

Deshidratación Osmótica de Láminas de Mango cv. Tommy Atkins Aplicando Metodología de Superficies de Respuesta

Osmotic Dehydration of Mango Pieces cv. Tommy Atkins Applying Response Surface Methodology

José Edgar Zapata Montoya¹ y Alejandro Montoya Rodas²

Resumen. Se aplicó el método de superficies de respuesta para estudiar el efecto de la temperatura y la concentración de ácido cítrico sobre la deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins. La deshidratación osmótica se evaluó en términos del porcentaje de pérdida de peso (%PP), ganancia de sólidos (%GS), pérdida de humedad (%PH), y pérdida de actividad acuosa (%PAw). Los resultados indicaron que tanto la temperatura como la concentración de ácido cítrico, tuvieron efectos significativos sobre el %PP, %PH, y %PAw, en el rango de condiciones evaluado (25 °C – 45 °C) y (1% - 3%) respectivamente. La adición de ácido cítrico en la solución osmódeshidratante redujo de forma significativa los recuentos de microorganismos, sin afectar las características sensoriales del producto. Los niveles máximos de los parámetros cinéticos se consiguen después de 4 h de proceso, con temperaturas de 45 °C y concentraciones de ácido cítrico de 3% p/p, siendo 47,62%, 53,07% y 6,04%, los valores óptimos para %PP, %PH y %PAw respectivamente, con aceptación sensorial del 100 % y reducciones en los recuentos microbianos de más de dos ciclos logarítmicos.

Palabras clave: Ácido cítrico, evaluación sensorial, secado osmótico, transferencia de materia.

Abstract. The response surface methodology was applied to study the effect of temperature and concentration of citric acid in osmotic dehydration of cv. Tommy Atkins mango pieces. Osmotic dehydration was evaluated in terms of the percentage of weight reduction (%WR), solid gain (%SG), water loss (%WL) and reduction of water activity (%RWA). The results indicated that the temperature and the concentration of citric acid had significant effects on the (%WR), (%WL) and (%RWA) in the range of conditions evaluated (25 °C– 45 °C) and (1% - 3%) respectively. The addition of citric acid in the osmodehydrating solution significantly reduced the microorganism recount without affecting the sensory characteristics of the product. The maximum values of kinetic parameter are reached after 4 h of processing, with temperature of 45 °C and concentration of 3%. The optimum values for %WR, %WL y %RWA, were 47.62%, 53.7% y 6.04%, respectively. The sensory acceptance was of 100% and reductions in the microbial recount of more than two logarithmic cycles.

Key words: Citric acid, sensory evaluation, osmotic drying, mass transfer.

El mango es una de las frutas tropicales que más ampliamente se consumen en el mundo, su comercialización como fruta fresca y como producto cortado está ganando cada vez más importancia (Torres *et al.*, 2007.). Sin embargo, la fruta fresca cortada tiene una muy breve vida útil, debido a las dificultades para mantener sus características originales (Soliva y Martín, 2003). Esto se debe a que algunas operaciones durante el cortado inducen cambios en las características fisicoquímicas y fisiológicas, por efecto de la mayor acción enzimática y algunos cambios fisiológicos (Toivonen y Brummell, 2008; Torres *et al.*, 2007).

Una alternativa para prolongar la vida útil de los productos cortados, es la deshidratación osmótica (DO), la cual reduce parcialmente el agua en la fruta, disminuyendo la actividad acuosa y la posibilidad

de deterioro fisicoquímico y microbiológico. La DO involucra procesos en los cuales tienen lugar la pérdida de agua y la ganancia de soluto, simultáneamente. En dicho proceso la transferencia de masa depende de factores como la presión (Reyes *et al.*, 2008), la temperatura y la concentración de la solución osmódeshidratante (Corzo y Bracho, 2003), la relación jarabe/fruta, el grado de agitación del medio, entre otros (Reyes *et al.*, 2008; Fernandes *et al.*, 2008).

Teniendo en cuenta que las pérdidas por manejo poscosecha representan entre 20 - 25% de la producción de frutas, aún en países desarrollados (El-Ghaouth *et al.*, 2004; Zhu, 2006; Sharma *et al.*, 2009) en tanto que en países en vía de desarrollo son mayores debido a las inadecuadas condiciones de transporte y almacenamiento (Sharma *et al.*, 2009). Los bajos costos de inversión requeridos y

¹ Profesor Asociado. Universidad de Antioquia - Facultad de Química Farmacéutica - Departamento de Alimentos. A.A. 1226, Medellín. Colombia. <jedgar_4@yahoo.es>

² Ingeniero de Alimentos. Cinépolis, Calle 36D sur No. 27-101, Medellín. Colombia. <rodasco@yahoo.com>

Recibido: Agosto 20 de 2010; aceptado: Abril 09 de 2012.

la facilidad de implementación, convierten a la DO en una excelente alternativa de procesamiento en áreas rurales, que permite prolongar la vida útil de los productos cortados. Ofrece la posibilidad de hacer un pretratamiento y darle valor agregado a las frutas y verduras, mejorando el nivel de ingresos de los cultivadores. Por sus características en cuanto a calidad organoléptica y nutricional (Ozdemir *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2005), es una opción muy ventajosa para los productores, puesto que les permite asegurar mercado aun en épocas de abundancia y absorber frutas de inferior calidad incluso con daños físicos, que no permiten ser comercializadas en fresco.

