

## **Cinética de la Deshidratación Osmótica del Aguacate (*Persea americana*), y Optimización del Color por Medio de Superficies de Respuesta**

**José E. Zapata<sup>(1)\*</sup>, Ana M. Restrepo-Suárez<sup>(2)</sup>, Lorena Arias<sup>(3)</sup>**

(1) Grupo de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Universidad de Antioquia, Calle 67 Número 53-108, Medellín-Colombia. (e-mail: jedgar\_4@yahoo.es)

(2) Griffith Foods S.A.S., KM 39 Autopista Medellín – Bogotá, Medellín-Colombia. (e-mail: amaresua@gmail.com)

(3) Grupo de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Universidad de Antioquia, Calle 67 Número 53-108, Medellín-Colombia. (e-mail: lore1114msn@hotmail.com)

\* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

*Recibido Nov. 17, 2015; Aceptado Ene. 25, 2016; Versión final Feb. 8, 2016, Publicado Ago. 2016*

---

### **Resumen**

En el presente trabajo se utiliza la metodología de superficies de respuesta para evaluar el efecto de la temperatura, la presión, el número de pulsos de vacío y la relación jarabe/fruta, sobre los parámetros de color como la luminosidad, las coordenadas cromáticas y las diferencia de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $dE^*$ ), la humedad, el contenido de sólidos solubles, la textura (dureza), la acidez y la actividad acuosa, en la deshidratación osmótica de aguacate (*Persea americana*) var. Hass. Se usa una solución de maltodextrina (50 %), NaCl (10 %), ácido cítrico (1,5 %) y ácido ascórbico (1,5 %), durante 4 h. Los resultados mostraron que es posible reducir el deterioro del color y mejorar las demás características del aguacate (*Persea americana* var. Hass) con deshidratación osmótica a 7,5°C y 850 mBar. Bajo estas condiciones se modeló el comportamiento cinético en deshidratación osmótica del aguacate utilizando dos modelos empíricos y uno fenomenológico.

*Palabras clave: pulsos de vacío; cinética de secado; actividad acuosa; superficies de respuesta; Persea americana*

## **Kinetic of Osmotic Dehydration of Avocado (*Persea americana*), and Color Optimization using the Response Surface Methodology**

### **Abstract**

The response surface methodology is used to evaluate the effect of temperature, pressure, number of vacuum pulse and syrup/fruit ratio, over color parameters such as luminosity, chromatic parameters, and color difference ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $dE^*$ ), humidity and solid soluble contain, texture (hardness), acidity and water activity, in osmotic dehydration of avocado (*Persea americana*) var. Hass. A solution of maltodextrin (50%), NaCl (10%), citric acid (1.5%) and ascorbic acid (1.5%), during 4 h was employed. The results show that it is possible to reduce color damage and to improve others characteristic of avocado with osmotic dehydration to 7.5 °C and 850 mBar. Under these conditions the kinetic behavior in osmotic dehydration of avocado was determined, using two empirical equations and a phenomenological model.

*Keywords: vacuum pulses; drying kinetics; water activity; response surface methodology; Persea americana*

## INTRODUCCIÓN

El consumo de aguacate a nivel mundial se ha incrementado en los últimos años, así como las áreas destinadas a su producción. México es el primer productor mundial seguido de Chile, mientras que Colombia se ubica en la cuarta posición (FAO, 2015). Uno de los principales problemas que enfrenta el aguacate una vez cortado, lo representa el fenómeno de pardeamiento oxidativo, por acción de enzimas como la Polifenoloxidasasa (Oms et al., 2010). Este proceso puede ser controlado por medio de métodos químicos y físicos, o combinación de estos (Lee, 2007; Queiroz et al., 2008), que inhiban la acción de la enzima Polifenoloxidasasa.

Una de las alternativas tecnológicas que se han evaluado para mejorar las características del aguacate cortado, ha sido la deshidratación osmótica (DO) (Cornejo, 2010). Para deshidratar un producto osmóticamente, se sumerge en una solución con una alta presión osmótica, lo que crea un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, originando un flujo de agua desde el interior del producto para reducir la diferencia en sus potenciales químicos a ambos lados de las membranas de las células del vegetal (Zapata et al., 2011; García et al., 2013; García et al., 2015). Por otro lado y en menor medida, se presenta la entrada de solutos desde la solución hacia el interior del alimento a deshidratar (Zapata y Montoya, 2012).

Los productos osmodeshidratados forman parte de los denominados productos de humedad intermedia, usualmente se llevan a etapas de conservación posteriores (Ramallo y Mascheroni, 2010) o deben ser consumidos en un periodo de tiempo relativamente corto, por un lado porque su contenido de agua sigue siendo importante y por otro porque su carga microbiana en algunos casos puede ser significativa, principalmente cuando están cortados (Castello et al., 2009). Esto hace que uno de los aspectos a mejorar en los productos osmodeshidratados, sea la reducción en la carga microbiana al final del proceso, puesto que puede afectar la vida de anaquel de los productos empacados. La cinética de la DO de aguacate usando soluciones salinas con maltodextrinas, ya ha sido estudiada con buenos resultados (Cornejo, 2010).

En las últimas décadas algunos investigadores han trabajado utilizando vacío en DO, para acelerar la transferencia de masa en productos como sardina en láminas (Reyes et al., 2008), melón (Fermin y Corso, 2005), higos (Arreola y Rosas, 2007) y mango (Huayamave y Cornejo, 2005), entre otros (Mujica et al., 2003). Sin embargo la cinética bajo condiciones de vacío pulsante no ha sido estudiada en aguacate, ni tampoco se han modelado suficientemente los procesos de entrada de sólidos y salida de agua en dicho sustrato (Cornejo, 2010). El modelamiento de este tipo de procesos es de importancia a la hora de escalar los resultados de laboratorio con miras a llevarlo a nivel industrial y de evaluar el comportamiento en el tiempo que tienen las variables del proceso (Della, 2010).

Por otro lado, las superficies de respuesta son herramientas muy efectivas para optimización, que han sido utilizadas en diferentes procesos de alimentos entre los que se incluye la DO (Zapata et al., 2011; Zapata y Montoya, 2012). Su principal ventaja es que reducen el número de experimentos necesarios para obtener resultados estadísticamente válidos y son más rápidas y con mayor información, que las evaluaciones clásicas en las que se evalúa una variable a la vez. En el presente trabajo se busca estudiar el efecto que la deshidratación osmótica a vacío pulsante (DOVP), tiene sobre las características más importantes en el color del aguacate (*Persea americana*) variedad Hass, utilizando una solución de ácidos antioxidantes y evaluando el comportamiento cinético del ingreso de estos ácidos y la salida de agua durante la DO.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Selección de la materia prima

Para seleccionar el estado de madurez del aguacate más apto para el proceso de DOVP, se utilizó aguacate variedad Hass, con diferentes grados de madurez (verde, pintón y maduro), proveniente de un proveedor comercial del municipio del Retiro-Colombia. Se evaluaron seis muestras de aguacate a las que se les determinó el contenido de humedad, pH, color, acidez y textura. La selección se hizo con base en el color y la textura. El primero por ser el aspecto que se quiere conservar en este estudio y el segundo por ser fundamental para el desempeño en el proceso de deshidratación osmótica.

### Métodos analíticos

Se realizaron análisis tanto a las muestras frescas como a las deshidratadas, para establecer el contenido de humedad, con el método 934.06 de la AOAC (AOAC, 1984) por medio de una estufa a vacío (Termo Scientific®, USA) y el resultado fue expresado como masa de agua por masa total de muestra. La concentración de sólidos solubles en la fruta se determinó con un refractómetro LR 45227 (Milton Roy

Company®, USA). La actividad acuosa con un equipo novasina (ms1, Suiza). El color con un espectrocolorímetro portátil de esfera SP-60 (X-Rite, USA) con iluminante D65 y observador de 10°, obteniéndose los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de acuerdo con el sistema CIE (CIE, 2004). La textura con un textuómetro modelo TA-XT2 (Stable Micro Systems, USA). La acidez con un titulador automático Titrand 842 (Metronh, Suiza).

### Preparación de la muestra

Las muestras de aguacate fueron cortados a la mitad, retirándoles la semilla, la pulpa fue escaldada a 70°C por cinco minutos, después de lo cual se trocearon en láminas de 0,5 cm de espesor.

