

# ESTUDIO DE LA CINÉTICA FÍSICOQUÍMICA DEL MANGO (*Mangifera indica L. Var. Tommy Atkins*) TRATADO POR MÉTODOS COMBINADOS DE SECADO

## STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL KINETICS OF MANGO (*Mangifera indica L. Var. Tommy Atkins*) TREATED BY COMBINED METHODS OF DRYING

ANGÉLICA MORENO

*Químicos, Universidad del Quindío, angelicam9@hotmail.com*

DAVID LEÓN

*Químicos, Universidad del Quindío, davidfabianleonrayo@hotmail.com*

GERMAN GIRALDO

<sup>2</sup> *Docente-Investigador Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Quindío, ggirald@uniquindio.edu.co*

EUNICE RIOS

*Docente-Investigador Programa de Química, Universidad del Quindío, erios@uniquindio.edu.co*

Recibido para revisar Diciembre 9 de 2008, aceptado Abril 20 de 2009, versión final Mayo 13 de 2009

**RESUMEN:** El seguimiento cinético de los parámetros de peso, actividad de agua ( $a_w$ ) y ganancia de sólidos solubles (°Brix) en cubos de mango (*Mangifera indica L. Var. Tommy Atkins*) fueron evaluados durante los procesos de deshidratación osmótica con o sin pulso de vacío (DO y DOPV) en combinación con el secado por aire caliente (SAC) o a vacío (VAC). Se observó que la DOPV y el SAC son los métodos más efectivos ya que requieren menor tiempo de proceso para alcanzar sus niveles adecuados de humedad para su conservación y consumo; luego de obtenidos los tiempos para cada tratamiento se realizaron análisis fisicoquímicos de pH, acidez titulable, humedad,  $a_w$ , °Brix, color y textura a las frutas, donde se encontró que la DOPV disminuye la acidez de las muestras y las frutas por DOVAC y DOPVVAC presentaron mayores variaciones en su coloración y mayor dureza. Los resultados permiten concluir que el mejor método combinado es la DOPV-SAC, ya que esta requiere el menor tiempo de proceso y posee valores aceptables en los parámetros fisicoquímicos.

**PALABRAS CLAVE:** Cinéticas, Deshidratación Osmótica, Mango, Métodos Combinados, Secado.

**ABSTRACT:** The kinetics for the parameters of weight, water activity ( $a_w$ ) and soluble solids gain (°Brix) of mango (*Mangifera indica L. Var. Tommy Atkins*) cubes were evaluated during the processes of osmotic dehydration with or without vacuum pulse (DOPV and DO) in combination with hot air (SAC) or vacuum (VAC) drying: Observing that DOPV and SAC are the most effective methods since they require less process time to reach its adequate moisture levels for a better consumption and conservation; after obtaining the times for each treatment, physicochemical analysis of pH, titratable acidity, humidity,  $a_w$ , °Brix, color and texture were carried out to the fruit, and it was found that the DOPV reduces the acidity of the samples and fruits treated by DOPVVAC and DOVAC presented greater variations in their color and more hardness. The analysis concluded that the best combined method is DOPVSAC, since this requires less time to process and possesses acceptable values in the physical and chemical parameters.

**KEYWORDS:** Combined Methods, Drying, Kinetics, Mango, Osmotic Dehydration.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mango es la principal fruta producida en el mundo con aproximadamente 36% de la producción, seguida de la piña, la papaya y el aguacate. Más del 35% de la producción mundial de mango proviene del lejano oriente, el 14% de América latina y el Caribe y el 10% de África [1]; su alta perecibilidad genera la necesidad de procesarlo para obtener productos estables fisicoquímica y organolépticamente similares al fruto fresco. La deshidratación osmótica y el secado como métodos combinados para la conservación de frutas, se han estudiado debido a que estos tratamientos modifican las características que generan el daño en las frutas con respecto al tiempo, como son la  $a_w$ , actividad enzimática, el ataque de microorganismos, entre otras [2, 3, 4]. Estudios realizados por Erle y Schubert [3] sobre la combinación de métodos de deshidratación osmótica y secado en manzanas y fresas, evaluaron los contenidos de vitamina C, azúcar y calcio en las frutas, obteniendo productos con alta calidad en términos de color, sabor, contenido de vitamina C, estructura y volumen. Giraldo, Duque y Mejía [2] estudiaron la cinética de deshidratación y SAC de mango, guayaba, mora y uchuva impregnadas con soluciones de sacarosa conservando características en las propiedades organolépticas de la fruta fresca; Hawkes y Flink [5] han estudiado la calidad organoléptica de frutas deshidratadas osmóticamente y liofilizadas evaluando las cinéticas de pérdida de agua y ganancia de solutos. En cuanto a la velocidad de secado Fito, Andrés, Barat & Albors [6] encontraron que la velocidad disminuye a medida que disminuye la cantidad de agua en la superficie de la muestra. Estudios realizados por Duque, Giraldo y Mejía [7] muestran una variación significativa en el color del mango, mora y uchuva tras diferentes procesos de DO, concluyendo que los tratamientos afectan en mayor grado el color en las frutas con estructura porosa. Chen, Tai y Chen [8], observaron los efectos de los tratamientos de

