

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MANGO DESHIDRATADO APLICANDO SECADO POR AIRE CALIENTE Y DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

JUAN DIEGO ZULUAGA¹, MISAEL CORTES-RODRÍGUEZ², EDUARDO RODRÍGUEZ-SANDOVAL³

¹Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín. Antioquia. email: jdzuluag@gmail.com

²Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín. Antioquia. email: mcortesro@unal.edu.co

³Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín. Antioquia. email: edrodriguez@unal.edu.co

Recibido: febrero de 2010

Recibido en forma final revisado: noviembre de 2010

RESUMEN

Este estudio evalúa la influencia del proceso (secado con aire caliente y deshidratación osmótica+secado con aire caliente) y la temperatura de secado (60 y 70°C) sobre las características físicas del mango (cv. *Tommy Atkins*). Los métodos utilizados en este trabajo son: humedad final, actividad de agua, fuerza de fractura, color y rehidratación. Además, se calculó la cinética de secado para cada tratamiento. Los resultados confirman que el secado de mango sin pretratamiento a 70°C presenta una mayor velocidad de eliminación de agua del interior de la fruta, la menor humedad final (10.2%), la menor actividad de agua (0.362) y la mayor fuerza de fractura (399.8 N). Los pretratamientos con deshidratación osmótica presentaron una menor velocidad en la eliminación del agua desde el interior de la fruta durante el proceso de secado, la mayor humedad final (14%- 15%) y la mayor actividad de agua (0.612), pero su fuerza de fractura estuvo en un rango de 115.6 a 140.8 N, lo cual es menor comparado con las muestras secadas directamente. Los procesos de secado con osmódeshidratación como pretratamiento son más lentos debido a la formación de una capa de jarabe en la superficie de las muestras, la cual dificulta la salida de la humedad del interior del mango.

Palabras clave: Mango, Secado, Osmódeshidratación, Rehidratación, Pretratamiento.

EVALUATION OF PHYSICAL CHARACTERISTICS OF DRIED MANGO APPLYING HOT AIR DRYING AND OSMOTIC DEHYDRATION

ABSTRACT

The influence of the drying temperature (50 and 60°C) and the different pretreatments (hot air drying, osmotic dehydration+ hot air drying) are evaluated on the physical characteristics of dried mango (cv. *Tommy Atkins*). The methods used in this work are: moisture content, water activity, fracture force, color and rehydration. Moreover, the drying curves were determined by each treatment. The results confirm that drying at 70°C without pretreatment shows a higher rate of water loss in fruit, lower moisture content (10.2%), lower water activity (0.362), and higher fracture force (399.8 N). The drying processes with osmodehydration as pretreatment present a lower rate of water loss in fruit during the drying process, higher moisture content (14%- 15%), higher water activity (0.612), but their fracture force was in the range of 115.6 to 140.8 N, which is lower compared to the dried samples without pretreatment. The drying processes with osmodehydration are slower due to the formation of a syrup coating on the sample surface, making the movement of moisture within the mango more difficult.

Keywords: Mango, Drying, Osmotic Dehydration, Rehydration, Pretreatment.

INTRODUCCIÓN

El mango es una fruta de la zona intertropical y posee una pulpa carnosa con hilos. El área dedicada al cultivo del mango es mayor año tras año a nivel mundial y nacional

porque es un fruto arbustivo, con gran capacidad de desarrollo radicular en cualquier tipo de suelo. Es así como en los países productores, el incremento en superficie plantada en la última década, aumentó a una tasa promedio anual del 3.52%, mientras que la producción lo hizo a un promedio

de 5.95%, habiéndose cosechado un total de 28.848.460 ton en el año 2000. En Colombia, se ha mantenido la misma tendencia, lo que permitió registrar a finales del año 2009, un área plantada de 11.908 ha y una producción de 981.686 ton, con particular importancia en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Tolima (AGRONET, 2009). Estas cifras señalan la importancia del cultivo, razón por la cual se dedican esfuerzos en conocer su comportamiento y proponer maneras de manejo que le permitan al agricultor, obtener la mayor producción y conservación con una calidad que sea reconocida por el consumidor (Cartagena, 2005).