Colombia es uno de los mayores productores de mango de la región Andina (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005). En los últimos años se han realizado esfuerzos para mejorar las exportaciones de mango colombiano; sin embargo, se han encontrado limitaciones asociadas entre otros factores, a los altos costos unitarios de fletes internos debido a la distancia entre las zonas de producción y los puertos, así como excesivos controles asociados con la conservación del producto (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

Los productos osmodeshidratados forman parte de los denominados productos de humedad intermedia, usualmente se llevan a etapas de conservación posteriores (Fernandes *et al.*, 2008; 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 (Zapata *et al.*, 2004; Castelló *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 (Zapata *et al.*, 2004).

La cinética de la DO de mango usando jarabes de sacarosa, como una función de la concentración de la solución y de la presión, ya ha sido estudiada con excelentes resultados (Giraldo *et al.*, 2003; Floury *et al.*, 2008). Se conoce que combinaciones adecuadas de pH y actividad acuosa (A_w) pueden ser muy efectivas en el control de la proliferación de microorganismo de importancia en alimentos (Giraldo *et al.*, 2003). Encontrándose por ejemplo que el pretratamiento con soluciones ácidas, mejora

la inactivación de *Escherichia coli* en manzanas deshidratadas (Derrickson-Tharringtona *et al.*, 2005). El ácido cítrico ha sido aceptado ampliamente como efectivo en la reducción del pH superficial en frutas cortadas tales como manzanas, naranjas, peras, kiwis, aguacates y bananas (Soliva y Martín, 2003). Pero por otro lado, se han reportado también resultados en los cuales la combinación de bajos pH y bajas A_w , pueden promover el desarrollo de microorganismos con mayor resistencia y que por ende presenten mayores problemas como contaminantes del alimento que los contiene (Tiganitas *et al.*, 2009) o simplemente que no son efectivos para inhibir el microorganismo problema (Derrickson-Tharringtona *et al.*, 2005). También se han publicado trabajos en los que se registran pérdidas hasta del 30% en ácido cítrico (Peiró *et al.*, 2007) y en ácido ascórbico (Ramallo y Mascheroni, 2010) en piña y en otras frutas (Moraga *et al.*, 2011), durante la DO, lo cual puede afectar la calidad sensorial y microbiológica del producto osmodeshidratado y que podría ser prevenido utilizando jarabes enriquecidos con ácido cítrico. Estos resultados hacen necesario que se evalúe cuidadosamente la combinación de métodos de conservación antes de sugerir una aplicación en un proceso productivo.

Las superficies de respuesta son herramientas muy efectivas para la optimización, y han sido utilizadas en diferentes procesos de alimentos entre los que se incluye la DO (Azoubel y Murr, 2003; Corzo y Gómez, 2004; Valdez *et al.*, 2007; Ozdemir *et al.*, 2008; Chauhan *et al.*, 2009). La principal ventaja de las superficies de respuesta, es que reducen el número de experimentos necesarios para obtener resultados estadísticamente válidos (Ozdemir *et al.*, 2008), además de que son más rápidas y entregan más información que las evaluaciones clásicas en las que se estudia una variable a la vez (Ozdemir *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo fue optimizar la deshidratación osmótica (DO) de láminas de mango cv. Tommy Atkins, evaluando el efecto de la temperatura (T) y la concentración de ácido cítrico (AC), a través del método de superficies de respuesta para maximizar los parámetros cinéticos de DO (%PP = Pérdida de peso; %GS = Ganancia de sólidos, %PH: Pérdida de humedad y %PAW = Pérdida de actividad acuosa). Además se evaluó la calidad microbiológica y la aceptación sensorial de las láminas de mango, osmodeshidratadas a las

condiciones óptimas determinadas por el diseño experimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra. Los mangos se obtuvieron en un supermercado de la ciudad de Medellín - Colombia, se seleccionaron con base en un grado de madurez del 12,5% (humedad $85 \pm 1\%$ y $^{\circ}\text{Brix}$ 9 - 11) de acuerdo a la metodología descrita por Bernal, 1998, escogiendo solo las muestras que estaban en este rango de madurez, porque proporcionan la firmeza necesaria en la geometría elegida. Se pelaron y se cortaron en forma de láminas de dimensiones $1 \times 1 \times 0,5$ cm.

Tratamientos osmóticos. Se prepararon soluciones de sacarosa de 55 $^{\circ}\text{Brix}$ a las cuales se les adicionó ácido cítrico en concentraciones de 1, 2 y 3% (p/p). Las muestras de mango (100 g) se dispusieron en mallas plásticas para posteriormente sumergirlas en soluciones osmóticas en una relación peso muestra/peso solución 1:5. El tiempo para todos los tratamientos fue cuatro horas, para garantizar que el proceso supere la fase de mayor velocidad de salida de agua. Se emplearon tres temperaturas diferentes: 25, 35 y 45 $^{\circ}\text{C}$ controladas a través de un baño María con agitación (Jubalo® D-77960).

Determinaciones analíticas. Una vez culminado el tiempo del tratamiento, la muestra deshidratada fue escurrida por 15 min y secada con papel absorbente para eliminar el exceso de jarabe. Las siguientes determinaciones fueron realizadas a las muestras frescas y deshidratadas: El contenido de humedad fue determinado de acuerdo al método 934.06 de la AOAC (AOAC, 1995), por medio de una estufa de aire forzado Binder®, modelo Termolab 53 y el resultado fue expresado como masa de agua por masa total de muestra. Para la concentración de sólidos solubles en la fruta se homogenizó la muestra, se extrajo el jugo para posteriormente efectuar la medición en un refractómetro Milton Roy® LR 45227. La determinación de la actividad acuosa se realizó en un equipo Novasine® msl. El cambio de peso fue determinado tomando el peso de la muestra fresca y tratada en una balanza analítica de 0,0001 g de sensibilidad (Sartorius® CP 2245).