secado por aire caliente y liofilización en la estabilidad del color en mango. Chiralt *et al* [9], realizaron estudios de textura en mango, kiwi y fresa osmóticamente procesados y congelados, encontrando diferencias significativas entre las propiedades de textura y los tratamientos realizados a las frutas. Aguilera, Chiralt & Fito [10] investigaron sobre la deshidratación de alimentos y las repercusiones en la estructura de sus productos, concluyendo que la transferencia de agua en los procesos de deshidratación involucra la preservación o creación de nuevas estructuras celulares. El objetivo de esta investigación fue estudiar la cinética de los parámetros fisicoquímicos de masa, sólidos solubles y actividad de agua en el mango (*Manguifera indica* Var. *Tommy Atkins*), durante la deshidratación osmótica y secado por cuatro métodos combinados, con el fin de determinar el mejor proceso para obtener un producto con características adecuadas para su consumo directo o como materia prima para preparaciones alimentarias.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Materia Prima

Los mangos variedad Tommy Atkins se compraron en el mercado local con grados de maduración similares, fueron lavados y desinfectados [11]. Las muestras se evaluaron en su pH (pHmetro IQ Scientific modelo IQ 240, electrodo de punción), acidez titulable según A.O.A.C. 942.15/90 [12], humedad según A.O.A.C. 930.15/90 usando un horno de secado convectivo WTB binder [12],  $a_w$  (higrómetro de punto de rocío Aqualab Decagon modelo 3TE), sólidos solubles (refractómetro Thermo modelo 334610), textura (texturómetro Stable Micro Systems Modelo TA.XT-Plus), cuyas condiciones de medición se observan en la tabla 1 y color (colorímetro Minolta modelo CM-41, observador 10°, iluminante D65) calculando los cambios en el color con la siguiente ecuación:

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

**Tabla 1.** Parámetros para la medición de textura  
**Table 1.** Parameters for the texture measurement

	Ensayo de Corte	Ensayo de Deformación
Distancia Inicial de Prueba (mm)	15	15
Modo de Prueba	Compresión	Compresión
Punta de Prueba	Volodkevich Bite Jaws HDP/VB	1/4" Spherical Stainless P/0.25S
Velocidad de Prueba (mm/Seg)	2.00	0.25
Modo de Objetivo	Esfuerzo	Esfuerzo
Esfuerzo (%)	100	100

## 2.2 Deshidratación Osmótica (DO)

El mango fue cortado en cubos de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup> para realizar los siguientes tratamientos con aproximadamente 500g de fruta fresca, a temperatura ambiente (20-23°C), sin agitación, utilizando la relación solución-fruta 5:1, en un recipiente de 5 litros. Para los procesos de DO, los cubos de mango fueron sumergidos en soluciones de sacarosa a 45°Brix realizando experimentos uno a presión atmosférica y otro con pulso de vacío a una presión de 80mbar por 15min; los procesos fueron llevados a cabo durante 72 horas para hallar el punto de equilibrio isotónico, tiempo en el cual las muestras fueron retiradas de la solución. Durante este tiempo se realizaron las cinéticas de pérdida de peso, ganancia de sólidos solubles y a<sub>w</sub>. Los cálculos para las variaciones de masa ( $\Delta M$ ) y sólidos solubles ( $\Delta Ms$ ) se efectuaron con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta M = \frac{M^t - M^0}{M^0}$$

$$\Delta Ms = \frac{(M^t \times X_{ss}^t) - (M^0 \times X_{ss}^0)}{M^0}$$

Donde:

M<sup>t</sup>: Masa en un tiempo t

M<sup>0</sup>: Masa inicial

X<sub>ss</sub><sup>t</sup>: Sólidos solubles en tiempo t

X<sub>ss</sub><sup>0</sup>: Sólidos solubles iniciales

## 2.3 Secado

Los cubos de mango DO y DOPV fueron sometidos a secado por dos métodos:

### 2.3.1 Secado por Aire Caliente (SAC)

Se realizaron cinéticas de secado registrando datos por triplicado de peso y a<sub>w</sub> durante el proceso hasta 72 horas en los tiempos de 0, 2, 19, 25, 43, 48, 53, 67, 72 horas para DO y 0, 3, 17, 25, 40, 48, 72 horas para DOPV, en un horno de secado por aire caliente (WTB binder) a 38°C con una humedad relativa del 25%. Adicional se realizaron ensayos de secado con las frutas sin pretratamiento osmóticos.