### Deshidratación Osmótica a Vacío Pulsante (DOVP)

Las muestras fueron sumergidas en la solución osmódeshidratante y colocadas en un balón de vidrio con movimiento rotatorio en torno a su eje, el cual se acopla a la toma de vacío de un rota evaporador (Büchi R-124, Suiza). Durante la aplicación de vacío las condiciones de operación variaron según lo definido por el diseño experimental. Al inicio de cada ensayo se aplicaron pulsos de vacío de 5 minutos, según el diseño experimental, entre ellos tiempos de relajamiento de 10 minutos a presión atmosférica y al final de los pulsos, se restableció la presión atmosférica hasta completar cuatro h de tratamiento osmótico. Después del tratamiento a vacío las muestras y la solución se transvasaron a recipientes de vidrio de 450 ml y se mantuvieron a temperatura controlada mediante un baño refrigerado (Thomas Scientific, USA). La solución osmódeshidratante consistió de una mezcla con 50% (p/p) de maltodextrina, 1.5% (p/p) de ácido cítrico, 1.5% (p/p) de ácido ascórbico y 10% (p/p) de NaCl, disueltos en agua.

El tiempo para todos los tratamientos fue de cuatro horas para garantizar que el proceso superara la fase de mayor velocidad de salida del agua (Cornejo, 2010). Terminado el tiempo del tratamiento, la muestra deshidratada fue escurrida por cinco minutos y secada con papel absorbente para eliminar el exceso de jarabe.

### Aplicación de superficies de respuesta

Se desarrollaron 30 experimentos de acuerdo a un diseño factorial central compuesto (DFCC), para evaluar el efecto de las variables (Factores): Temperatura (T), presión (P), número de pulsos de vacío (PV) y relación jarabe fruta (J/F), sobre la humedad, la acidez, la textura, los sólidos solubles (SS) y los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $dE^*$ ). A su vez se calculó el porcentaje de pérdida de humedad (PH), el porcentaje de ganancia de sólidos (GS) y el porcentaje de ganancia de acidez (GA), según las ecuaciones (1), (2) y (3).

$$PH = \frac{(w_i x_{wi} - w_t x_{wt})}{w_i} \cdot 100 \quad (1)$$

$$GS = \frac{(w_t x_{st} - w_i x_{si})}{w_i} \cdot 100 \quad (2)$$

$$GA = \frac{(w_t x_{st} - w_i x_{si})}{w_i} \cdot 100 \quad (3)$$

La metodología de superficies de respuesta asume que existe una función polinomial que relaciona las respuestas con las variables independientes en el proceso (factores), por eso los datos experimentales obtenidos del diseño factorial (tabla 1) se ajustaron a un polinomio de la forma mostrada en la ecuación 4 (Montgomery, 1991).

$$\begin{aligned} \text{Respuesta} = & \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \alpha_{11} X_1^2 + \dots + \alpha_{55} X_5^2 + \alpha_{12} X_1 X_2 + \\ & \alpha_{123} X_1 X_2 X_3 + \dots + \alpha_{1234} X_1 X_2 X_3 X_4 + \dots + \alpha_{12345} X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 \end{aligned} \quad (4)$$

En la tabla 1 se presentan los niveles de los factores y en la tabla No. 3, el diseño experimental con las corridas en forma aleatoria, obtenidas con el software Design-Expert 8.0 (Stat-Ease Inc, USA). En la tabla 1, los  $\alpha_i$ , son constantes de ajuste y  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  y  $X_4$  son Temperatura (T), Presión (P), pulsos de vacío (PV) y relación jarabe/fruta (J/F), respectivamente.

Tabla 1: Niveles de los factores en el diseño factorial central compuesto para la DOVP de aguacate (*Persea americana*) var. Hass.

Factor	Unidades	Mínimo	Máximo
Temperatura	°C	25	60
Presión	mBar	50	850
Pulsos de vacío		1	3
Relación Jarabe fruta	mL/g	3	5

Se desarrolló el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, el cual incluye la significancia estadística de cada uno de los términos del modelo ajustado (Valor - P), los coeficientes estimados en cada término ( $\alpha_i$ ), el coeficiente de determinación del modelo ( $R^2$ ) y la carencia de ajuste, con el fin de establecer la exactitud del modelo para representar los datos.

### Optimización

Con el polinomio ajustado con base en el ANOVA, se desarrolló un proceso de optimización para determinar los niveles de las variables que entregan los valores óptimos de las respuestas de mayor interés para el estudio, como son los parámetros de color. Teniendo en cuenta que "L\*" corresponde a la luminosidad, "a\*" a la intensidad de verde a rojo, "b\*" a la intensidad de amarillo a azul y dE\*, al cambio global de los tres parámetros anteriores. Es decir entre más alto L\* mayor luminosidad, entre menor el valor de a\*, mayor intensidad de verde y menor de rojo, entre mayor sea b\*, mayor intensidad de amarillo y menor de azul y entre menor dE, menor será el cambio global en el color con respecto a una muestra de referencias (Alonso et al., 2005). Se optimizó el proceso de forma tal que los parámetros L\* y b\* sean máximos, mientras que a\* y dE, sean mínimos. A partir de las coordenadas cromáticas L\*, a\* y b\*, mediante las ecuaciones (5), (6) y (7), se calculó el tono ( $h_{ab}^*$ ), el croma ( $C^*$ ) y la tolerancia de color ( $dE^*$ ), que es la máxima diferencia de color admitida en relación al producto en el tiempo cero, que se considera ideal.

$$h_{ab}^* = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (5)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (6)$$

$$dE^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (7)$$

### Modelamiento de la cinética de deshidratación osmótica

A las condiciones óptimas arrojadas por el diseño experimental se realizaron ensayos de deshidratación osmótica que permitieran establecer el comportamiento de las variables a través del tiempo. Para lo cual se ajustaron a modelos matemáticos para determinar el comportamiento cinético de la humedad, la acidez y de los sólidos solubles. Para tal propósito se usaron tres estrategias diferentes: Un modelo empírico de penetración, propuesto por Azuara et al. (1992); un modelo fenomenológico a partir de la solución de la segunda ley de Fick (Crank, 1975) y un modelo empírico propuesto por Peleg (1988) modificada por Park et al. (2002). Se utilizan dos tipos de modelos porque los modelos empíricos presentan mayor facilidad de uso, aunque no permiten extrapolar más allá del rango experimental (Ochoa y Ayala, 2005). Mientras que los modelos fenomenológicos son más robustos, pero su utilización involucra normalmente el uso de procedimientos matemáticos más sofisticados (Della, 2010).

### Modelo Empírico de Penetración

Las cinéticas de transferencia de masa durante DOPV de uchuva fue modelado de acuerdo al modelo de penetración usado por Azuara et al., (1992), quienes propusieron modelos basados en el balance de masa para predecir la cinética de la deshidratación durante el proceso osmótico y además, determinar el punto de equilibrio final. Los modelos se muestran en las ecuaciones (8) y (9).

$$PH_t = \frac{\beta_1 + (PH_\infty)}{1 + \beta_1 t} \cdot 100 \quad (8)$$

$$\frac{t}{PH_t} = \frac{1}{PH_\infty} (t) + \frac{1}{\beta_1 PH_\infty} \quad (9)$$

Donde  $PH_t$  es la pérdida de agua en un tiempo  $t$ ,  $PH_\infty$  es la cantidad correspondiente en el tiempo infinito (es decir, en el equilibrio) y  $\beta_1$  es la constante relacionada con la tasa de difusión de agua del aguacate ( $\text{min}^{-1}$ ).

