

# EFECTO DEL CORTE Y MÉTODOS DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis flavicarpa*)

Jennifer Maribel Meza Bravo<sup>1</sup>, María Mercedes Zambrano Loor<sup>1</sup>, Francisco Demera Lucas<sup>2</sup>

Escuela Superior Politécnica De Manabí Manuel Feliz López<sup>1</sup>

## RESUMEN

La presente investigación tiene como fin evaluar los efectos del corte y métodos de secado en las características fisicoquímicas en harina de cáscara de maracuyá. Se determinó la cinética de secado mediante las curvas de Humedad vs tiempo, y velocidad de secado vs humedad. El secado se realizó en horno de bandeja a 65°C y horno microondas General Electric, modelo JES771SK con potencia de 1300W de entrada y 700W de salida, con las mismas densidades de cargas y área, tomando la pérdida de peso cada 5min. En el microondas la curva de humedad vs tiempo mostró como resultado 0.037 y 0.020 KgH<sub>2</sub>O/Kg ss en los cortes radial y perpendicular respectivamente con tiempo de 35min, mientras que, en el horno de bandeja, la pérdida de humedad fue lenta, llegando a 0.045 KgH<sub>2</sub>O/Kg ss de humedad en 155min en ambos cortes. La difusión del agua se estableció con la segunda Ley de Fick's, donde la difusividad en el horno es más prolongado terminando a los 9900s, y el tipo de corte con mayor coeficiente de difusividad fue el radial. En lo establecido por las características fisicoquímicas de la harina la única variable que mostró diferencia estadística significativa fue la humedad, por tanto, éste es menor cuando se aplica el secado en horno microondas. Se concluye que la cinética de secado es influenciada por los métodos de secado, debido a que la difusividad es menor en horno de bandeja, y la humedad de la harina es más alta en este método de secado.

**Palabras clave:** Calor específico, cinética de secado, difusividad efectiva,

## INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria los procesos generan una variedad de desechos donde los más representativos son los orgánicos que en gran parte, aumentan el nivel de contaminación ambiental del lugar donde se lleva a cabo el procesamiento. Quintero (2013) explica que los residuos orgánicos de mayor importancia son del área hortofrutícola como las cáscaras, las cuales contienen diversos componentes como gomas, aceites y fibras, que son desechados sin aplicar métodos de aprovechamiento para usos industriales u otros. De acuerdo a Rivadeneira (2009) Ecuador se ha convertido en los últimos años en el principal proveedor de jugo concentrado de maracuyá en el mundo, Durán y Honores (2012) indican que esto conlleva a una producción sostenible donde el 75% de la producción se deriva a la industrialización, básicamente destinada a la obtención de jugo pasteurizado concentrado que origina un desecho de cáscara que representa el 50 – 60% del fruto. Es así, que de acuerdo a Ulloa (2016) en el III Censo Nacional Agropecuario realizado por el MAGAP en el 2012 dentro la provincia de Manabí existe una producción de fruto de maracuyá de 27,407 TM, en donde aproximadamente entre el 15,073 y

---

<sup>1</sup> Carrera de Agroindustria, Calceta, Ecuador, [jennifermeza\\_1720@hotmail.com](mailto:jennifermeza_1720@hotmail.com)

17,129 TM corresponden a las cáscaras desechadas por las industrias. Fito et al. (2001) argumentan que en el proceso de secado se dan cambios de color, sabor, aroma, y pérdidas de valor nutritivo, y éstos cambios son mayores cuando más altas son las temperaturas utilizadas y/o cuanto mayor es el tiempo de secado, pudiendo minimizarse utilizando métodos de secado que impliquen el uso de temperaturas moderadas o bajas, asimismo los tipos de corte intervienen dentro del mecanismo de transferencia de agua entre el alimento (Suárez, 2009). Por lo antes expuesto, se pretende determinar el mejor corte y método de secado para la obtención de harina de cáscara de maracuyá, para potenciar el uso agroindustrial de este residuo sin que ésta pierda sus propiedades fisicoquímicas para colaborar paralelamente con las industrias alimentarias debido que, al disminuir los residuos de frutas, se minimizan los gastos que éstos generan, pues para la eliminación se requiere de transporte y mano de obra. Al mismo tiempo se aporta con un medio ambiente más limpio, y a la vez beneficios económicos por la utilización de dichos desechos agroindustriales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó en los talleres de Frutas y Vegetales y en los Laboratorios de Bromatología de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” del sitio Limón cabecera del Cantón Bolívar, y en los Laboratorios de Alimentos de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí en la ciudad de Manta.