### 2.3.2 Secado a Vacío (VAC)

Se realizaron cinéticas de secado en un horno a vacío marca P-Selecta (Vaciotem-T) a 38°C con una presión negativa de 0.7bar registrando datos por triplicado de peso y a<sub>w</sub> durante el proceso hasta 72 horas en los tiempos de 0, 2, 4, 6, 19, 26, 30, 44, 48, 72 horas para DO y 0, 3, 17, 25, 40, 48, 72 horas para DOPV. Una vez alcanzados los puntos de equilibrio de humedad para cada uno de los secados las muestras fueron retiradas de los hornos, tomando este punto para los análisis de pH, acidez titulable, humedad, a<sub>w</sub>, °Brix, color y textura.

## 2.4 Análisis Estadísticos

Los resultados fueron analizados estadísticamente por medio de una comparación múltiple de muestras con un nivel de significancia del 95% obteniendo un gráfico de medias con desviaciones y un análisis de varianza entre los tratamientos que evalúa la hipótesis nula de que todos los tratamientos sean iguales contra la hipótesis alterna de que los tratamientos difieran.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Caracterización Materia Prima

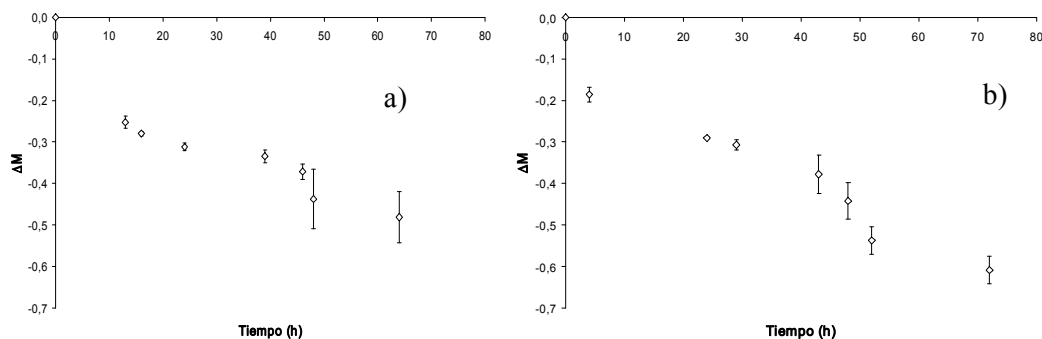
Los resultados para la caracterización fisicoquímica del mango fresco se muestran

en la tabla 2, y según lo reportado por Mendlicott [13] el mango se encuentra en un estado de madurez ideal para su procesamiento.

**Tabla 2.** Parámetros fisicoquímicos medidos del mango fresco y tratado  
**Table 2.** Physicochemical parameters measured of the fresh and treated mango

	TRATAMIENTOS					
	FRESCO	DOSAC	DOVAC	DOPVSAC	DOPVVAC	SAC
<i>Pérdida de Peso (%)</i>	N/A	73.14 ± 5.71	74.51 ± 5.02	72.57 ± 3.18	74.79 ± 2.65	80.72 ± 2.05
<i>Humedad (%)</i>	84.51 ± 3.4	31.90 ± 5.73	27.20 ± 1.71	20.4 ± 4.84	18.2 ± 7.48	18.35 ± 1.59
<i>a<sub>w</sub></i>	0.986 ± 0.003	0.660 ± 0.063	0.594 ± 0.064	0.664 ± 0.044	0.653 ± 0.069	0.737 ± 0.003
<i>Sólidos Solubles (°Brix)</i>	15.4 ± 3.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<i>pH</i>	3.85 ± 0.26	3.99 ± 0.72	4.24 ± 0.56	3.63 ± 0.54	3.61 ± 0.30	3.50 ± 0.76
<i>Acidez (%Acido Cítrico)</i>	0.39 ± 0.18	1.28 ± 0.42	1.21 ± 0.37	0.89 ± 0.14	1.05 ± 0.31	1.16 ± 0.16
<i>Textura</i>						
<i>Punción (N)</i>	3.3 ± 1.8	44.1 ± 2.3	63.1 ± 2.0	37.9 ± 2.7	62.7 ± 1.2	38.7 ± 2.8
<i>Corte (N)</i>	16.8 ± 2.3	53.2 ± 2.3	61.4 ± 2.0	59.2 ± 2.1	62.1 ± 2.5	54.7 ± 1.6
<i>Color</i>						
<i>L*</i>	58.7 ± 1.1	56.0 ± 2.5	49.1 ± 2.0	52.4 ± 4.1	48.9 ± 2.9	58.2 ± 4.8
<i>a*</i>	5.6 ± 0.4	9.2 ± 1.3	8.1 ± 0.8	8.1 ± 2.5	5.7 ± 1.5	8.5 ± 3.3
<i>b*</i>	39.8 ± 0.6	32.4 ± 2.6	22.1 ± 3.0	27.1 ± 7.0	21.9 ± 4.3	34.7 ± 6.7
<i>c</i>	40.3 ± 0.6	33.7 ± 2.5	23.5 ± 3.2	28.4 ± 6.9	22.7 ± 4.5	35.7 ± 7.0
<i>h°</i>	81.9 ± 0.4	72.9 ± 4.0	68.9 ± 3.0	72.3 ± 4.7	74.6 ± 4.1	75.7 ± 6.7