En la ecuación (9), la pérdida de agua en el equilibrio ( $PH_\infty$ ) y la constante del modelo  $\beta_1$  se estimaron a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica ( $t / PH_t$ ) versus  $t$ . Del mismo modo para la ganancia de sólidos y ganancia de acidez, este modelo se puede escribir como:

$$GS_t = \frac{\beta_2 + (GS_\infty)}{1 + \beta_2 t} \quad (10)$$

$$\frac{t}{GS_t} = \frac{1}{GS_\infty} (t) + \frac{1}{\beta_2 GS_\infty} \quad (11)$$

$$GA_t = \frac{\beta_3 + (GA_\infty)}{1 + \beta_3 t} \quad (12)$$

$$\frac{t}{GA_t} = \frac{1}{GA_\infty} (t) + \frac{1}{\beta_3 GA_\infty} \quad (13)$$

Donde  $GS_t/GA_t$  es la ganancia de sólidos/acidez en un tiempo  $t$ ,  $GS_\infty/GA_\infty$  es la cantidad correspondiente de ganancia de sólidos/acidez en el tiempo infinito (es decir, en el equilibrio) y  $\beta_2$  y  $\beta_3$  son las constantes relacionadas con la tasa de difusión de sólidos/acidez del aguacate ( $\text{min}^{-1}$ ).

La ganancia de sólidos en el equilibrio ( $GS_\infty$ ) y la constante del modelo  $\beta_2$  se estimaron a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica ( $t/GS_t$ ) versus  $t$  (ecuación) (8). Así mismo, la ganancia de acidez en el equilibrio ( $GA_\infty$ ) y la constante del modelo  $\beta_3$  se estimaron a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica ( $t/GA_t$ ) versus  $t$  (ecuación 10).

### Modelo Fenomenológico

Para determinar la difusividad efectiva ( $D_{ef}$  en  $\text{m}^2/\text{s}$ ) del agua y el soluto fue aplicado un modelo fenomenológico basado en la segunda ley de Fick para la difusión en estado no estacionario, considerando el aguacate como una placa plana de longitud infinita. Para la resolución de la ecuación de Fick se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones: contenido inicial de agua o sólidos ( $MC_0$ ), la difusividad y la concentración en la interface constantes, el modelo resultante es (Crank, 1975).

$$W_{A \text{ or } S} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp -D_{ef}(2n+1)^2 \frac{\pi^2}{4l^2} t \quad (14)$$

$W_{A \text{ or } S}$  puede calcularse de acuerdo a la siguiente expresión adimensional (ecuación 15):

$$W_{A \text{ or } S} = \frac{MC_{(t)} - MC_{eq}}{MC_0 - MC_{eq}} \quad (15)$$

Dónde:  $MC_{(t)}$  es el contenido de agua, sólidos o acidez en el instante de tiempo  $t$ ,  $s$ ;  $MC_{eq}$  es la cantidad de agua, sólidos o acidez en el equilibrio,  $g$ , obtenido del modelo de (Azura, et, al 1992) por medio de las ecuaciones (8, 10 y 12).

### Modelo empírico de Peleg

Peleg (1988) propuso una ecuación para describir las curvas de adsorción que se aproximan asintóticamente al equilibrio. Park, et al, (2002), volvieron a escribir la misma ecuación como:

$$MC_t = MC_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (16)$$

Donde:  $MC_t$  es el contenido de humedad/sólidos/acidez en el tiempo  $t$ ,  $h$ .  $MC_0$  es el contenido inicial de humedad, sólidos o acidez y  $k_1$  y  $k_2$ , son las constantes de la ecuación.

## Bondad de ajuste

La calidad del ajuste de los modelos se evaluó con un coeficiente de correlación lineal ( $R^2$ ) y el porcentaje de la media del error relativo (PMER) (Ecuación 17). El  $R^2$  debe ser superior a 0,85 a fin de obtener un buen ajuste de los datos experimentales (Zapata et al., 2014).

$$PMER = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{ei} - X_{ci}|}{X_{ei}} \quad (17)$$

Donde:  $X_{ei}$  Es el valor experimental;  $X_{ci}$  Es el valor estimado para cada modelo;  $n$  Es el número de observaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de la materia prima. En la figura 1, se presentan las imágenes del aguacate verde, maduro y pintón, y en la tabla 2 los resultados de los análisis realizados al aguacate en cada uno de los grados de madurez.

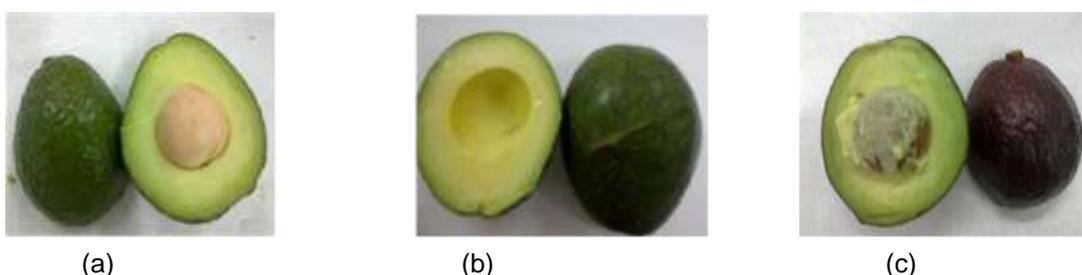


Fig. 1: Apariencia de la pulpa y la corteza del Aguacate (*Persea americana* var. Hass) en diferentes estados de madurez. a) Verde b) Pintón c) Maduro.

Tabla 2: Propiedades del aguacate (*Persea americana*) var. Hass, en diferentes estados de madurez.

Propiedades	Aguacate verde	Aguacate pintón	Aguacate maduro
% Humedad	44,73 ± 3,40	55,63 ± 0,27	70,58 ± 14,24
Textura (N)	0,66 ± 0,04	0,32 ± 0,05	0,02 ± 0,01
pH	6,48 ± 0,16	6,8 ± 0,07	7,0 ± 0,05
Acidez (% ácido cítrico)	0,27 ± 0,01	0,29 ± 0,00	0,30 ± 0,01
L*	79,95 ± 0,48	72,79 ± 1,155	79,64 ± 1,23
a*	-6,24 ± 0,73	-7,18 ± 1,15	-4,17 ± 2,10
b*	37,46 ± 1,85	36,93 ± 1,66	32,85 ± 1,11
h <sub>ab</sub> *	-80,49 ± 1,50	-78,17 ± 1,07	-82,69 ± 3,79
C*	37,99 ± 1,72	37,73 ± 1,57	33,16 ± 0,87

Obsérvese como la textura del aguacate cambia al cambiar su grado de madurez (figura 1), llegando a valores muy bajos cuando se encuentra en estado maduro con respecto al estado verde, posiblemente asociado al incremento en la humedad a medida que avanza el grado de madurez (tabla 2). Por otro lado el parámetro  $a^*$  disminuye en el aguacate pintón, lo cual favorece el color verde. A partir de estos resultados se definió trabajar con el aguacate pintón, dado que posee el valor más apropiado del parámetro  $a^*$ , con una textura que no es muy alta como en el aguacate verde, pero no tan baja como para presentar problemas durante el proceso de DOVP.

## Aplicación de superficies de respuesta

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de las variables respuesta, en las corridas experimentales listadas en forma aleatoria. En la tabla 4, se presentan los resultados del ANOVA del DFCC, en la cual aparecen la significancia estadística de cada uno de los términos del modelo ajustado (Valor - P), el coeficiente de determinación del modelo ( $R^2$ ) y la carencia de ajuste, con el fin de establecer la exactitud del modelo para representar los datos. En la tabla 4, solo aparecen los valores P de los factores estadísticamente significativos o de sus interacciones y con ellos se ajustaron los modelos para las respuestas, los cuales se presentan en las ecuaciones 18-25. En la figura 2 se muestra el comportamiento gráfico de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $dE$ , es decir, de los parámetros de color, que es el aspecto que se quiere mejorar en este estudio.

Tabla 3: Corridos experimentales del Diseño Factorial Central Compuesto en la DOVP de aguacate (*Persea americana*) var. Hass.