Para el cálculo de pérdida de %PP, %PH y %PAw, se usó la ecuación 1.

$$\%PP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde: P_i representa el peso, la humedad ó el Aw inicial y P_f el peso, la humedad o el Aw final.

La ganancia de sólidos solubles se calcula como lo indica la ecuación 2.

$$\%GS = \frac{(^{\circ}\text{Brix}_f - ^{\circ}\text{Brix}_i)}{\text{Brix}_i} \times 100 \quad (2)$$

Donde %GS es el porcentaje de ganancia de sólidos solubles, $^{\circ}\text{Brix}_f$ son los grados Brix de la muestra osmodeshidratada y $^{\circ}\text{Brix}_i$ son los grados Brix de la muestra fresca.

Análisis estadístico. Se desarrollaron 18 experimentos de acuerdo a un diseño factorial de tres niveles para T (25, 35 y 45 $^{\circ}\text{C}$) y AC (1, 2 y 3% p/p), con dos repeticiones, según se indica en la Tabla 1.

La metodología de superficies de respuesta asume que existe una función polinomial que relaciona las respuestas con las variables independientes en el proceso (factores) (Montgomery 1991; Zapata *et al.*, 2002; Valdez *et al.*, 2007). Por esto, los datos experimentales obtenidos del diseño factorial (Tabla 1) se ajustaron a un polinomio de la forma mostrada en la ecuación 3 (Zapata *et al.*, 2002; Valdez *et al.*, 2007).

$$\text{Respuesta} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{12}X_1X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 \quad (3)$$

Donde los a_i , son constantes de ajuste y X_1 , X_2 , son T y AC respectivamente.

Se desarrolló el análisis de varianza (ANAVA), 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 (a_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. Los modelos obtenidos se optimizaron para determinar los niveles de las variables que entregan los máximos valores de las respuestas.

Análisis microbiológico. Teniendo en cuenta la importancia del aspecto microbiológico en los productos osmodeshidratados (Soliva y Martín, 2003; Zapata *et al.*, 2004), resulta relevante evaluar

el impacto sobre dicho aspecto que se puede obtener con el tratamiento de DO que se propone en este trabajo. Se realizó análisis microbiológico por triplicado a muestras de mango fresco, mango osmodeshidratado con y sin ácido cítrico. Se hizo recuento en placa de

mohos - levaduras y mesófilos- aerobios (Pascual, 1992). Para la comparación de medias se aplicó el método de comparaciones múltiples de Duncan, con un nivel de confianza del 95%, utilizando el software Statgraphics Plus 5.1®.

Tabla 1. Diseño factorial multinivel en la deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins.

T (°C)	AC%	%PP	%GS	%PH	%PAw
45	1	46,684	320,0	46,756	3,734
45	2	47,294	321,3	47,636	3,950
25	1	37,130	278,7	37,652	0,730
25	2	38,114	281,9	38,815	1,717
35	2	46,546	355,5	42,921	2,769
35	3	46,580	371,0	45,244	3,248
45	3	49,234	352,0	48,598	4,668
25	3	40,020	282,2	40,582	2,520
35	1	45,207	352,0	41,516	2,067
35	3	46,512	347,8	44,461	3,777
35	2	45,039	334,8	41,629	3,273
35	1	45,341	332,8	40,69	2,554
45	2	47,033	393,4	47,317	4,508
45	3	49,088	411,5	49,329	4,758
25	1	37,622	352,4	37,841	2,331
25	2	38,947	359,7	38,514	2,618
45	1	46,827	373,6	46,888	4,365
25	3	39,009	373,3	39,496	2,941

Análisis sensorial. Además de los resultados microbiológicos, es importante verificar que el producto sigue teniendo aceptación desde el punto de vista sensorial. Por esta razón se realizó el análisis sensorial de las muestras osmodeshidratadas con adición de ácido cítrico. La evaluación fue realizada usando un panel de 50 jueces no entrenados, conformado por estudiantes y personal del Departamento de Alimentos de la Universidad de Antioquia. El método sensorial fue una prueba de aceptación: Me gusta, no me gusta, y se estableció el número mínimo de respuestas para una probabilidad del 5% de acuerdo a una prueba binomial (Gallerani *et al.*, 2000).

RESULTADOS

Efecto de las variables sobre los parámetros de DO. Con el objetivo de evaluar el efecto que las dos variables en consideración (T y AC), tienen sobre

los parámetros de DO (%PP, %GS, %PH, y %PAw), se desarrolló el diseño factorial multinivel, el cual se presenta en la Tabla 1. En ésta se tienen las corridas experimentales en forma aleatoria y los valores de las variables respuesta obtenidas en cada corrida.

Los resultados del ANAVA del diseño factorial multinivel se presentan en la Tabla 2, donde se entrega el valor P para cada uno de los factores, el cual señala su significancia estadística sobre las variables respuesta. El análisis de los datos de la Tabla 2 indica que T y AC tienen efecto estadísticamente significativo sobre todas las respuestas ($P < 0,05$) excepto sobre el %GS ($P > 0,05$). Por esta razón se ajustaron polinomios de tipo de la ecuación 3, para %PP, %PH y %PAw, únicamente.