N/A: No Aplica



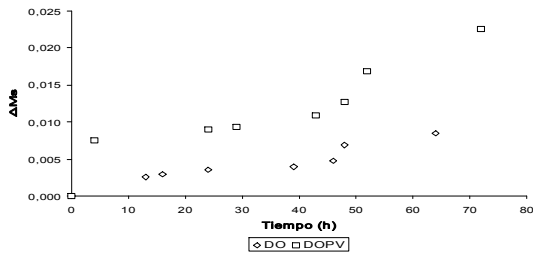
**Figura 1.** Cinéticas de pérdidas de masa para: a) DO, b) DOPV  
**Figure 1.** Mass loss kinetics for: a) DO, b) DOPV

### 3.2 Cinéticas de DO

De acuerdo con lo reportado por Giraldo, Chiralt & Fito [14], la DO del mango con soluciones de 45 °Brix ofrece un balance positivo en la variación de agua y solutos, donde el volumen y la textura del producto terminado son altamente valorados fisicoquímica y sensorialmente más que con soluciones a otras concentraciones, por esto se decidió tomar esta concentración para realizar los procesos. Las cinéticas de DO (Fig. 1a) y DOPV (Fig. 1b) presentaron una tendencia similar durante el tiempo comprendido entre 0 y

24 horas, con una pérdida de peso considerable en la fruta (31% para DO y 29% para DOPV) debido a que la diferencia de concentraciones entre el jarabe y los cubos de mango hace que la presión osmótica sea mayor y por consecuencia las transferencias sean rápidas; de 24 a 40 horas los flujos de transferencia de sólidos solubles y agua entre la fruta y la solución se hacen lentos, ya que el sistema alcanza un estado de pseudoequilibrio que se evidencia en la tendencia a valores constantes de la curva; de 40 horas en adelante el crecimiento de microorganismos, debido a la percepción de

olores propios de la fermentación, incrementa la actividad enzimática generando daño de la estructura de la fruta debido al debilitamiento causado en las paredes celulares alterando el equilibrio del sistema solución-fruto, evidenciado en el aumento de la desviación estándar; en el tratamiento de DO la desnaturalización completa de las estructuras impidió tomar los datos para 72 horas de proceso.



**Figura 2.** Cambio en los sólidos solubles ( $\Delta Ms$ ) en los procesos de DO

**Figure 2.** Change in soluble solids ( $\Delta Ms$ ) in the DO processes

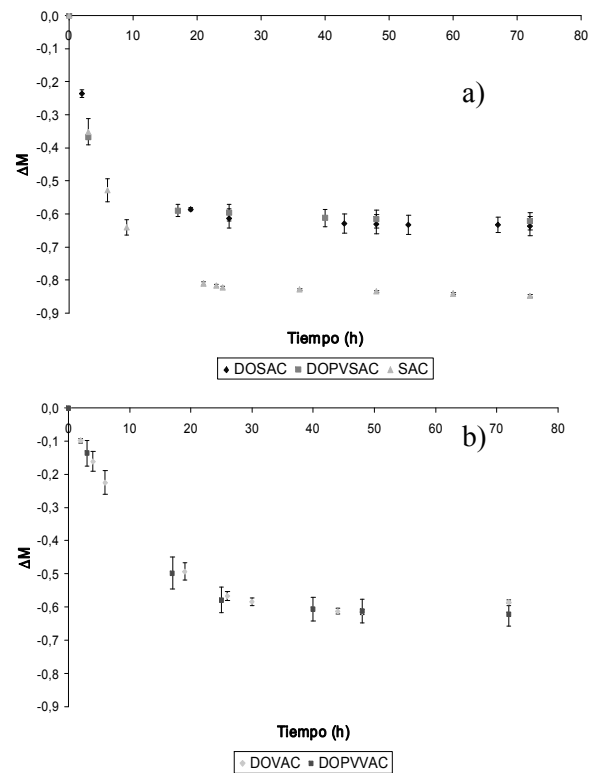
La presión ejercida por el pulso de vacío causa mayor impregnación de azúcares en los frutos y por ende mayor variación en los sólidos solubles (Fig. 2), debido a que el gas en los poros de las muestras es llenado con la solución por efecto del vacío, por consiguiente un incremento en la salida de agua en comparación con el tratamiento a presión ambiente. Además, el stress mecánico causado por el pulso de vacío debilita las estructuras acelerando el daño por la actividad enzimática (Fig. 1b).