<i>T</i>	<i>P</i>	<i>PV</i>	<i>J/F</i>	<i>Humedad</i>	<i>Acidez</i>	<i>Textura</i>	<i>SS</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>dE</i>
60.0	850	1	5	35,1	1,4	3,6	53,3	67,4	0,6	48,3	82,909
25.0	100	3	5	32,7	1,1	3,6	54,4	54,9	-1,0	43,3	69,988
42.5	475	4	4	33,1	1,4	3,1	55,3	63,8	0,3	48,0	79,814
25.0	850	1	3	33,7	1,2	1,9	50,1	65,3	-2,0	51,3	83,102
60.0	100	1	3	34,7	1,5	5,6	53,8	56,2	0,9	42,4	70,441
42.5	475	2	2	34,6	1,0	1,7	51,5	65,8	-0,1	45,9	80,241
42.5	50	2	4	34,3	1,4	4,1	60,5	53,2	-1,0	38,5	65,716
42.5	475	2	4	34,1	1,3	3,5	52,0	68,0	-1,1	45,3	81,670
60.0	850	3	5	35,6	1,3	3,7	55,8	65,3	1,1	52,1	83,554
25.0	850	3	3	33,2	1,1	1,9	53,6	70,6	-1,8	53,7	88,744
42.5	475	2	4	36,0	1,2	4,5	53,3	69,3	-1,2	48,5	84,564
7.5	475	2	4	38,2	1,3	2,2	49,4	63,0	-3,8	45,6	77,874
42.5	850	2	4	35,6	1,1	1,7	50,8	57,0	-0,3	40,8	70,104
25.0	850	1	5	46,0	1,2	2,2	45,3	71,3	-2,3	52,5	88,566
60.0	850	1	3	36,4	1,3	2,5	53,0	67,5	0,1	48,6	83,148
60.0	100	1	5	34,7	1,6	3,2	54,8	68,9	0,1	51,5	86,028
42.5	475	2	4	33,4	1,2	1,6	52,5	55,6	-1,3	40,4	68,758
25.0	100	1	5	41,6	1,3	1,8	49,8	58,9	-1,4	46,7	75,151
60.0	100	3	3	32,3	1,2	4,8	55,8	57,1	1,1	41,2	70,403
77.5	475	2	4	31,5	1,3	3,0	52,1	55,2	1,1	42,2	69,473
42.5	475	2	4	35,4	1,3	1,7	51,9	58,3	0,8	45,1	73,702
25.0	100	3	3	40,6	1,1	1,6	43,5	55,6	-2,5	43,0	70,340
42.5	475	2	4	40,8	1,2	2,0	50,9	65,0	-3,0	42,5	77,748
42.5	475	2	6	31,8	1,4	2,3	51,3	61,4	-1,1	43,4	75,185
42.5	475	0	4	30,3	1,4	2,9	53,8	69,1	-0,3	49,4	84,892
25.0	850	3	5	42,3	1,3	1,3	43,5	68,0	-3,4	47,8	83,194
60.0	850	3	3	35,2	1,5	4,2	53,3	68,0	1,0	53,0	86,187
25.0	100	1	3	38,6	1,2	1,5	42,4	58,5	-1,1	47,0	75,044
60.0	100	3	5	30,7	1,2	7,9	51,5	47,4	3,6	33,7	58,274
42.5	475	2	4	34,4	1,2	3,8	52,3	67,8	-0,1	46,9	82,470

Tanto en la tabla 4, como en la ecuación 22 y la figura 2a, se observa que el incremento de la presión favorece la luminosidad del producto en el proceso de DO, siendo el único factor con efecto estadísticamente significativo sobre esta respuesta. En cuanto al parámetro  $a^*$ , el único factor con efecto estadísticamente significativo es la temperatura, la cual incrementa dicho parámetro como puede apreciarse en la figura 2b y la ecuación 23. Por ello se puede deducir que las condiciones de temperatura más favorables para mantener el color verde, son temperaturas bajas. El parámetro  $b^*$  presenta un modelo más complejo que los otros dos parámetros, con efecto negativo del número de pulsos de vacío ( $PV$ ) y de la presión, según puede apreciarse en la ecuación 24 y la figura 2c. Teniendo un efecto positivo de la interacción entre estas dos variables. En cuanto al parámetro  $dE$ , presenta un efecto negativo de la  $P$  en su término lineal y positivo en su término cuadrático (ecuación 25), lo que indica que este parámetro puede presentar un punto extremo en función de la presión, como se aprecia en la figura 2d.

Tabla 4: ANOVA para las variables respuesta del Diseño Factorial Central Compuesto en la DOVP de aguacate (*Persea americana* var. Hass).

Factor	Valor – P							
	Humedad	Acidez	Textura	SS	L	a	b	dE
A:T	0,0043	0,0137	0,0008	0,0024		0,0001		
B:P	0,3311	0,6641	0,0314	0,5264	0,0002		0,0002	0,1024
C:PV		0,0872					0,1189	
D:J/F	0,7100			0,7482				
BB								0,0016
CC							0,0260	
BC		0,0251					0,0233	
BD	0,0381			0,0485				
Falta ajuste	0,3754	0,0281	0,6486	0,0016	0,7433	0,9049	0,3905	0,7484

$$\text{Humedad} = 46,6366 - 0,1127 * T - 0,0162 * P - 1,7910 * J/F + 0,0045 * P * J/F \quad (18)$$

$$\text{Acidez} = 1.3857 + 3.5714E-003 * T - 3.9830E-004 * P - 0.1246 * PV + 1.8333E-004 * P * PV \quad (19)$$

$$\text{Textura} = 1.60124 + 0.050714 * T - 1.64069E-003 * P \quad (20)$$

$$\text{SS} = 37,8393 + 0,1288 * T + 0,0169 * P + 2,2510 * J/F - 0,0045 * P * J/F \quad (21)$$

$$L^* = 56,16913 + 0,013262 * P \quad (22)$$

$$a^* = -4,02357 + 0,080476 * T \quad (23)$$

$$b^* = 53.47193 - 1.77709E-003 * P - 9.42520 * PV + 5.38333E-003 * P * PV + 1.47432 * PV^2 \quad (24)$$

$$dE = 20.4085 - 0.0225 * P + 0,000022 * P^2 \quad (25)$$

### Determinación de Óptimos Locales en el proceso de DO

Por ser la característica de mayor interés en el presente estudio, se realizó un proceso de optimización para maximizar  $L^*$  y  $b^*$ , y minimizar  $a^*$  y  $dE$ , buscando obtener un producto con máxima luminosidad, intensidad de color verde y amarillo, y mínima variación global con respecto al producto fresco. Para este proceso se usaron los modelos de estos parámetros que se presentan en las ecuaciones 22, 23, 24 y 25, por medio del software Design-Expert 8.0 (Stat-Ease Inc, USA). El resultado de este proceso entregó la combinación de valores de los factores para el resultado más deseable en términos del color, expresado como "Deseabilidad". Dichos resultados se presentan en la tabla 5 así como los valores esperados para las respuestas asociadas al color, predichas a esas condiciones de trabajo.

Tabla 5: Condiciones óptimas para color en la DO de aguacate (*Persea americana*, var. Hass), definidas por el DFCC.

Factor	Óptimo	Respuesta	Óptimo
T °C	7,5	$a^*$	-3,42
P mBar	850	$b^*$	50,68
PV	3,0	$L^*$	67,44
J/F mL/g	2,88	$dE$	17.27
Deseabilidad = 0,877			

A las condiciones definidas en el proceso de optimización, se realizó un ensayo para evaluar experimentalmente los parámetros de color, después de 4 h de proceso, bajo las condiciones definidas en la tabla 5. En tal sentido en la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros de color, en los que se observa que a pesar de que los parámetros individuales ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), presentan cambios, el parámetro global  $dE$ , presenta un cambio entre los límites de tolerancia ( $< 10$ ) (Gonnet, 2001). Por otro lado el tono  $h_{ab}^*$  no presenta cambios, mientras que el croma  $C^*$ , presenta un cambio de alrededor del 12 %. Es de anotar que los valores obtenidos experimentalmente superan positivamente a los predichos por el proceso de optimización (tabla 5), lo que demuestra la potencia del método de optimización utilizado.