Para llegar a los modelos definitivos, se eliminaron los factores con efectos no significativos ($P > 0,05$) y

se determinó el R² y la carencia de ajuste del modelo resultante. Ambos datos se presentan en la Tabla 2 para cada modelo respectivamente. Se ajustaron polinomios para %PP, %PH y %PAW respectivamente, los cuales se presentan en las ecuaciones 4, 5 y 6 y en la Figura 1, el comportamiento gráfico de las respuestas en función de los factores. Los coeficientes α_i en estas ecuaciones, corresponden a los efectos de los factores en términos de sus valores reales.

Los valores obtenidos para el R² (>97%) y para la carencia de ajuste (P<0,05) en los modelos de %PP, %PH %PAW, sugieren que estos polinomios representan adecuadamente la relación existente entre las respuestas y los factores.

$$\%PP = - 6,35+2,41*T+0,97*AC-0,03*T^2 \quad (4)$$

$$\%PH = 24,74+0,45*T+1,36*AC \quad (5)$$

$$\%PAW = - 1,71+0,11*T+0,51*AC \quad (6)$$

Tabla 2. ANAVA para las cuatro respuestas del diseño factorial multinivel en la dishidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins.

Fuente (Xi)	%PP Valor - P	%GS Valor - P	%PH Valor - P	%PAW Valor - P
A: Temperatura	0,0000 ***	0,1335	0,0000 ***	0,0001 ***
B: Ácido	0,0001 ***	0,4077	0,0000 ***	0,0086 **
AA	0,0000 ***	0,7394	0,0681	0,3036
AB	0,7102	0,7147	0,8428	0,4916
BB	0,2917	0,8372	0,1201	0,9944
Falta de ajuste	0,3451	0,9984	0,1307	0,8977
R ²	98,75	29,50	97,70	84,96

*** Significativo con valor P<0,1%

** Significativo con valor P<1%

En la Figura 1, se muestra que todas las respuestas tienen tendencia ascendente a medida que aumenta

el valor de los factores (T y AC), concordando con lo expresado en las ecuaciones 4, 5 y 6.

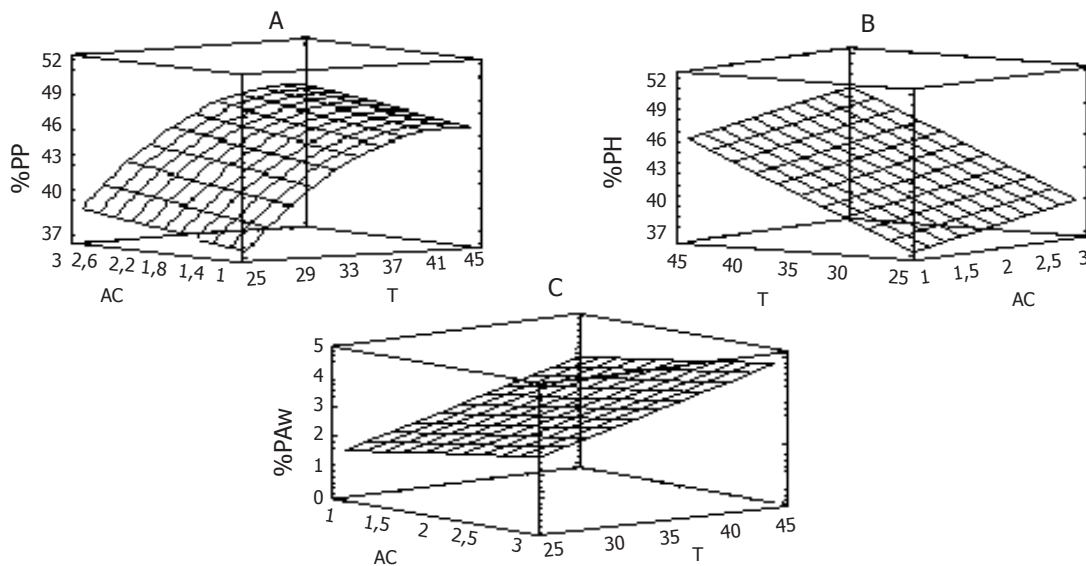


Figura 1. Superficies de respuesta para el efecto de T (°C) y AC (%p/p) sobre: (A) Porcentaje en pérdida de peso (%PP), (B) Porcentaje en pérdida de humedad (%PH) y (C) Porcentaje en pérdida de actividad acuosa (%PAW) en la dishidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins.

Optimización. Los modelos de las ecuaciones 4, 5 y 6, se sometieron a un proceso de optimización para predecir los valores de los factores que maximizan estos parámetros cinéticos. Se buscó la maximización de los parámetros cinéticos %PP, %PH y %PAw, porque todos apuntan a la disminución del Aw, lo cual está asociado con la máxima conservación del producto (Moy *et al.*, 1978; Giraldo *et al.*, 2005; Ngoran *et al.*, 2009; Tiganitas *et al.*, 2009), que es el principal objetivo en la realización de este trabajo. En la Tabla 3 se presentan los valores máximos locales de los parámetros cinéticos y los valores de cada uno de los factores que los definen.

Cinética de la DO en láminas de mango cv. Tommy Atkins. Para corroborar la validez del proceso de optimización y evaluar la cinética de DO

del mango, se desarrolló un proceso de OD a las condiciones definidas por la optimización (Tabla 3), en el cual se tomaron datos durante 420 min, cuyos resultados se muestran en las Figuras 2, 3 y 4. En estas figuras, cada punto representa el promedio de tres valores y la línea continua corresponde a la línea de tendencia de dichos puntos, siendo R^2 , el respectivo coeficiente de correlación entre los puntos y la línea de tendencia.