El tiempo óptimo para los procesos de DO es aquel en que el sistema muestra estabilidad, ha perdido su mayoría de agua y las estructuras no se han alterado debido al crecimiento de la población microbiana; de acuerdo con lo anterior se determinó que estos tiempos son: para la DO 42 horas y para DOPV 30 horas en concordancia con lo reportado por Giraldo, Duque y Mejía [15]. La aplicación del pulso de vacío permite que las transferencias de solutos se aceleren haciendo que los equilibrios osmóticos se alcancen en menores tiempos debido al efecto combinado de la concentración y la viscosidad en la solución osmótica que incrementa la impregnación efectiva de la muestra,

promoviendo la deshidratación rápida de la célula y la difusión a través de los poros [14].

### 3.3 Cinéticas de Secado

Las cinéticas a largo plazo de los procesos de secado se muestran en la figura 3.

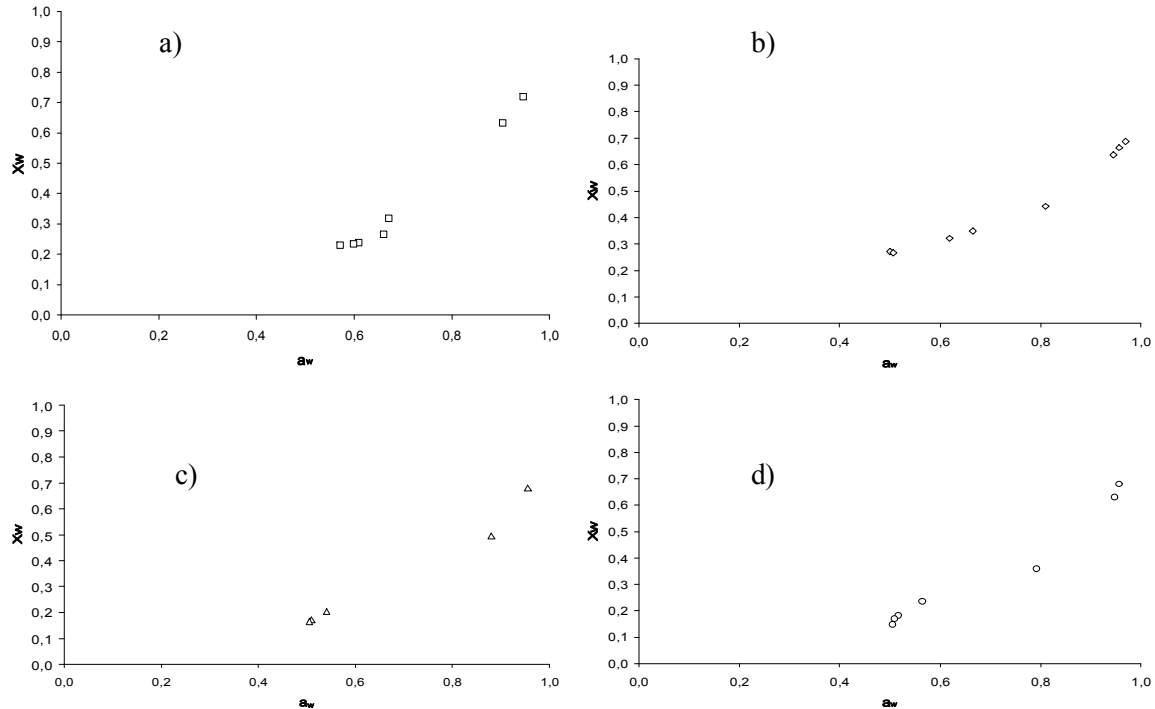


**Figura 3.** Cinéticas de pérdidas de masa durante el secado para: a) SAC, b) VAC

**Figure 3.** Mass loss kinetics during drying for: a) SAC, b) VAC

En los procesos de secado, inicialmente el producto es calentado aumentando la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado, lo cual depende de la humedad del sólido como de su temperatura, de la

velocidad del aire o de la presión en el secador. En la etapa siguiente se producen las mayores pérdidas por evaporación del agua ya que la muestra se encuentra acondicionada a la temperatura [6].



**Figura 4.** Isotermas de Sorción Experimentales para: a) DO-SAC, b) DOVAC, c) DOPVSAC, d) DOPVVAC

**Figure 4.** Experimental Sorption Isotherms for: a) DO-SAC, b) DOVAC, c) DOPVSAC, d) DOPVVAC

En el SAC, el equilibrio en la humedad se alcanza después de 24 horas (Fig. 3a) para los diferentes pretratamientos, llegando a valores de  $a_w$  y humedad aptos para su mejor conservación ( $a_w < 0.7$ ,  $X_w < 0.4$ , Fig. 4a y 4b). Cuando la fruta es secada sin pretratamiento osmótico (Fig. 3a) pierde mayor cantidad de masa ya que no hay ganancia anterior de sólidos solubles. Luego de 24 horas de secado las muestras no tratadas aun no han alcanzado el equilibrio en su humedad, requiriendo un mayor tiempo en el secador afectando las características normales de las muestras en comparación con las frutas pretratadas. La presión reducida en el VAC genera que la velocidad de evaporación del agua sea más alta que los métodos a presión atmosférica, en las primeras horas la alta salida de agua de las muestras satura la recámara hermética creando la necesidad de un sistema que permita eliminar el exceso de humedad para evitar el riesgo de oxidación, pardeamiento no enzimático o el crecimiento microbiano temprano en la fruta, la falta de este sistema en el