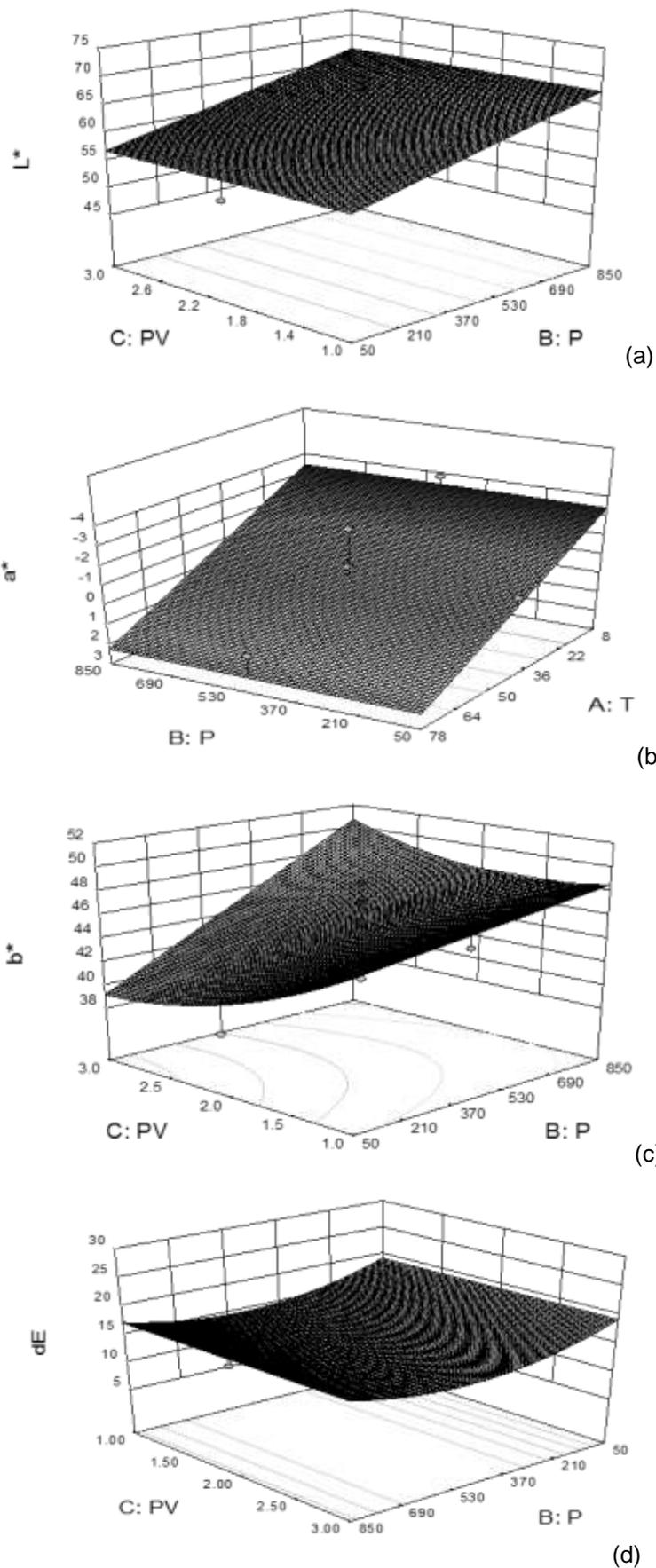


Fig. 2: Superficie de respuesta para los parámetros de color en la DO de aguacate (*Persea americana*), var. Hass, en función de T y P, con PV = 2 y J/F = 4. (a)  $L^*$  predicho por la ecuación 22. (b)  $a^*$ , predicho por la ecuación 23, (c)  $b^*$ , predicho por la ecuación 24 y (d)  $dE$ , predicho por la ecuación 25.

Tabla 6: Valores experimentales para los parámetros de color obtenidos a las condiciones óptimas.

Parámetro	Valor inicial	Valor final
a*	-5,872±0,759	-6,133±0,600
b*	42,288±0,399	47,428±3,530
L*	75,193±,338	68,330±6,773
dE*	0,0±0,0	8,578±3,834
C*	42,694±0,455	47,823±3,417
hab*	-82,095±0,970	-82,631±1,248

Adicionalmente se evaluaron la textura y la actividad acuosa durante las 4 h del ensayo, cuyos resultados se presentan en la figura 3, en la cual se observa que la textura del aguacate (*Persea americana*) var. Hass, se incrementa en función del tiempo (figura 3a), mientras que la actividad acuosa desciende hasta establecerse alrededor de 0,845 (figura 3b), fenómenos posiblemente asociados al incremento en sólidos y la disminución de la humedad, que se tiene a medida que transcurre el proceso de deshidratación.

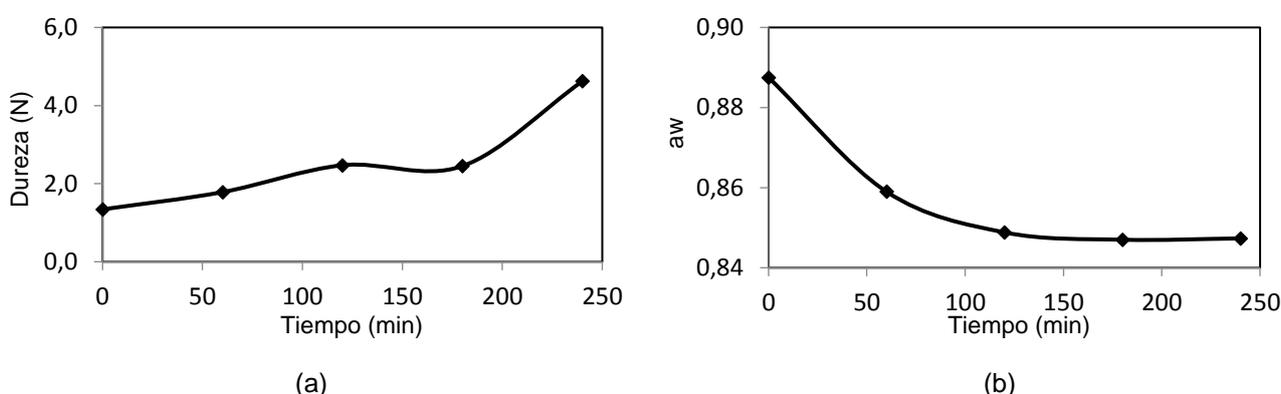


Fig. 3: Propiedades del aguacate (*Persea americana*) var. Hass durante la Deshidratación Osmótica a 7,5 °C, J/F 3 y presión 850 mBar (a) Textura experimental en función del tiempo, (b) actividad acuosa experimental en función del tiempo.

### Modelamiento de la Cinética de deshidratación osmótica

Teniendo en cuenta que el proceso de DO genera ingreso de sólidos, entre los que se encuentran los antioxidantes que previenen el deterioro del color, además de provocar la salida de agua, que a su vez está asociada al incremento en la concentración de sólidos solubles, se llevó a cabo el modelamiento del proceso de salida de agua e ingreso sólidos y la acidez, bajo las condiciones establecidas en la tabla 5.

### Modelo Empírico de Penetración

En la tabla 7 se presentan los valores de los parámetros del modelo de Azuara obtenidos del ajuste de los datos experimentales con las ecuaciones 9 y 11. En la figura 4 se muestra el comportamiento gráfico de los datos experimentales y los predichos por el modelo de penetración de Azuara. Tanto los valores de  $R^2$  y del PMER, como el comportamiento gráfico, señalan un ajuste adecuado de los datos experimentales con el modelo de Azuara.

Tabla 7: Valores de los parámetros del modelo de Azuara en la DO de aguacate (*Persea americana*) var. Hass.

Pérdida de humedad.		Ganancia de sólidos.		Ganancia de acidez.	
PH $_{\infty}$	31,95	GS $_{\infty}$	357,14	GA $_{\infty}$	333,33
$\beta$	0,02	$\beta$	0,085	B	0,07
M $_{ceq}$	37,86	M $_{ceq}$	46,476	M $_{ceq}$	1,24
R $^2$	0,831	R $^2$	0,988	R $^2$	0,976
PMER	9,64	PMER	3,29	PMER	3,99