## **MANEJO DEL EXPERIMENTO**

Las cáscaras de maracuyá se sometieron a un proceso de lavado con hipoclorito de sodio a 50 ppm por 10 minutos, para eliminar los restos de impurezas o semillas. Luego fueron cortadas de forma perpendicular y radial con un espesor aproximado de 1 cm, posteriormente se pesó en porciones de 250 g. Siendo sometido al proceso de secado según los tratamientos; en secador de bandeja a una temperatura de 65 °C, y en horno microondas General Electric, modelo JES771SK, con potencia de 1300 W de entrada y 700 W de salida, controlando la pérdida de peso cada 5 minutos. Una vez culminado el secado, las cáscaras se las dejó enfriar a temperatura ambiente, para proceder a la molienda, y se tamizó para separar las partículas más grandes en tamiz de 80 mesh, siendo almacenadas en fundas plásticas ziploc de tal manera que no entrara en contacto con la humedad para evitar el deterioro de la misma.

Las cáscaras de maracuyá inicialmente se sometieron a análisis de humedad, cuyo resultado fue de 86,44%. La cinética de secado se expresó mediante las curvas de Humedad vs tiempo, y velocidad de secado vs humedad.

Para obtener la curva de Humedad Vs el Tiempo, se determinó el tiempo de secado durante el proceso, y la humedad se calculó con la siguiente ecuación:

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

Donde:

X<sub>t</sub>: Humedad en base seca Kilogramo de agua/ Kilogramo de sólidos secos (KgH<sub>2</sub>O/Kg ss.)

W: Peso del sólido húmedo en Kg total de agua más sólido seco.

W<sub>s</sub>: Peso del sólido seco (Kg)

En la obtención de la curva de Velocidad de secado Vs la Humedad se determinó la velocidad de secado empleando la siguiente expresión:

$$R = \frac{S \Delta X}{A \Delta t} \quad (2)$$

Donde:

R: Velocidad de secado (Kg H<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup> \* min)

S: Peso de sólido seco (Kg)

A: Área de la superficie de secado (m<sup>2</sup>)

ΔX: Diferencial de las humedades

Δt: Diferencial del tiempo en minutos

Para establecer la difusión del agua se utilizó la segunda Ley de Fick's

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (3)$$

Donde:

Def: Difusividad efectiva (m<sup>2</sup> /s).

X: Humedad del alimento (Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss.)

t: Tiempo (s)

x: Longitud característica (m).

Esta ecuación se adaptó según la forma del alimento a secar, la misma que se considera una lámina, y de acuerdo a Contreras (2006) la ecuación se denota de la siguiente manera:

$$\frac{X}{X_0} = \frac{8}{\pi^2} * \exp\left(\frac{-\pi^2}{4*L^2} * D_{ef} * t\right) \quad (4)$$

Donde:

X: Contenido de humedad en el tiempo t

X<sub>0</sub>: Contenido de humedad inicial

L: Espesor de la lámina (m)

t: tiempo (s)

Al despejar la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$D_{ef} = \frac{4*L^2}{\pi^2 t} * \frac{\ln \frac{X}{X_0}}{\ln \frac{8}{\pi^2}} \quad (5)$$

El color de la harina se estableció mediante el método de CIELAB. Donde L\* indica la luminosidad mientras que a\* y b\* son las coordenadas cromáticas.

a\*= coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde).

b\* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul).

