties*, Food and Bioprocess Technology, 6(3), 844-850 (2013b)