secador utilizado hace que constantemente se deba liberar agua mediante el cambio frecuente de agentes desecantes, retardando el equilibrio, hasta llegar a tiempos mayores de 40 horas (45 horas para DO y 40 horas para DOPV Fig. 3b, 4c y 4d); el secado de los frutos DOPV es más veloz debido a los bajos contenidos de humedad final luego del pretratamiento. Al final de los diversos procedimientos de DO y secado se observa que los pretratamientos osmóticos con pulso de vacío son más eficientes que sin este, los procesos de SAC resultan más eficaces que el VAC debido a que la circulación continua de aire caliente evita la acumulación de humedad en la cámara de secado. El proceso que requiera menor tiempo y ofrezca las mejores características merece una mayor atención en la posterior evaluación de sus parámetros fisicoquímicos y sensoriales ya que estos análisis confirmarían la metodología como la mejor en términos de efectividad de proceso y parámetros fisicoquímicos.

### 3.4 Caracterización de las Frutas Tratadas.

Los valores de los parámetros fisicoquímicos para las frutas tras los diferentes tratamientos se muestran en la tabla 2.

#### 3.4.1 Pérdidas de Masa, $a_w$ , Acidez y pH

Para las pérdidas de masa, en los procesos de DO no se muestran diferencias significativas entre tratamientos, confirmando que la aplicación del pulso de vacío en la DO hace que el proceso sea más efectivo para las transferencias de masa debido a que la DOPV se realiza a menor tiempo que la DO a presión atmosférica; los procesos de secado son considerados eficaces cuando logran evaporar la mayor cantidad de agua del producto en cortos periodos de tiempo conservando características similares al estado fresco; en esta investigación, el SAC requirió menor tiempo para alcanzar su equilibrio de humedad y masa que el secador VAC debido a problemas experimentales de diseño del secador a vacío que hacen que tome más tiempo en equilibrarse.

Los procesos de deshidratación y secado realizados a la fruta disminuyen la  $a_w$  dificultando el crecimiento de colonias de microorganismos que aceleran los procesos deteriorativos. Los cambios en la  $a_w$  son lentos durante los procesos de DO y DOPV ya que el medio acuoso provoca fenómenos difusionales, estos cambios son marcados en los procesos de secado debido a que el agua libre es evaporada reduciendo la presión de vapor del agua de la fruta llegando a valores de  $a_w$  bajos.

Tras tiempos altos de DO (> 40horas), hay un mayor riesgo de aumento en la población microbiana, la cual genera la elevación en la actividad enzimática y el comienzo de algunos procesos fermentativos que aumentan la acidez de las muestras; cuando se aplica un pulso de vacío la impregnación de solución en los poros de la fruta aumenta el paso de ácidos hacia la solución por ósmosis, ya que la acidez de la solución es menor, por lo tanto las muestras al final del proceso presentan menores valores que las tratadas a presión atmosférica. El aumento en

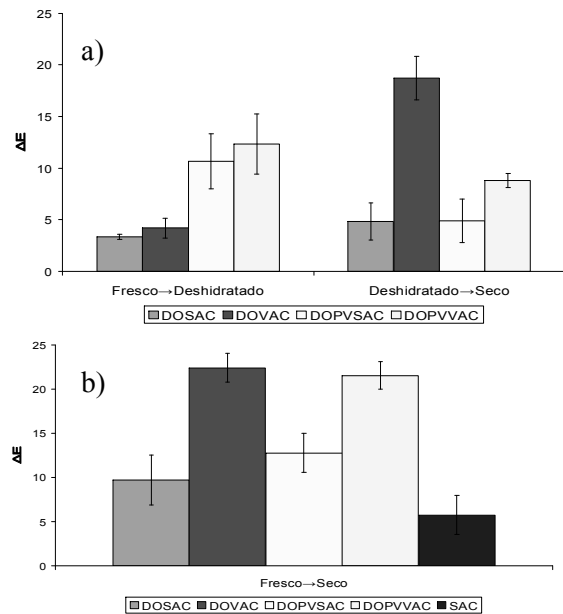
la acidez de las frutas sin ningún pretratamiento se da debido a que los ácidos se concentran por la pérdida de agua. Durante los tratamientos, las frutas no presentaron cambios significativos en su pH, debido a que durante el procesamiento no se presentan mayores cambios químicos ya que los contenidos de minerales junto con los ácidos orgánicos actúan como sistemas tampón evitando los cambios de pH en la fruta.