La deshidratación osmótica (DO) es una operación que permite eliminar el agua contenida en un alimento al ponerlo en contacto directo con una disolución altamente concentrada (Zapata Montoya & Castro Quintero, 1998). El proceso tiene lugar porque el agua del producto (disolución más diluida) se difunde a través de las membranas celulares que son semipermeables, hacia el medio que las rodea (disolución más concentrada) con el fin de establecer el equilibrio. Como la membrana es sólo parcialmente selectiva, también se produce, aunque en menor medida, cierta difusión del soluto de la disolución hacia el alimento (Panadés *et al.* 1996). El proceso de DO pasa por varios estados de pseudoequilibrio; en el primero de ellos la velocidad del flujo del agua desde el alimento hacia la solución concentrada es mayor que la entrada de sólidos hacia el interior del alimento. Al final se alcanza la igualdad de la actividad del agua (A_w) del alimento y de la solución osmótica (Gildardo *et al.* 2005a).

Se han realizado diversas investigaciones acerca de la aplicación de la ósmosis en la deshidratación de frutas y hortalizas, para la elaboración de productos de humedad intermedia, reduciendo hasta en un 50% el peso del producto fresco. La utilización de estos productos como materia prima para los procesos de secado, disminuyen el consumo de energía y se reducen los posibles daños por calor, dando al producto una estabilidad suficiente para su conservación (Jayaraman & Das Gupta, 1995). Un inconveniente común cuando se quieren alcanzar niveles altos de deshidratación, es el incremento casi en igual medida de la ganancia en sólidos, lo cual no siempre es conveniente, debido a que se alteran considerablemente las propiedades organolépticas del producto y se dificulta la eliminación de la humedad remanente, en el caso en que el soluto ganado se acumule superficialmente formando una corteza (Zapata Montoya & Castro Quintero, 1998).

El requerimiento energético en la osmodeshidratación es menor que en otros procesos de deshidratación, puesto que no hay cambio en el estado del agua, además a medida que el producto se deshidrata también se puede impregnar con

otras sustancias de interés como: suplementos nutritivos, mejoradores de propiedades sensoriales o conservantes. La mayor parte de la transferencia de agua se produce en las dos primeras horas. Uno de los problemas que plantea la osmodeshidratación es el fluido residual, para lo cual se han planteado diferentes alternativas de aprovechamiento, como su utilización en la fabricación de refrescos o néctares o como agente saborizante o aromatizante en diferentes procesos (Ramaswamy & Marcotte, 2006; Pereda-Ordóñez, 1998).

Oviedo-Lopera *et al.* (2005) evaluaron como variables la concentración del jarabe para la DO y la geometría del mango (*Mangifera indica L.*) cortado. El jarabe se preparó empleando azúcar sin refinar con concentraciones de 50, 60 y 70% p/p, en una relación 1:3 fruta/solución; de otro lado se hicieron ensayos con sal y una mezcla de sal con azúcar. Las geometrías evaluadas fueron los cortes en tajadas y en trozos. El mango en tajadas en la solución del 70% presentó la mayor pérdida de humedad. Azoubel & da Silva (2007), aplicaron deshidratación osmótica a tajadas de pulpa de mango variedad *Tommy Atkins* utilizando una solución de sacarosa con concentraciones de 40, 44, 50, 56 y 60% (p/p), con tiempos de inmersión de 60, 78, 105, 132 y 150 min, y temperaturas de proceso de 30, 34, 40, 46 y 50 °C. Las mejores condiciones en la osmodeshidratación (disminución del 25% de agua del producto y ganancia de sólidos de menos del 6%) fueron para la concentración de solución de sacarosa de 44%, temperatura cercana a 38°C y un tiempo de inmersión de 80 min.