Recuentos microbiológicos. Los resultados del análisis microbiológico realizado en mango cv. Tommy Atkins al producto fresco, al producto osmodeshidratado con sacarosa (OD) y al producto osmodeshidratado con sacarosa y ácido cítrico (ODAC), se presentan en las Tablas 4 y 5.

Tabla 3. Máximos locales predichos en la optimización de la deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins.

Factor	Valor óptimo
T	45 °C
AC	3%
Respuesta	Valor óptimo
%PP	48,66
%PH	48,94
%PAw	4,75

Análisis sensorial. El análisis sensorial efectuado en láminas de mango cv. Tommy Atkins arrojó un 100% de aceptación para las muestras de láminas de mango

osmodeshidratado a las condiciones óptimas que se encontraron en el diseño experimental, T (45°C) y AC (3%).

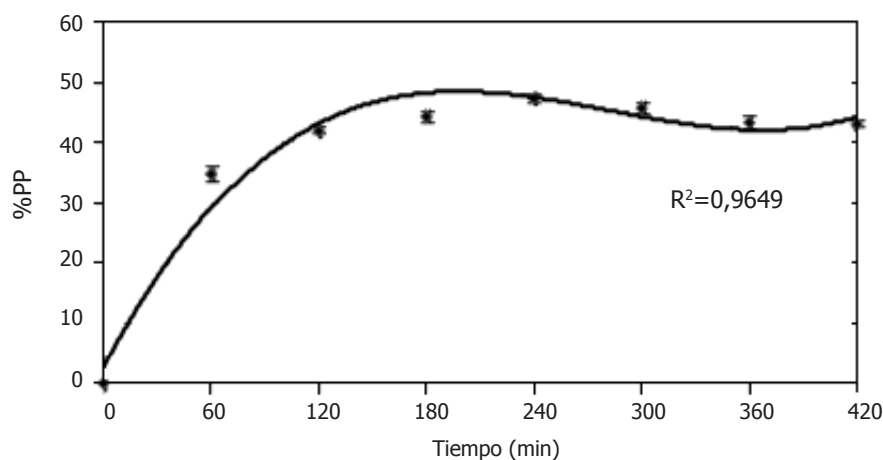


Figura 2. %PP en función del tiempo, en deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins con 3% de ácido cítrico a 45 °C.

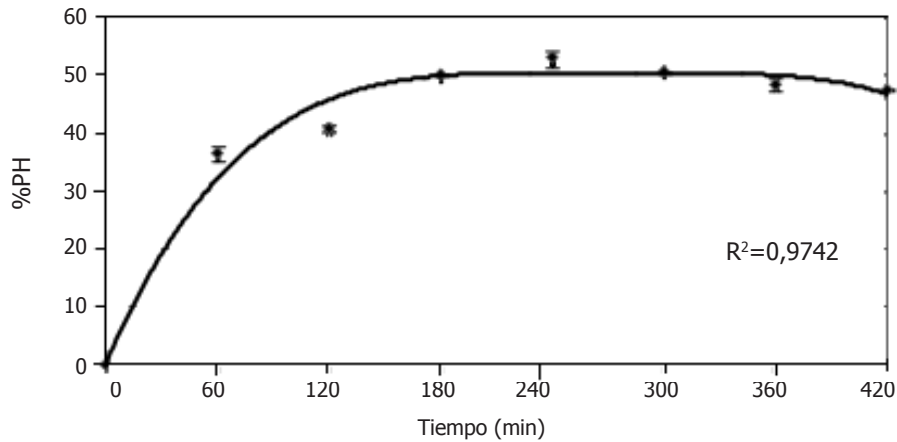


Figura 3. %PH en función del tiempo, en deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins con 3% de ácido cítrico a 45 °C.

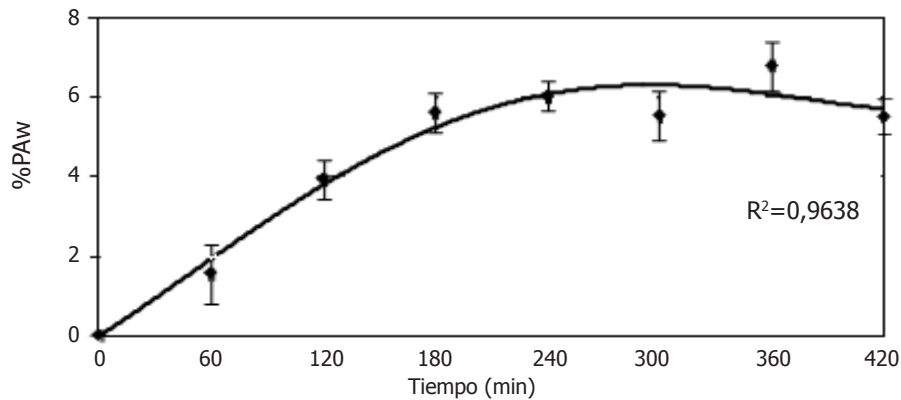


Figura 4. %PAW en función del tiempo, en deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins con 3% de ácido cítrico a 45 °C.

Tabla 4. Comparación de los recuentos medios de aerobios mesófilos en la deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins.

Recuentos (ufc/g)		
Fresco	DO	DAOC
5.920 a	983 b	< 10 c

Promedios con letras diferentes son estadísticamente diferentes según la prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05).

Tabla 5. Comparación de los recuentos medios de mohos y levaduras en la deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins.

Recuentos (ufc/g)		
Fresco	DO	DOAC
9.800 a	713 b	< 100 c

Promedios con letras diferentes son estadísticamente diferentes según la prueba de rangos múltiples de Duncan (P<0,05).