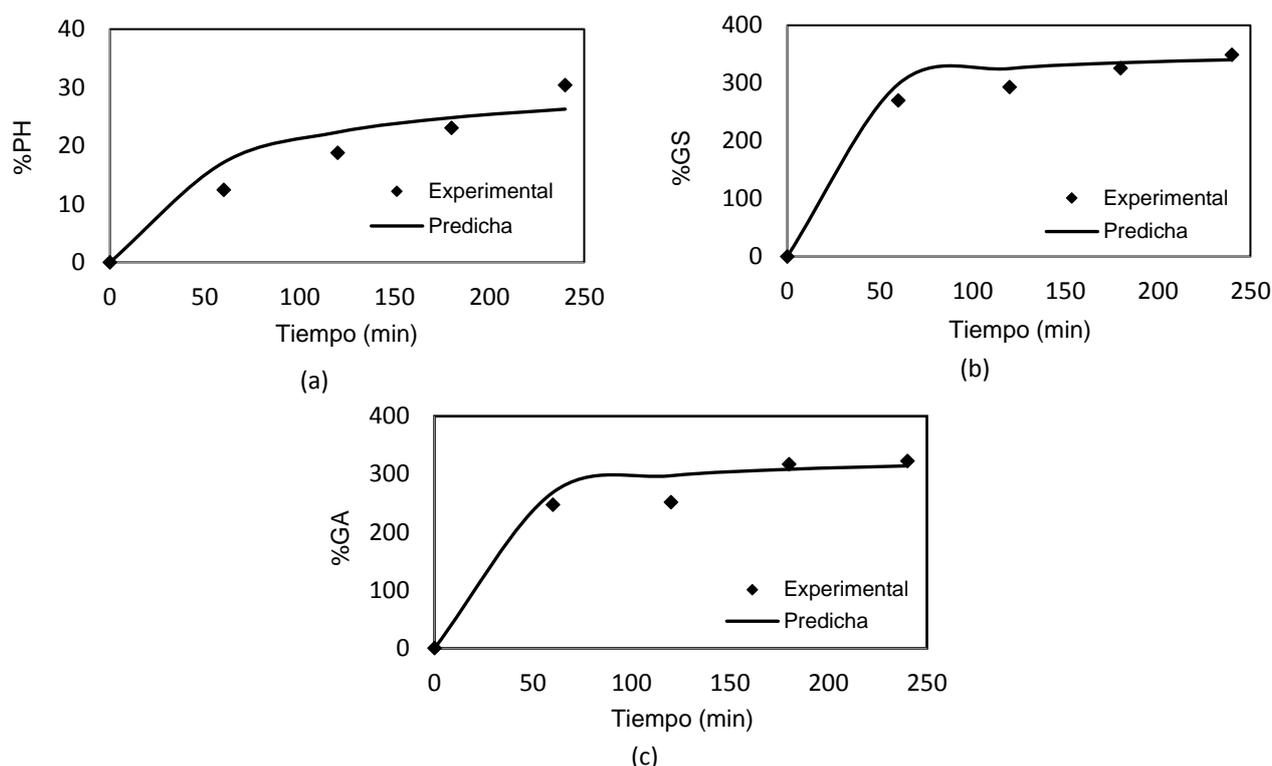


Fig. 4: Parámetros cinéticos del aguacate (*Persea americana*) var. Hass, predichos por el modelo de Azuara, durante la Deshidratación Osmótica a 7,5 °C, J/F 3 y presión 850 mBar (a) Porcentaje de pérdida de humedad experimental y predicha, (b) Porcentaje de ganancia de sólidos experimental y predicha y (c) Porcentaje de ganancia de acidez experimental y predicha.

Al tratarse de un proceso de deshidratación, la salida de agua de la fruta se convierte en uno de los más importantes aspectos (Zapata et al., 2011), es por eso que el parámetro PH tiene relevancia en este proceso. La ganancia de sólidos (GS), por su parte, es un parámetro importante, porque en algunos casos su incremento es un fenómeno indeseable, puesto que puede estar asociado a modificaciones de las propiedades sensoriales (Azoubel y Oliveira da Silva, 2008), además de que puede afectar negativamente la salida de agua al formar una barrera en la superficie del producto (Giraldo et al., 2003). Por otro lado, si se busca reducir las pérdidas de peso en el producto para no afectar significativamente su costo, puede ser deseable una elevada GS (Giraldo et al., 2003).

En cuanto a la ganancia de acidez (GA), su incremento está asociado al ingreso de ácidos que se espera que inhiban la acción de la enzima Polifenoloxidasas (Guerrero, 2009), por lo cual su incremento en este caso es deseable, porque se espera que reduzcan los cambios de color que afectan al producto, además de los efectos benéficos que ofrece sobre la conservación ante el deterioro microbiológico (Zapata et al., 2011; Zapata y Montoya, 2012). Los altos valores de PH, GS y GA, que se observan en la figura 4, son entonces convenientes para la conservación de la fruta, porque todos están asociados con la reducción del agua disponible para el desarrollo de microorganismos y reacciones enzimáticas que puedan deteriorar el producto (Ngoran et al., 2009), además de los efectos económicos por la reducción de costos de transporte y almacenamiento.

### Modelo empírico de Peleg

En la tabla 8 se presentan los valores de las constantes del modelo de Peleg (1988), modificado por Park et al. (2002) y del  $R^2$  obtenido en cada ajuste para la cinética de salida de agua y ganancia de sólidos en la DO del aguacate a las condiciones óptimas. En la figura 5 se entregan los datos de la humedad, el contenido de sólidos solubles y la acidez, respectivamente, tanto de los datos experimentales como de los predichos por el modelo de Peleg.

Tabla 8: Parámetros del modelo de Peleg y Park, para la cinética de sólidos solubles, humedad y acidez, durante la DO de aguacate a 7,5°C, presión 850 mBar y J/F de 3.

Variable	$k_1$	$k_2$	$R^2$	PMER
Humedad	8,99E+00	2,73E-02	0.988	1,02
Sólidos solubles	7,11E-01	2,64E-02	0.991	1,27
Acidez	3,08E+01	9,75E-01	0.974	2,16

Los valores de  $R^2$  y el comportamiento gráfico de los datos predichos con respecto a los experimentales (figura 5), permiten apreciar la validez del modelo de Peleg, modificado por Park et al. (2002), para predecir la cinética de ganancia de sólidos, ganancia de acidez y de salida de agua, en la DO del aguacate a las condiciones de trabajo definidas en la tabla 5.

### Modelo fenomenológico

El ajuste de los datos experimentales de la cantidad adimensional de pérdida de humedad ( $W_A$ ), la cantidad adimensional de ganancia de sólidos ( $W_S$ ) y la cantidad adimensional de ganancia de acidez ( $W_{AC}$ ) (figura 6) con las ecuaciones 14 y 15, entregó los valores de las difusividades efectivas para la pérdida de agua, ganancia de solutos y ganancia de acidez,  $D_{ef, a} = 1,19 \times 10^{-9}$ ,  $D_{ef, s} = 2,54 \times 10^{-9}$  y  $D_{ef, ac} = 2,45 \times 10^{-9}$  respectivamente. Estos valores están en el mismo orden de magnitud que los valores típicos que se reportan en la literatura para diferentes frutas y vegetales (Della, 2010). Utilizando estos valores de difusividad efectiva en las ecuaciones 14 y 15 respectivamente, se obtuvieron los valores predichos por el modelo fenomenológico derivado la solución de la ecuación de Fick's (Crank, 1975) (figura 6).

El análisis del comportamiento cinético de la salida de agua, la entrada de sólidos y de acidez, ya sea en sus valores originales (figura 5) o en valores adimensionales (figura 6) indican que los cambios más importantes se presentan en la primera h de proceso, durante la cual la entrada de sólidos y de acidez manifiestan un cambio drástico que despues se ralentiza, lo cual es un comportamiento típico en la DO (Alakali et al., 2006; Ngoran et al., 2009; Zapata y Montoya, 2012). Esto se puede explicar si se tiene en cuenta que en los primeros momentos de la DO existen diferencias en el potencial químico de las especies que participan en el sistema (solutos y agua), entre el interior y exterior de la fruta. El interior de la fruta posee un mayor potencial químico del agua y menor potencial químico de solutos, que la solución en el exterior. Estas diferencias impulsan el movimiento de solutos hacia adentro y de agua hacia afuera de la fruta (Ozdemir et al., 2008). A medida que transcurre el tiempo del proceso, la entrada y salida de sustancias hace que las diferencias en potenciales químicos se reduzcan, haciendo que el sistema se aproxime cada vez más al equilibrio, con lo que la entrada y salida de materia disminuye paulatinamente hasta acercarse a cero, puesto que se reduce la fuerza motriz que impulsa la transferencia de masa (Ozdemir et al., 2008; Zapata y Montoya, 2012).