El calor específico se determinó con el modelo de Choi y Oikos 1983, como lo detalla Orrego (2003) mediante la siguiente ecuación:

$$cp = 4.180a + 1.711p + 1.928g + 1.547c + 0.908\zeta \quad (6)$$

Donde:

- a: Fracción másica del agua
- p Fracción másica de la proteína
- g Fracción másica de la grasa
- c Fracción másica de los carbohidratos
- $\zeta$  Fracción másica de las cenizas

## FACTORES EN ESTUDIO

En la presente investigación se consideraron los siguientes factores:

- Factor A: métodos de secado
- Factor B: corte de la cáscara de maracuyá

### Niveles

Los métodos de secado que se emplearon son los siguientes:

- $a_1$ : Secado en horno
- $a_2$ : Secado en microondas

Los cortes de la cáscara de maracuyá son:

- $b_1$ : Radial
- $b_2$ : Perpendicular

### Tratamientos

De la combinación de los diferentes niveles de cada factor se dieron como resultado los siguientes tratamientos:

- T<sub>1</sub>: Secado en horno de bandejas; corte radial
- T<sub>2</sub>: Secado en horno de bandejas; corte perpendicular
- T<sub>3</sub>: Secado en horno microondas; corte radial
- T<sub>4</sub>: Secado en horno microondas; corte perpendicular

## DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño que se empleó en la investigación fue un Diseño Completamente al Azar (DCA),  $2^2$  con un total de cuatro tratamientos y tres réplicas para cada tratamiento, el mismo que se ajusta al siguiente modelo matemático.

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_k + ab_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (7)$$

## VARIABLES A MEDIR

Las variables a medir fueron las siguientes:

### Características físicas:

- Color (CIELAB)

- Calor específico
- Cinética de Secado
- Difusividad

#### **Características químicas:**

- Proteína (INEN 465)
- Fibra (INEN 542)
- Carbohidratos (Cálculos)
- Grasa (AOAC 17th)
- Ceniza (INEN 467)
- Humedad (INEN 464)

#### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

La cinética de secado se representó mediante la curva Humedad vs Tiempo, y Velocidad de secado vs Humedad. Para las cuales se ubicaron los datos de la media de las réplicas correspondiente a cada tratamiento de cada una de las variables, para así obtener las curvas mediante el Programa Excel.

Para identificar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos las variables de color, calor específico, proteína, fibra, carbohidratos, grasa, ceniza, humedad fueron sometidos a un análisis de datos, en el que se utilizó el programa estadístico SPSS 21 versión libre mediante: prueba de normalidad (Shapiro Wilk) y por último pruebas de homogeneidad de varianzas (Levene). Al cumplir con los supuestos del Anova se realizó; Análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de establecer la diferencia significativa estadística tanto para los factores A y B de todas las variables en estudios y a sus tratamientos, posterior se realizó la prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD), para establecer las diferencias significativas entre factores. Se analizó al 5% de probabilidad de error.

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el secado por el método de horno microondas las curvas inician una reducción lineal durante los primeros 20 minutos donde se desarrolla la mayor pérdida de humedad, luego de esta etapa la humedad se reduce con menor rapidez. Dentro de este método de secado las cáscaras de maracuyá alcanzaron una humedad en base seca promedio de 0.037 y 0.020  $\text{KgH}_2\text{O/Kg ss}$  en corte radial y perpendicular respectivamente, alrededor de los 35 minutos. A diferencia del secado por el método de horno de bandeja donde las curvas muestran que la pérdida de humedad es lenta tanto en el corte Radial como Perpendicular llegando a un peso constante a los 155 minutos, con humedad en base seca de 0.045  $\text{KgH}_2\text{O/Kg ss}$  en ambos tipos de cortes. Es decir, que la pérdida de humedad por el método de secado en horno microondas se efectúa en menor tiempo. Concordando con las investigaciones de García et al. (2016) en la cual secaron chips de yuca en horno microondas, resaltando que se dan tiempos de secado más cortos en relación al secado convectivo y al sol. Zamora et al. (2016) testifican que mediante un experimento secaron bagazo de caña de azúcar por horno y microondas y los tiempos fueron de ocho y dos horas respectivamente. Además, Cui et al. (2004) deshidrataron zanahoria mediante aire caliente-microondas y la combinación de estas técnicas permitió reducir en un 98% el tiempo de proceso en comparación con el secado exclusivamente por aire caliente.