#### 3.4.2 Color

Los cambios en las variables  $a^*$  y  $b^*$  de las frutas DO son pocos debido a que la estructura del fruto no permite gran salida de pigmentos hacia la solución; los mayores cambios se ven en la luminosidad ( $L^*$ ) para las frutas DOPV debido a la oxidación de los pigmentos producida a causa del aumento de la actividad enzimática por el crecimiento de microorganismos durante el tiempo de deshidratación, produciendo el oscurecimiento o pardeamiento de las muestras, evidenciado en los valores más bajos de  $L^*$  y en la mínima pérdida de  $b^*$ . El matiz del color ( $h^\circ$ ) permanece constante durante la DO ya que la tonalidad del color no se ve afectada por los cambios ya mencionados.

El SAC aumenta  $L^*$  para las frutas DOPV mas que para las DO, debido a que el efecto de los cristales que ingresaron por el proceso de impregnación ayudan a disminuir la adsorción de la luz, haciendo que las muestras se vean más claras; los colores amarillos ( $b^*$ ) se ven disminuidos por el secado y a su vez se observa ganancia en colores rojos ( $a^*$ ) debido a que los azúcares propios del fruto y los ganados durante la DO son oxidados por efectos de la temperatura en el proceso, conocido como la reacción de Maillard. Estos cambios en el color se ven también evidenciados en la disminución de  $h^\circ$  mostrando un ángulo más cercano a la coordenada  $a^*$ .

Los frutos SAC sin pretratamientos presentan leves pérdidas de  $b^*$  acompañado de una ganancia de  $a^*$  como consecuencia de que los azúcares propios del mango son alterados por la temperatura, presentando pardeamiento, producto de la reacción de Maillard.



**Figura 5.** Variaciones en el color: a) En los productos de cada proceso, b) Total

**Figure 5.** Color changes: a) In each process products, b) Total

La saturación de humedad en el horno de vacío genera además de los efectos de la reacción de Maillard y otras reacciones de pardeamiento no enzimático, el aumento de los procesos enzimáticos oxidativos generados por el incremento de la población microbiana, lo que produce disminución en los valores de  $L^*$  y  $b^*$ , con ligeras ganancias de  $a^*$ . La variación de  $h^\circ$  se debe al cambio de coloración amarilla a naranja de mayor intensidad cercano a la coordenada del rojo  $a^*$ .

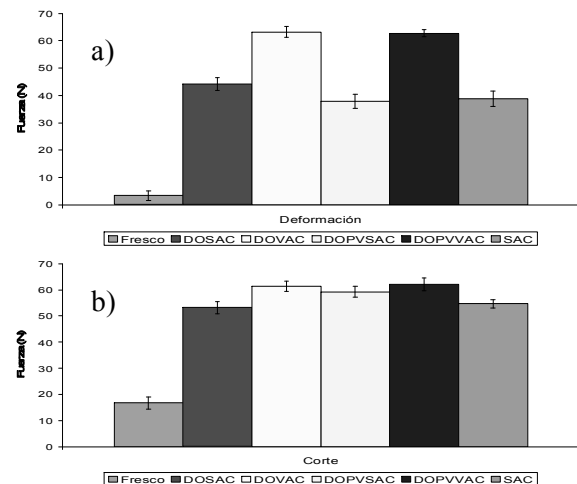
En síntesis, en los procesos de DO los cambios en el color son más notorios cuando se aplican pulsos de vacío debido a la difracción de luz causada por los azúcares impregnados y a la aceleración del crecimiento microbiano (Fig. 5a); Duque, Giraldo & Mejía [7], observaron igualmente que no hay diferencia significativa en el tratamiento de DO y no hay influencia directa de la concentración de las soluciones osmódeshidratantes, mientras que al aplicar vacío notaron que se potencializa significativamente el color; el SAC presenta menor variación del color que el VAC debido a

que este último genera fenómenos de oxidación de los pigmentos de las frutas por la saturación de humedad en la cámara. El secado sin pretratamientos no presenta variación considerable del color en comparación con los secados con pretratamientos ya que el bajo contenido de azúcares disminuye los efectos de las oxidaciones por efectos de la temperatura (Fig. 5b).

### 3.4.3 Textura

La comparación de las fuerzas máximas de deformación (Fig. 6a) muestra que las frutas tratadas por VAC requieren mayor fuerza para su deformación en comparación con el SAC, debido a que la presión causa un mayor compactamiento de las fibras de la fruta. Las frutas sin pretratamientos osmóticos no muestran diferencia significativa con las pretratadas y SAC, lo que indica que los pretratamientos osmóticos no generan cambios en la deformación de las frutas, sólo los procesos de secado convectivos y a vacío.