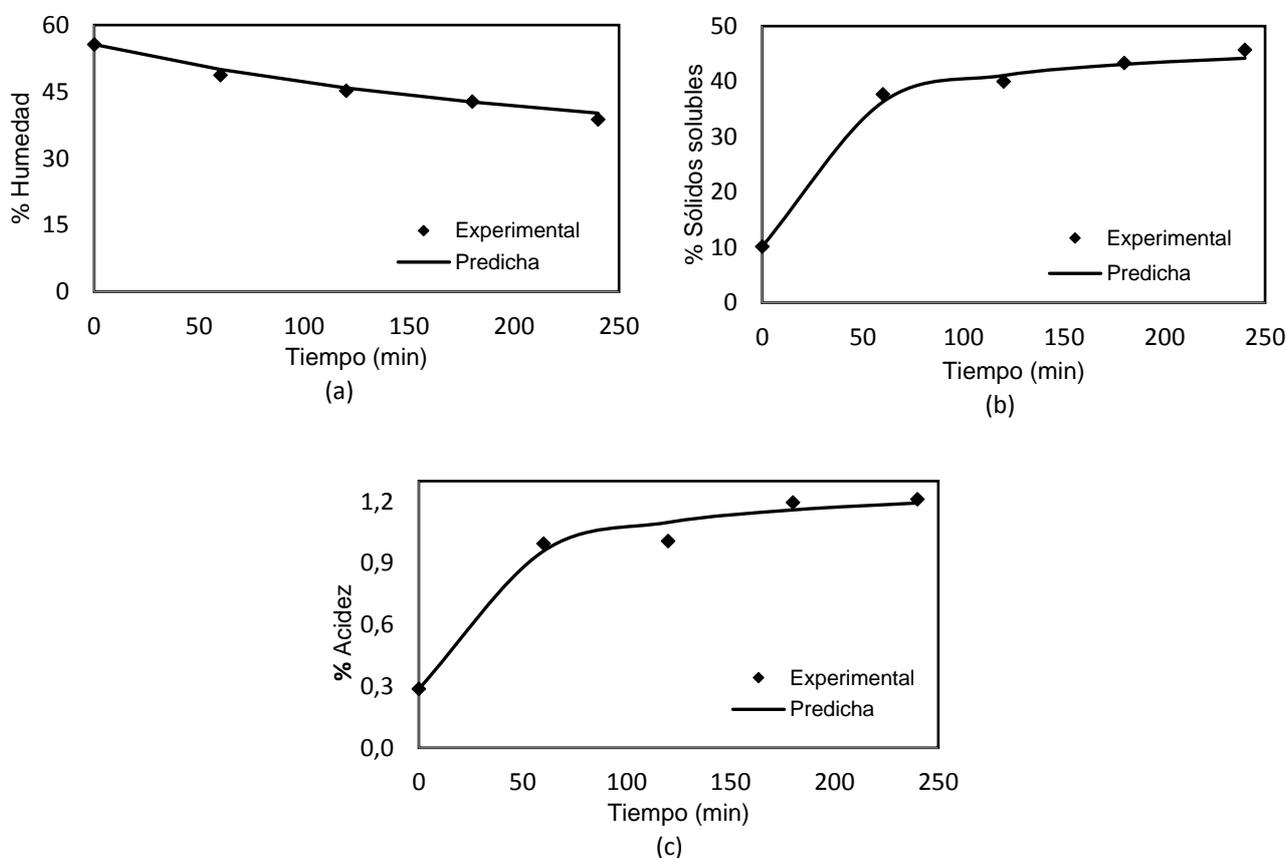


Fig. 5: Evolución del % de humedad, % sólidos solubles y % acidez en función del tiempo predichos por la ecuación de Peleg, en deshidratación osmótica de aguacate (*Persea americana*) var. Hass, a 7,5 °C, J/F 3 y presión de 850 mBar.

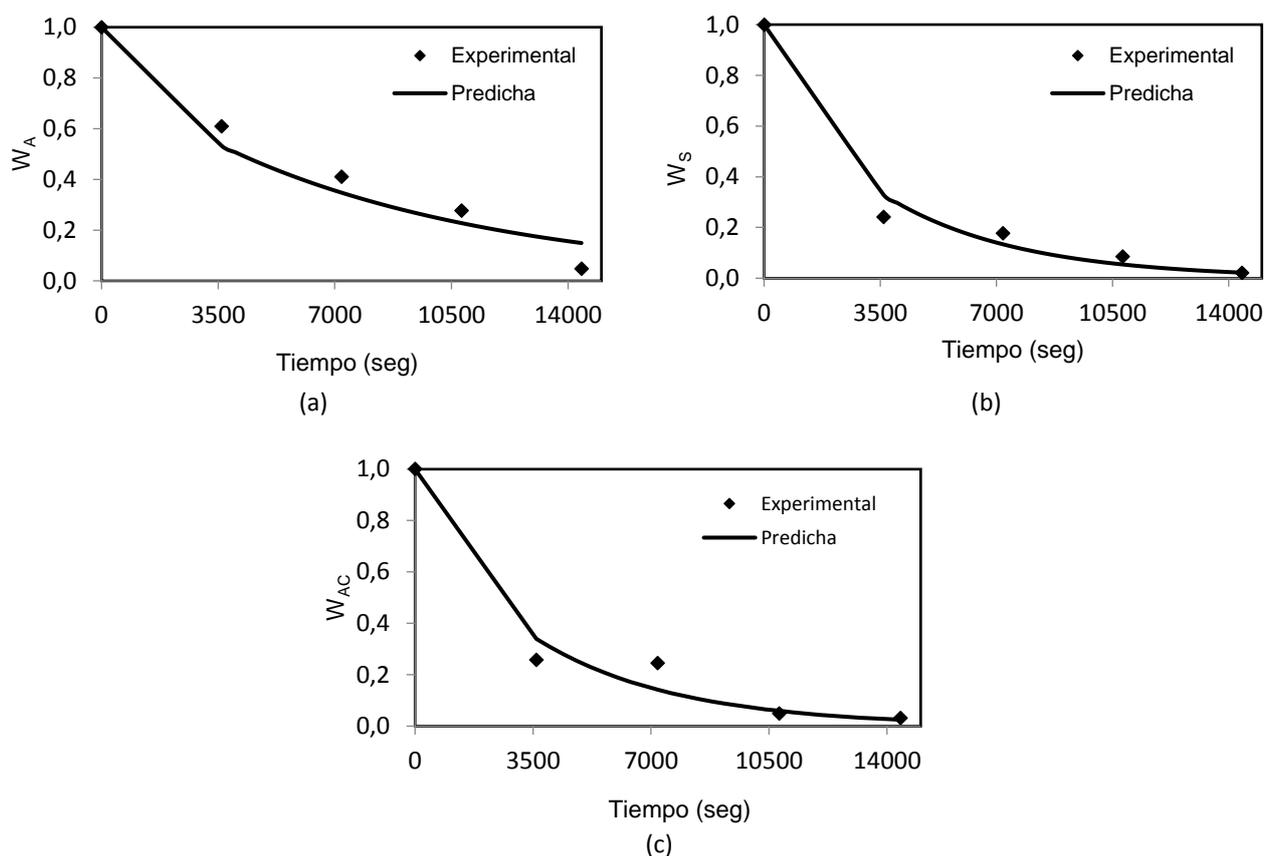


Fig. 6: Comportamiento cinético en la DO de aguacate (*Persea americana* var. Hass), experimental y predicho utilizando el modelo de la solución de la segunda ley de Fick, a 7,5 °C, J/F 3 y presión de 850 mBar. (a) Pérdida adimensional de agua ( $W_A$ ) (b) Ganancia adimensional de sólidos ( $W_s$ ) (c) Ganancia adimensional de acidez ( $W_{Ac}$ ).

Al comparar los ajustes obtenidos con el modelo de penetración de Azuara (tabla 7 y figura 4), el modelo empírico de Peleg (tabla 8 y figura 5) y el modelo fenomenológico basado en la solución de la Ley de Fick (figura 6), se observa que el modelo empírico de Peleg es el que mejor ajuste ofrece, seguido por el de Azuara, sin embargo, se debe tener en cuenta que los modelos empíricos se aplican a condiciones específicas y tienen limitaciones a la hora de hacer extrapolaciones. En tal sentido el ajuste obtenido con el modelo fenomenológico cobra relevancia.