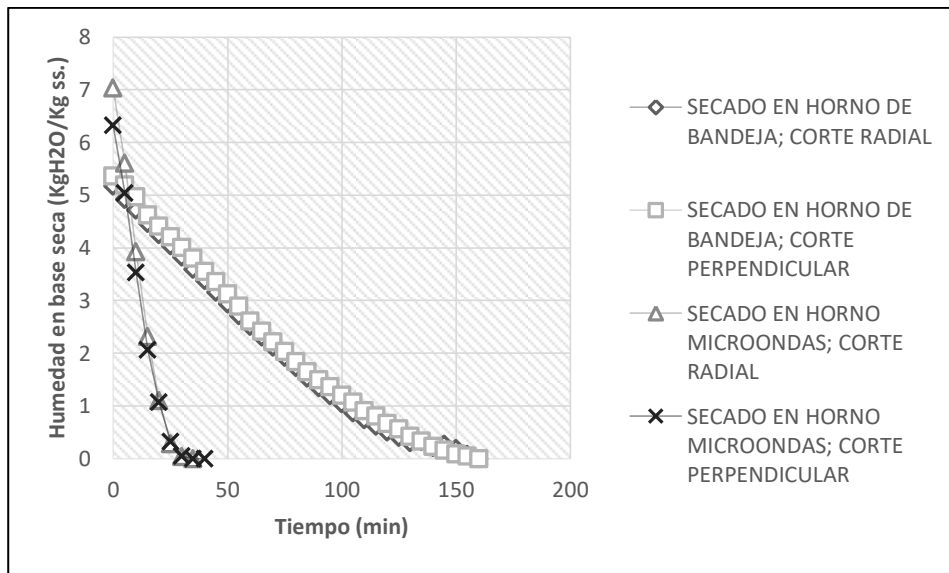


Gráfico 1. Humedad Vs Tiempo

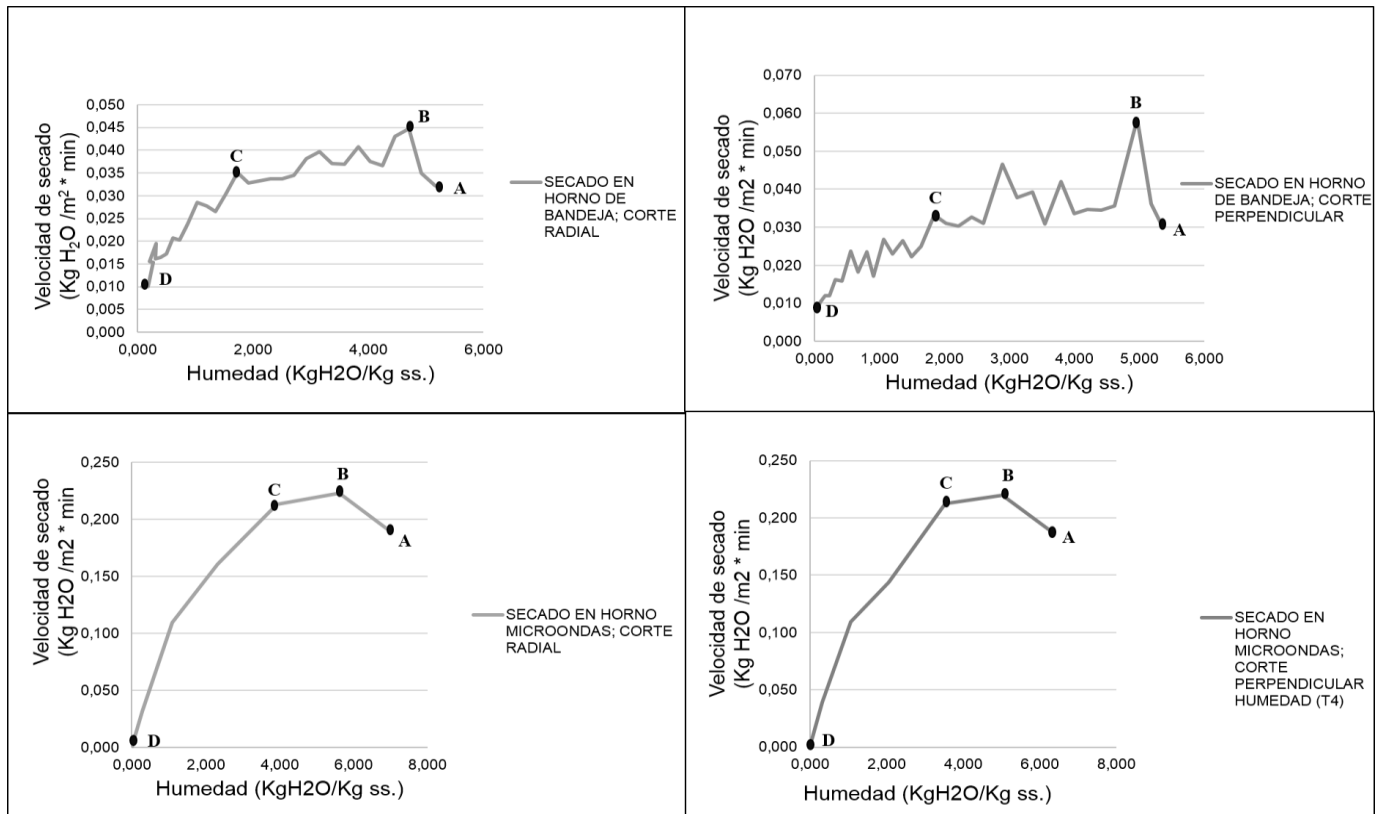
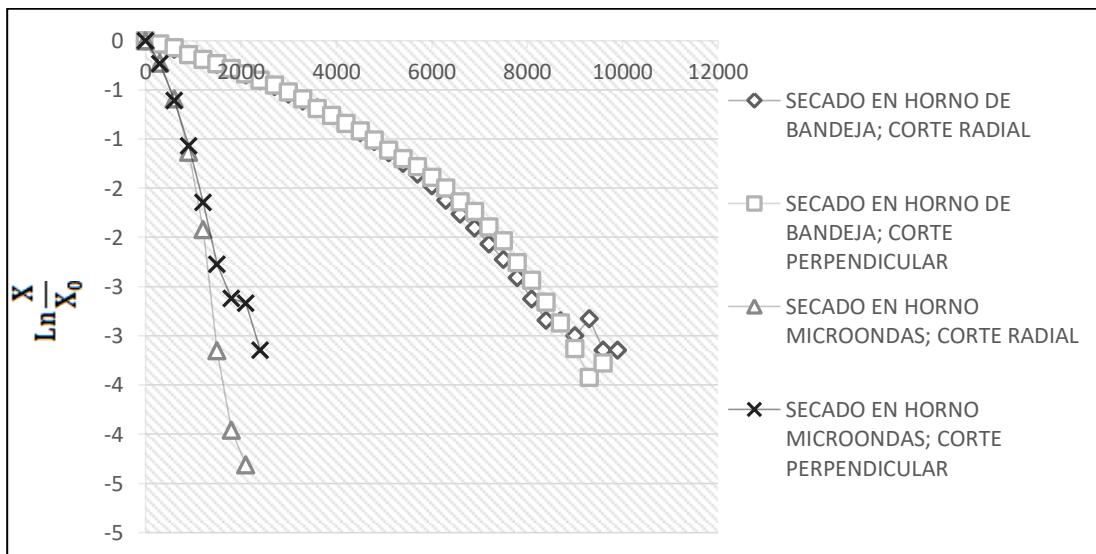


Gráfico 2. Humedad Vs Velocidad de secado

En el secado de la cáscara de maracuyá la velocidad de secado por el método de horno de bandeja tuvo un comportamiento inconsistente en comparación al secado en horno microondas como se puede observar en el gráfico 2. Dentro de los cuatro tratamientos las curvas presentan una velocidad ascendente (A-B) es así que Treybal (1980) indica que esto se debe a que un sólido que se encuentra inicialmente muy húmedo, tiene la superficie cubierta con una delgada película de líquido, conocida como humedad total no ligada siendo evaporada fácilmente. El secado en horno y microondas difieren en el periodo de velocidad constante (B-C) por tanto Mora y Riveros (2014) explican que el microondas desarrolla gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado, y es en esta etapa cuando la película superficial de humedad se reduce tanto por evaporación que el secado posterior produce puntos secos que aparecen sobre la superficie y ocupan cada vez porciones más grandes de la superficie expuesta al continuar el secado. Acorde a Orrego (2003) en la velocidad descendente (C-D) la superficie comienza agotarse del líquido, y es en esta etapa que se alcanza el contenido de humedad de equilibrio. Conforme lo analizado en este trabajo se identifica que la velocidad de secado está influenciada por los métodos de secado más no en los tipos de corte.