DISCUSIÓN

Efecto sobre el %PP. La reducción de peso es una medida indirecta de la pérdida de agua en el producto osmodeshidratado, que además tiene importancia en el transporte y almacenamiento, cuando se manejan altos volúmenes. De la Tabla 2 se tiene que el %PP se afecta significativamente por la T ($P=0,0001$) tanto en su término lineal como cuadrático. En la ecuación 4, el signo positivo del coeficiente de T en el término lineal, indica que en cierto rango de la variable T, los incrementos de esta repercuten positivamente en el %PP, es decir a mayor temperatura, mayor será el %PP. Lo que se asocia a una mayor salida de agua a medida que se incrementa la T, teniendo en cuenta que éste por ser un proceso cinético se ve favorecido por aumentos de T, al incrementarse los valores de los coeficientes de transferencia de masa y de difusión efectivos en el mango (Alakali *et al.*, 2006). El signo negativo del término cuadrático de la T en la ecuación 4, muestra que por encima de cierto valor de T, su influencia empieza a ser negativa sobre el %PP. Esto se explica si se considera que simultáneamente a la salida de agua se presenta la entrada de soluto a la fruta y es posible que ésta entrada de solutos se incremente con la T en mayor medida que la salida de agua, por lo que la mayor entrada de soluto con incrementos de T, afectaría negativamente el %PP. Este efecto de segundo orden de la T sobre %PP, con signo contrario al término lineal, indica que existen regiones de T en las cuales el %PP puede alcanzar valores máximos (Azoubel y Oliveira da Silva, 2008).

En cuanto al efecto del AC, esta variable afecta significativamente ($P = 0,0001$) de manera positiva el %PP, con lo que se tiene que a mayor concentración de ácido, mayor será el %PP. Señalando que el incremento en la concentración de solutos incrementa la salida de agua, por el efecto que tiene sobre los coeficientes de transferencia de masa y de difusión efectivos en el mango (Alakali *et al.*, 2006).

Efecto sobre el %GS. La ganancia de sólidos es un parámetro importante en la DO, porque en algunos casos, su incremento es un fenómeno indeseable, puesto que puede estar asociado a modificaciones de las propiedades organolépticas, además de que puede afectar negativamente la salida de agua al formar un caparazón en la superficie del producto (Giraldo *et al.*, 2003; Moy *et al.*, 1978). Por otro lado, si se busca reducir las pérdidas de peso en el producto para no afectar significativamente su costo, puede ser

deseable un elevado %GS, como es el caso de los productos confitados (Giraldo *et al.*, 2003). En este estudio, el %GS no se vió afectado significativamente ($P>0,05$) por ninguna de las dos variables evaluadas (Tabla 2), por lo que no se obtuvo ningún modelo ajustado para esta variable respuesta. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Melo *et al.* (2001), quienes observaron descensos en la ganancia de sólidos en un determinado rango de T, trabajando con mango en una solución osmodeshidratante de maracuyá. La falta de efecto de las variables sobre %GS es un hecho positivo, porque en DO se busca mejorar la conservación del producto con un mínimo efecto sobre sus características originales (Azoubel y Oliveira da Silva, 2008).

Efecto sobre el %PH. Al tratarse de un proceso de deshidratación, la salida de agua de la fruta se convierte en uno de los más importantes parámetros. Según la Tabla 2, el %PH tiene dependencia significativa de T ($P = 0,0000$) y de AC ($P= 0,0000$), ambos con efecto positivo (ecuación 5), lo cual se debe al efecto que ambas variables tienen sobre los coeficientes de transferencia de masa y de difusión efectivos en el mango (Alakali *et al.*, 2006). El efecto positivo de AC en el %PH descarta la formación de una capa de soluto en la superficie de la fruta por parte del ácido cítrico en el rango de trabajo, que puede desfavorecer la cinética de salida de agua y que se ha mencionado para otros solutos (Zapata *et al.*, 2002; Giraldo *et al.*, 2003). Este efecto positivo de AC no concuerda con los resultados de Moy *et al.* (1978), cuando encontraron que al acidificar soluciones de sacarosa no se incrementaba la salida de agua del mango.

Efecto sobre el %PAw. La actividad del agua, es tal vez la variable más importante en cualquier proceso de deshidratación, puesto que el objetivo fundamental en estos procesos es reducir la posibilidad de daño microbiológico, reduciendo el agua disponible para el desarrollo de microorganismos, lo cual está directamente asociado con la Aw (Zapata *et al.*, 2004). En la Tabla 2, se observa que tanto la T ($P=0,0000$) como el AC ($P=0,0000$) tienen efecto significativo sobre el %PAw, ambos de signo positivo (ecuación 6). Los efectos de ambas variables se explican porque actúan en forma combinada para incrementar la salida de agua, dado que las dos afectan positivamente los coeficientes de transferencia de masa y de difusión efectivos en el mango (Alakali *et al.*, 2006), favoreciendo la disminución de la Aw, con lo que se incrementa el %PAw.

El hecho de que el AC tenga efecto significativo sobre todos los parámetros cinéticos excepto sobre el %GS (Tabla 2), es un resultado favorable, puesto que significa que el ácido cítrico potencia la salida de agua de la fruta, que es el objetivo en la DO, pero no afecta de manera significativa la ganancia de sólidos, lo cual para algunos casos es deseable (Azoubel y Oliveira da Silva, 2008).

Optimización. Los resultados de la optimización presentados en la Tabla 3, se corresponden con la Figura 1, donde se puede observar que para los valores máximos de AC y T estudiadas (3% y 45 °C respectivamente), se obtienen los %PP, %PH y %PAw máximos.