## CONCLUSIONES

Es posible reducir el pardeamiento del aguacate (*Persea americana* var. Hass) por medio de la DO, con una solución de maltodextrina (50 %), NaCl (10 %), ácido cítrico (1,5 %) y ácido ascórbico (1,5 %), a 7,5 °C y presión de 850 mBar, durante 4 h de proceso.

Las características (Textura, acidez, actividad acuosa, humedad, acidez y sólidos solubles) del aguacate (*Persea americana* var. Hass), se ven favorecidas con la DO bajo las condiciones de este estudio.

El proceso de DO bajo las condiciones de este estudio, puede ser modelado adecuadamente por medio de modelos empíricos, semi-empíricos y fenomenológicos.

## AGRADECMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico para la realización de este trabajo por parte de COLCIENCIAS, a través del proyecto 560054832642. Así mismo, agradecen al CODI de la Universidad de Antioquia, con su estrategia para la Sostenibilidad 2014/2015.

## REFERENCIAS

Alakali, J.S., Ariaahu, C.S. y Nkpa, N.N., Kinetics of Osmotic Dehydration of Mango, doi: 10.1111/j.1745-4549.2006.00080.x, Journal of Food Processing and Preservation (en línea), 30(5), 597 – 607 (2006)

Alonso, R.M., Guyot, S., Herrero, C., Berrueta, L.A., Drilleau, J.F., Gallo, B. y Vicente F., Chemometric classification of Basque and French ciders based on their total polyphenol contents and CIELab parameter, doi:10.1016/j.foodchem.2004.05.049, *Food Chemistry* (en línea), 91(1), 91–98 (2005)

AOAC, 934.06, *Official Methods of Analysis*, 14th Ed, Gaithersburg, Estados Unidos, (1984)

Arreola, S. y Rosas, M., Aplicación de Vacío en la Deshidratación Osmótica de Higos (*ficus carica*), *Información Tecnológica*, ISSN: 0718-0764 (en línea), 18(2), 43-48 (2007). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000200006>. Acceso: 10 de Diciembre de 2014

Azoubel, P.M. y Oliveira da Silva, F., Optimisation of osmotic dehydration of 'Tommy Atkins' mango fruit, doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01605.x, *International Journal of Food Science and Technology* (en línea), 43(7), 1276-1280 (2008).

Azuara, E., Beristain, C.I. y García, H.S., Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration, *International Journal of Food Science and Technology*, 29(4), 239-242 (1992)

Castelló, M.L., Igual, M., Fito, P.J. y Chiralt, A., Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith), <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408003737>, ISSN: 0260-8774, *Journal of Food Engineering* 91(1), 1-9 (2009)

CIE (15.2), *Colorimetry*. Publications CIE. Commission Internationale de l'Eclairage Central Bureau, Technical Report, Viena, Austria (2004)

Cornejo M.V., Deshidratación de rabanadas de aguacate variedad Hass por el método OSMO-VAC (osmótico-vacío) y evaluación de la calidad del producto, Tesis de Magister, Instituto Plitecnico Nacional, Mexico D.F. (2010)

Crank J, *The mathematics of diffusion*, 2ª edición, 44-68. Clarendon Press. UK, (1975)

Della R.P., Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina (2010)

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Estadísticas. En: FAO Statistics División, FAOSTAT, <http://faostat3.fao.org/home/E>, 1 p (2015). Consulta: Noviembre de 2015..

Fermin, W.J. y Corzo, O., Optimization of vacuum osmotic dehydration of cantaloupe using response surface methodology, doi: 10.1111/j.1745-4549.2005.00010.x, *Journal of food Processing and preservation* (en línea), 29(1), 20-32 (2005)

García, P.M., Alvis B.A., García M.C., Evaluación de los Pretratamientos de Deshidratación Osmótica y Microondas en la Obtención de Hojuelas de Mango (Tommy Atkins), <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000500009> *Información tecnológica*, 26(5), 63-70 (2015)

Giraldo, G., Talens, P., Fito, P. y Chiralt, A., Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango, doi:10.1016/S0260-8774(02)00331-X, *Journal of Food Engineering* (en línea), 58(1), 33–43 (2003)

Gonnet, J.F., Colour effects of co-pigmentation of anthocyanin revisited—3.A further description using CIELAB differences and assessment of matched colours using the CMC model, doi:10.1016/S0308-8146(01)00221-7, *Food Chemistry* (en línea), 75(4), 473–485 (2001)

Guerrero E.C., Inhibición de la actividad enzimática de la polifenol oxidasa extraída del banano cavendish (valery) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico, Tesis de Magister, Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia (2009)

Huayamave, E. y Cornejo, F., Influencia de Presiones de Vacío en la Transferencia de Masa Durante la Deshidratación Osmótica del Mango, *Revista Tecnológica ESPOL*, ISSN: 0257-1749 (en línea), 18(1), 141-145, (2005). <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/viewFile/237/179>. Acceso: 20 de noviembre de 2014.

- Lee, M.K., Inhibitory effect of banana polyphenol oxidase during ripening of banana by onion extract and Maillard reaction products, doi:10.1016/j.foodchem.2006.05.012, *Food Chemistry* (en línea), 102(1) 146-149. (2007).
- Montgomery, D., *Diseño y análisis de experimentos*, 3a edición, 589. Iberoamérica, México, D.C., (1991).
- Mujica, H.,A., Valdez, A. Lopez, E. Palou y J. Welti, Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration, doi:10.1016/S0260-8774(02)00344-8, *Journal of Food Engineering*, (en línea), 57(4), 305–314 (2003).
- Ngoran-Essan, B.Z., Assidjo, E., Kouamé, P., Dembele, I. y Yao, B., Modelling of Osmotic Dehydration of Mango (*Mangifera Indica*) by Recurrent Artificial Neural Network and Experimental Design, *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(5), 754-761 (2009)
- Ochoa, C.I. y Ayala, A., Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica, doi:10.1080/11358120509487660, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, (en línea) 4(5), 330-342 (2005)
- Oms, G. y otros ocho autores, Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: a review, doi:10.1016/j.postharvbio.2010.04.001, *Postharvest Biology and Technology* (en línea), 57(3), 139–148 (2010)
- Ozdemir, M., Ozen, B., Dock, L. y Floros, J., Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology, doi:10.1016/j.lwt.2008.01.010, *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 2044-2050 (2008)
- Park, K. Bin, A., Brod, F., y Park, T., Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.), doi:10.1016/S0260-8774(01)00118-2, *Journal of Food Engineering*, (en línea), 52(3), 293-298 (2002)
- Peleg, M., An empirical model for the description of moisture sorption curves, doi: 10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x, *Journal of food Science*, (en línea), 53(4), 1216-1217 (1988)
- Queiroz, C., Mendes, M.L., Fialho, E. y Valente, V.L., Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control, doi: 10.1080/87559120802089332, *Food Reviews International* (en línea), 24(4), 361-375, (2008)
- Ramallo, L.A. y Mascheroni, R.H., Dehydrofreezing of pineapple, doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.02.026, *J.Food Eng*, (en línea), 99(3), 269-275 (2010)
- Reyes, G., O. Corzo, N. Bracho y Y. Rodríguez, Optimización de la Deshidratación Osmótica con Pulso de Vacío de Láminas de Sardina, *Revista Científica*, 18(3), 320-328 (2008)
- Zapata, J.E., Arias, J. M. y Ciro, G. L., Optimization of osmotic dehydration of pineapple (*Ananas comosus* L.) using the response surface methodology, *Agron. Colomb*, ISSN: 0120-9965 (en línea), 29(2), 249-256 (2011). <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v29n2/v29n2a11.pdf>. Acceso: 10 de Enero de 2015.
- Zapata, J.E. y Montoya, A., Deshidratación Osmótica de Láminas de Mango cv. Tommy Atkins Aplicando Metodología de Superficies de Respuesta, *Rev.Fac.Nal.Agr*, ISSN: 0304-2847 (en línea), 65(1), 6507-6518 (2012). <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/30779/30897>. Acceso: 10 de Enero de 2015.
- Zapata J.E., Quintero O.A. y Porras L.D., Sorption Isotherms for Oat Flakes (*Avena sativa* L.), doi:10.15446/agron.colomb.v32n1.40652, *Agronomía Colombiana* (en línea), 32(1), 52-58 (2014)