**Gráfico 3.** Difusividad efectiva del agua.

**Tabla 1.** Coeficientes de difusividad efectiva m<sup>2</sup>/s

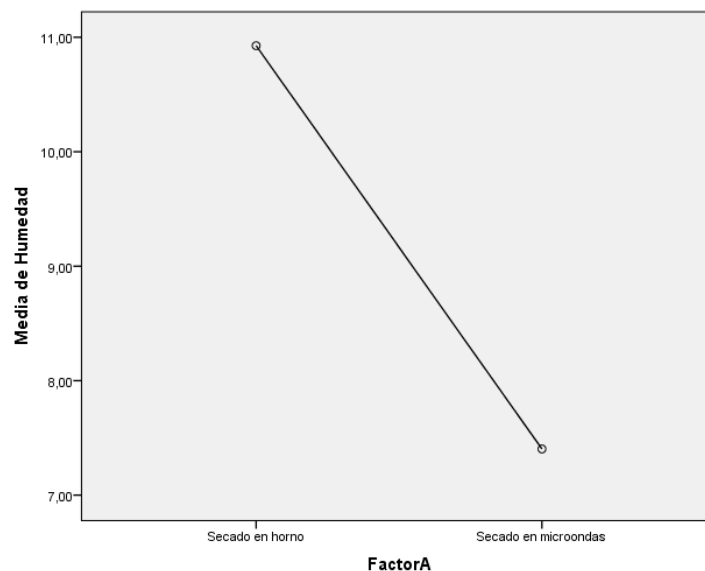
D <sub>ef</sub>			
T1	T2	T3	T4
1,8 x 10 <sup>-8</sup>	1,7 x 10 <sup>-8</sup>	9,4 x 10 <sup>-8</sup>	8,4 x 10 <sup>-8</sup>

Como se puede observar en el gráfico 3 la difusividad del agua en el método de horno de bandeja es más prolongado debido que la salida del agua contenida en la cáscara de maracuyá termina a los 9900s, a diferencia del secado en horno microondas donde la difusividad se realizó en un tiempo de 2400s. En la tabla 1 se refleja que el método de secado que tuvo mayor coeficiente de

difusividad fue el secado en horno microondas ( $T_3$  y  $T_4$ ), y en relación al corte el que presentó un mayor coeficiente de difusividad fue el corte radial, es decir, que el método de secado en horno microondas y el tipo de corte radial brindaron menor resistencia a la migración de humedad. De acuerdo a Suárez (2009) las cáscaras cortadas de forma radial tuvieron mayor difusividad debido a que el encogimiento fue menor durante el proceso de secado y por lo tanto mantuvo una mayor área de exposición lo que permitió una mayor difusividad de humedad.

García et al. (2016) mencionan que los valores de la difusividad en alimentos oscilan en forma general entre  $10^{-6}$  a  $10^{-11}$   $m^2/s$  y los obtenidos en el presente estudio fueron de  $10^{-8}$   $m^2/s$  lo cual está dentro de los parámetros, otras investigaciones muestran difusividades efectivas de  $1,561 \times 10^{-7}$   $m^2/s$  de rodajas de cupuaçu secadas en horno (Giraldo et al., 2010) y de Ñame secado por microondas de  $9,41 \times 10^{-4}$   $m^2/s$  (García et al., 2016).

En el establecimiento de las características fisicoquímicas de la harina de cáscara de maracuyá el análisis estadístico indicó que la única variable que mostró diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) fue la variable humedad en el factor A (métodos de secado) por lo cual, se realizó un gráfico de media para este factor.



**Gráfico 4.** Medias de humedad en los métodos de secado.

La media del nivel  $a_1$  (secado en horno de bandeja) es mayor a la del nivel  $a_2$  (secado en horno microondas), es decir, el porcentaje de humedad en la harina de cáscara de maracuyá es menor cuando se aplica el secado en horno microondas, esto se debe al mecanismo electromagnético con la que trabaja el horno microondas. Jaramillo (sf) explica que el agua, al ser una molécula polar, interactúa fácilmente con la radiación electromagnética, provocando un rápido aumento de temperaturas dentro del producto por lo que los mecanismos de deshidratación en este tipo de procesos es más rápido que cualquier otro método, es decir que dicho método ayuda a la eliminación del agua evaporada internamente puesto que junto a la difusión se presenta el movimiento convectivo en el interior del producto, lo cual indica que el tiempo de secado por microondas puede ser hasta 3 veces menor comparado con otros métodos de secado, pues el agua migra con más rapidez.