Cinética de la DO. En la Figura 2, se aprecia que para %PP los cambios más importantes se presentan en los primeros 120 min, mientras en las Figuras 3 y 4, se observa como los otros dos parámetros cinéticos se toman cerca de 180 min en alcanzar sus incrementos más significativos. Lo cual es un comportamiento típico en la DO de mango (Alakali *et al.*, 2006; Ngoran *et al.*, 2009). Con esto se puede prever que en el proceso de DO de mango bajo las condiciones de este trabajo, no es conveniente prolongar el tiempo de proceso por encima de 3 horas, puesto que con tiempos posteriores no se generan cambios que mejoren las características del producto.

El comportamiento de los parámetros cinéticos de DO que se observa en las Figuras 2, 3 y 4 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 (sacarosa, ácido 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; Moy *et al.*, 1978). 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; Moy *et al.*, 1978).

Con la salida de agua se reduce el peso, la humedad y el Aw, mientras que se incrementan los sólidos del producto, es decir se incrementan todos los parámetros cinéticos (%PP, %PH y %PAw). Con la entrada de

solutos se incrementan el peso y los sólidos, pero se reduce el Aw y la humedad, o sea que se reduce el %PP y se incrementan los demás parámetros. Al principio del proceso la alta salida de agua, predomina sobre la entrada de solutos, con lo que se promueve incrementos en todos los parámetros y al final del proceso tanto la entrada como la salida de material, virtualmente se detienen porque el sistema se aproxima al equilibrio y por ende los parámetros cinéticos se mantienen en torno a un cierto valor (Figuras 2, 3 y 4).

El análisis de las curvas en las Figuras 2, 3 y 4, a las cuatro horas de proceso, muestran que %PP, %PH y %PAw, tienen valores de 47,62%, 53,07% y 6,04% respectivamente, todos valores cercanos o superiores a los predichos por el proceso de optimización, corroborando así la validez de los modelos obtenidos en el diseño experimental y del proceso de optimización al que fueron sometidos. Los altos valores de los parámetros cinéticos son 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 (Zapata *et al.*, 2004; Tiganitas *et al.*, 2009; Giraldo *et al.*, 2005), además de los efectos económicos por la reducción de costos de transporte y almacenamiento.

Recuentos microbiológicos. En los resultados presentados en la Tabla 4, se aprecia una disminución considerable en el recuento de microorganismos aerobios mesófilos desde el producto fresco, hasta las láminas deshidratadas sin ácido cítrico y aun mayor para las deshidratadas con la adición de ácido cítrico. El mismo efecto se presentó para el recuento de mohos y levaduras (Tabla 5). Los recuentos de las tablas 4 y 5, presentaron diferencias estadísticamente significativas según la prueba de rangos múltiples de Duncan, con un nivel de confianza del 95%. Estos resultados ponen de manifiesto el efecto sinérgico que se obtiene al utilizar ácido cítrico en el proceso de DO mejorando considerablemente la durabilidad del producto.

CONCLUSIONES

Los parámetros cinéticos más importantes en DO como son %PP, %PH y %PAw, se ven afectados de manera significativa por la temperatura y la concentración de ácido cítrico, durante la DO de mango cv. Tommy Atkins. bajo las condiciones establecidas en este trabajo. Mientras que el %GS no se ve afectado significativamente por ninguna de las dos variables evaluadas.

Los efectos de temperatura son positivos o negativos, según el rango de esta variable en que se encuentre el sistema, lo cual justifica adelantar procesos de optimización de dichas condiciones de trabajo.

Bajo las condiciones de este trabajo, los máximos valores de los parámetros cinéticos se consiguen después de 4 h de proceso, con temperaturas de 45 °C y concentraciones de ácido cítrico de 3% p/p, siendo 47,62%, 53,07% y 6,04%, los valores óptimos para %PP, %PH y %PAw respectivamente, todos valores cercanos o superiores a los predichos por el proceso de optimización.

Los cambios más importantes en los parámetros cinéticos de la DO se presentan en los primeros 180 min del proceso, después de lo cual los parámetros permanecen en valores relativamente constantes, indicando que el sistema alcanzó el equilibrio, haciendo injustificado prolongar el proceso por encima de dicho tiempo.

La adición de ácido cítrico a la solución osmódeshidratante, además de afectar positivamente la cinética del proceso, tiene un efecto favorable sobre los recuentos microbiológicos del mango cv. Tommy Atkins, por la reducción que infringe en ellos, sin afectar de manera negativa la aceptación sensorial del producto osmódeshidratado.