Los puntos máximos de corte de las frutas tratadas (Fig. 6b) no presentan diferencias significativas, se aprecia un leve incremento en la dureza de las muestras VAC explicado por el mayor compactamiento de las fibras en el horno.



**Figura 6.** Puntos máximos de fuerza de las frutas frescas y tratadas para: a) Deformación-Punción, b) Corte

**Figure 6.** Strength maximum point of fresh and treated fruits for: a) Strain-puncture, b) Cutting



### 3. CONCLUSIONES

La aplicación del pulso de vacío durante la DO mejora la eficacia del proceso ya que agiliza las transferencias de masa durante las primeras horas de tratamiento, haciendo que el equilibrio hidrodinámico entre las frutas y la solución se alcance en menor tiempo.

Los métodos de VAC son poco eficientes ya que requieren de un diseño conveniente del equipo y durante el proceso mayor cuidado de las muestras para evitar daños, mientras que el SAC además de ser más rápido, no necesita de cuidados adicionales, haciéndolo la mejor elección en términos de proceso.

Las variaciones en los parámetros fisicoquímicos de las frutas tratadas muestran valores finales de humedad y  $a_w$  adecuados para una mejor conservación. Las variaciones en el contenido de ácidos son mayores en las frutas pretratadas osmóticamente a presión atmosférica. Las frutas tratadas por VAC presentan los mayores cambios en su coloración y la reducción de la presión durante el secado hace que las frutas tratadas por este método sean las más duras.

El DOPVSAC es el método combinado evaluado más eficiente, con características fisicoquímicas adecuadas y preferidas para su comercialización, lo que lo hace la mejor tecnología aplicada al mango para su conservación y consumo.

### REFERENCIAS

- [1] FAO, Food and Agricultural Organization. Segunda Reunión Grupo Intergubernamental sobre el Banano y las Frutas Tropicales, Situación Actual del Mercado. Available: <http://www.fao.org>. [citado febrero de 2008].
- [2] GIRALDO G.A., DUQUE A.L. AND MEJÍA C.M. Cinética de Secado de Frutas Tropicales por Métodos Combinados, Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, 16, 15-25, 2006.
- [3] ERLE U. AND SCHUBERT H. Combined Osmotic and Microwave-Vacuum Dehydration of Apples and Strawberries. Journal of Food Engineering, 49, 193-199, 2001.
- [4] GIRALDO G.A., GÓMEZ A. AND GUTIÉRREZ J.A. Tratamiento de Conservación del Banano (Gross Michel) por el Método Combinado de Impregnación a Vacío y Secado, Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, 17, 9-17, 2007.
- [5] HAWKES J. AND FLINK J.M. Osmotic Concentration of Fruits Slices Prior to Freeze Dehydration, Journal of Food Processing and Preservation, 2, 265-284, 1978.
- [6] FITO P., ANDRÉS A.M., BARAT J.M. AND ALBORS A.M. Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2001.
- [7] DUQUE A.L., GIRALDO G.A. AND MEJÍA C.M. Variación del Color en Mango, Mora y Uchuva en Diferentes Tratamientos de Deshidratación Osmótica, Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, 17, 19-25, 2007.
- [8] CHEN J.P., TAI C.Y. AND CHEN B.H. Effects of Different Drying Treatments on the Stability of Carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica L.*), Food Chemistry, 100, 1005-1010, 2007.
- [9] CHIRALT A., MARTÍNEZ-NAVARRETE N., MARTINEZ-MONZO J., TALENS P., MORAGA G., AYALA A. AND FITO P. Changes in Mechanical Properties throughout osmotic processes Cryoprotectant Effect, Journal of Food Engineering, 49, 129-135, 2001.
- [10] AGUILERA J.M., CHIRALT A. AND FITO P. Food Dehydration and Product Structure, Trends in Food Science & Technology, 14, 432-437, 2003.

[11] CODEX ALIMENTARIUS. Codex stan 184, Norma del Codex para el Mango. Available: <http://www.codexalimentarius.net>, [citado febrero de 2008].

[12] AOAC, Association of official Analytical Chemists. Official methods of analysis, Washington D.C, 1997.

[13] MEDLICOTT, A. Manual de tecnología Post-cosecha de mango, SENA Regional Quindío; Convenio SENA - Reino Unido, Armenia, 1996.

[14] GIRALDO G.A., CHIRALT A. AND FITO P. Deshidratación Osmótica de Mango (*Mangifera indica*). Aplicación al Escarchado, *Ingeniería y Competitividad*, 7, 44-55, 2005.

[15] GIRALDO G.A., DUQUE A.L. AND MEJÍA C.M. La Deshidratación osmótica de Mango (*Mangifera indica*) y Guayaba (*Psidium guajava* L.) como Pretratamiento para la Conservación de la Fruta, *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 15, 25-33, 2005.