## CONCLUSIONES

La cinética de secado fue fuertemente influenciada por los métodos de secado, debido a que en el secado en horno microondas se pierde humedad en menor tiempo y la velocidad con que ocurre es mayor. No siendo así en los tipos de corte, las curvas se comportan de manera similar tanto en el corte radial como perpendicular.

La difusividad del agua depende principalmente de los métodos de secado debido a que ésta es mayor en el proceso de secado en horno microondas, lo cual induce a la reducción del tiempo de operación de hasta el 78% en comparación al secado en horno de bandeja. En relación al corte, la difusividad es mayor en el corte radial, el mismo que presentó menor resistencia para la salida del agua contenida en las células vegetales.

Las características de color, calor específico, proteína, fibra, carbohidratos, grasa y ceniza no estuvieron influenciadas ni por el método de secado ni por el tipo de corte, las cuales estadísticamente no presentaron diferencia significativa. Al contrario, la humedad si está relacionada al proceso de secado, pues ésta es menor cuando las cáscaras se secan por horno microondas.

El método de sacado influyó en varias de las características fisicoquímicas como es la difusividad efectiva del agua, cinética de secado y humedad, y en correspondencia al tipo de corte, este factor influyó únicamente en el coeficiente de difusividad, pues éste es mayor en el corte radial.

## BIBLIOGRAFÍA

Contreras, C. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratada*. (Tesis de Posgrado). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Cui, Z., Xu, S., Sun, D. (2004). Microwave-vacuum drying kinetics of carrot slices. *Journal of Food Engineering*. 65(2): 157-164. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.01.008>

Durán, V., & Honores, M. (2012). *Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edullis)*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Fito, P., Andrés, A., Barat, J., & Albors, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Recuperado de <https://gdocu.upv.es/>

García, C., Sierra, M., Miranda, L. (2016). Modelado de la Cinética de Secado en Microondas de Ñame. *Información Tecnológica*. 27(1): 61-68. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000100008>

García, C., Torregroza, T., y Sierra, M. (2016). Cinética de Secado de Chips de Yuca (Manihot esculenta crantz) en Horno Microondas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*. 39(3): 99-103.

Giraldo, A., Arévalo, A., Ferreira, A., Valdes, J., y Pavlak, M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (Theobroma grandiflorum) en rodajas. *Ciencia y tecnología de Alimentos*. 30(1): 179-182.

Jaramillo, C. (sf). *Estudio del proceso de deshidratación de alimentos frutihortícolas: empleo de microondas y energía solar*. (Tesis de Posgrado). Universidad Nacional de la Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Mora, G., & Riveros, A. (2014). *Efecto de la aplicación de microondas y osmodeshidratación en el secado de láminas de pera (Pyrus communis) variedad blanquilla*. (Tesis de pregrado). Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Bogotá, Colombia.

Orrego, C. (2003). *Procesamiento de alimentos*. Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Quintero, K. 2013. *Niveles de Harina de Cáscara de Maracuyá (Passiflora edulis) en Elaboración de yogur natural. Finca Experimental La María, Mocache-Ecuador 2013*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador.

Rivadeneira, M. 2009. *Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de Maracuyá (Passiflora edulis) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Suárez, R. (2009). *Estudio comparativo de la incidencia de la forma geométrica del alimento en la velocidad de secado aplicado al melón Cantaloupe*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

Treybal, R. (1980). *Operaciones de transferencia de masa*. New York, EE.UU. McGraw-Hill.

Ulloa, R. (2016). *Efecto de la harina de maracuyá (passiflora edulis) sobre los parámetros zootécnicos en la alimentación de pollos de engorde*. (Tesis de Pregrado). Universidad técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

Zamora, G., Gutiérrez, C., Mistretta, G., Peralta, F., Golato, M., Ruiz, M., y Paz, D. (2016). Determinación del contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar por medio de microondas. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. 93(2): 7-12.