BIBLIOGRAFÍA

- Alakali, J.S., C.S. Ariahu and N.N. Nkpa. 2006. Kinetics of osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Processing and Preservation* 30(5): 597-607.
- AOAC International. 1995. Official methods of analysis of AOAC International. 16 ed. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Azoubel, P. M. and F.E. Murr. 2003. Optimization of osmotic dehydration of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) in sugar solutions. *Food Science and Technology International* 9(6): 427-433.
- Azoubel, P.M. and F. Oliveira da Silva. 2008. Optimization of osmotic dehydration of 'Tommy Atkins' mango fruit. *International Journal of Food Science and Technology* 43(7): 1276-1280.
- Bernal, I. 1998. Análisis de alimentos. Tercera edición.. Editorial Guadalupe, Bogotá. 314 p.
- Castelló, M.L., M. Igual, P.J. Fito and A. Chiralt. 2009. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering* 91(1): 1-9.
- Chauhan, O.P., A. Shah, A. Singh, P.S. Raju and A.S. Bawa. 2009. Modeling of pretreatment protocols for frozen pineapple slices. *Food Science and Technology-LEB* 42(7): 1283-1288.
- Corzo, O. and N. Bracho. 2003. Effects of brine concentration and temperature on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of sardine sheets. *LebensmWiss Technology* 37(4): 475-479.
- Corzo, O. and E.R. Gómez. 2004. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering* 64(2): 213 - 219.
- Derrickson-Tharringtona E., P.A. Kendall and J.N. Sofos. 2005. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 during storage or drying of apple slices pretreated with acidic solutions. *International Journal of Food Microbiology* 99(1): 79-89.
- El-Ghaouth, A., C.L Wilson and M.E. Wisniewski. 2004. Biologically based alternatives to synthetic fungicides for the postharvest diseases of fruit and vegetables. pp. 511-535. In: Naqvi, S.A. (ed.). *Diseases of fruit and vegetables*, vol. 2. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 686 p.
- Fernández E., S. Monserrat y E. Sluka. 2005. Tecnologías de conservación por métodos combinados en pimiento, chaucha y berenjena. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo* 37(2): 73-81.
- Fernandes, F., F.E. Linhares Jr. and S. Rodrigues. 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry* 15(6): 1049-1054.
- Floury, J., A. Le Bail and Q.T.A. Pham. 2008. Three-dimensional numerical simulation of the osmotic dehydration of mango and effect of freezing on the mass transfer rates. *Journal of Food Engineering* 85(1): 1-11.
- Gallerani, G., F. Gasperi and A. Monetti. 2000. Judge selection for hard and semi-hard cheese sensory

- evaluation. *Food Quality and Preference* 11(6): 465-474.
- Giraldo, G., P. Talens, P. Fito and A. Chiralt. 2003. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering* 58(1): 33-43.
- Giraldo, G., C. Duque y W. García. 2005. Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (*Mangifera indica*) var. Kent. *Vitae* 12(2): 5-12.
- Melo, L.A., O.B. López y H. Ordoñez. 2001. Deshidratación osmótica del mango Tommy Atkins en solución de maracuyá. Influencia de la presión y la temperatura. *NOOS* 14(1): 177-189.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2005. Observatorio Agrocadenas Colombia. La cadena de los frutales de exportación en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. En: http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Cadenas/caracterizacion_frutales_exporta_2005.pdf. 66 p.; consulta: junio 2010.
- Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Tercera edición. Iberoamérica, México, D.C. 589 p.
- Moraga, M.J., G. Moraga and N. Martínez. 2011. Effect of the re-use of the osmotic solution on the stability of osmodehydro-refrigerated grapefruit. *Food Science and Technology-LEB* 44(1): 35-41.
- Moy, J.H., N.B.Lau and A.M. Dollar. 1978. Effect of sucrose and acids on osmovac-dehydration of tropical fruits. *Journal of Food Processing and Preservation* 2(2): 135-135.
- Ngoran, B.Z., E. Assidjo, P. Kouamé, I. Dembele and B. Yao. 2009. 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.
- Ozdemir, M., B. Ozen, L. Dock and J. Floros. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *Food Science and Technology-LEB* 41(10): 2044-2050.
- Pascual, M. 1992. Microbiología alimentaria: metodología analítica para alimentos y bebidas. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. 257 p.
- Peiró, R., M.M. Camacho and N. Martínez. 2007. Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Food Engineering* 79(3): 842- 849.
- Ramallo, L.A. and R.H. Mascheroni. 2010. Dehydrofreezing of pineapple. *Journal of Food Engineering* 99(3): 269-275.
- Reyes, G., O. Corzo, N. Bracho y Y. Rodríguez. 2008. Optimización de la deshidratación osmótica con pulso de vacío de láminas de sardinas. *Revista Científica – Facultad de Ciencias Veterinarias* 18(3): 320-328.
- Sharma, R.R., D. Singh and R. Singh. 2009. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control* 50(3): 205-221.
- Soliva, R.C. and O. Martín. 2003. New advances in extending the shelflife of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology* 14(9): 341-353.
- Tiganitas, A., N. Zeaki, A.S. Gounadaki, E.H. Drosinos and P.N. Skandamis. 2009. Study of the effect of lethal and sublethal pH and Aw stresses on the inactivation or growth of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium*. *International Journal of Food Microbiology* 134(1-2): 104-112.
- Toivonen, P.M. and D.A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 48(1): 1-14.
- Torres, J.D., P. Talens, J.M. Carot, A. Chiralt and I. Escriche. 2007. Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration. *Food Chemistry* 101(1): 219-228.
- Valdez, A., S.I. Martínez, F. Salais, J. Welti and H. Mújica. 2007. Vacuum pulse-assisted pickling whole jalapeño pepper optimization. *Journal of Food Engineering* 79(4): 1261-1268.
- Zapata, J.E., L.M. Carvajal y N. Ospina. 2002. Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas. *Interciencia* 27(5): 236-242.

Zapata, J.E., L.M. Carvajal y N. Ospina. 2004. Aplicación de métodos combinados para la conservación de la papaya Hawiiana (*Carica papaya*) cortada en láminas. Alimentación, Equipos y Tecnología 190: 113-119.

Zhu, S.J. 2006. Non-chemical approaches to decay control in postharvest fruit. pp. 297–313. In: Nouredine, B. and S. Norio. (eds.). Advances in postharvest technologies for horticultural crops. Research Signpost, Trivandrum, India. 393 p.