En la conservación de frutas, el secado combinado con pretratamientos juega un papel importante en el desarrollo de nuevos productos. La DO, como pretratamiento, favorece la disminución de los cambios adversos que ocurren durante el uso de métodos combinados, mientras que el secado ayuda a conservar por más tiempo la fruta (Gildardo *et al.* 2005a). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de secado y el pretratamiento con deshidratación osmótica sobre las características físicas del mango deshidratado variedad *Tommy Atkins*.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Materia prima

Los frutos de mango (cv. *Tommy Atkins*) fueron adquiridos en el mercado local de la ciudad de Medellín (Colombia), y se seleccionaron teniendo presente su similitud en tamaño, color y firmeza. Los frutos se conservaron a 6.0 ± 1.0 °C hasta su procesamiento.

Procedimiento

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, en los laboratorios de Frutas y Hortalizas, Procesos Agrícolas y Control de Calidad de Alimentos, a una temperatura promedio de 20°C y una humedad relativa promedio de 60%. El mango se peló hasta exponer completamente la pulpa e inmediatamente se enjuagaron con agua fría para retirar los restos de piel, teniendo cuidado de no producir daños en los tejidos. A continuación se cortaron en cubos de 1.5 ± 0.1 cm de lado en forma manual.

La solución osmótica se preparó con sacarosa comercial a una concentración del 40%, verificada con un refractómetro (marca Leica auto ABBE) (Azoubel & da Silva, 2007). Esta concentración se seleccionó porque en experimentos preliminares se verificó que el tiempo de secado con aire caliente disminuía considerablemente si se comparaba con concentraciones mayores (50% y 60%). La temperatura en el proceso de DO fue de 20 °C. Los trozos de mango fueron sumergidos en la solución osmótica, la cual a su vez estaba contenida en bolsas de polietileno calibre 3, esto con el fin de facilitar la agitación manual. Se empleó una proporción de fruta/solución de 1:5. Para cada experimento de DO se utilizaron 500 g de cubos de mango. Las bolsas con la solución osmótica y los cubos de mango se agitaron cada hora durante 8 h, y luego se dejaron en reposo hasta cumplir 24 h.

Azeredo *et al.* (2005) propusieron una temperatura de secado de capas o películas de mango de 60°C a 80°C, y realizaron mediciones cada 10 min durante 3 h en el proceso de secado de cada muestra. Dissa *et al.* (2008) secaron trozos de mango a 50 °C, 60 °C y 70 °C, mientras que Yan *et al.* (2008) evaluaron el secado de mango, piña y banano a 70°C. Mediante esta información, las temperaturas de secado de mango seleccionadas fueron 60 y 70 °C. En el proceso de secado se introdujo una bandeja con muestra, previamente pesada, y se dejó durante 8 h. Para esta operación se utilizó un secador de bandejas con aire caliente (modelo D-480-F1, Diseños Electrónicos S.A., DIES, Medellín, Colombia). Después de concluir cada proceso de secado, se retiraron las bandejas del deshidratador, se registró el peso final de la fruta y se empacaron en frascos de vidrio sellados herméticamente para posteriores análisis.

Métodos

Curvas de secado: Las curvas de secado se realizaron registrando la pérdida de peso de la muestra cada 10 min en las primeras 2 h de proceso y luego cada 30 min hasta completar las 8 h. Los pesos obtenidos se convierten en térmi-

nos de humedad libre empleando las ecuaciones (1) y (2) (Geankoplis, 1993).

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

Donde: W es el peso del sólido húmedo (kg totales de agua más sólido seco), W_s es el peso del sólido seco (kg sólido seco), y X_t es la relación entre el peso del agua y el peso del sólido seco a un determinado tiempo (kg de agua/kg de sólido seco). Posteriormente, se calcula la humedad libre por medio del contenido de humedad en equilibrio para cada valor de X_t (ecuación 2).

$$X = X_t - X^* \quad (2)$$

Donde: X^* es la humedad en equilibrio (kg de agua en equilibrio/kg de sólido seco) o contenido de humedad después de las 8 h de proceso a la humedad y temperatura del aire específica, X es el contenido de humedad libre (kg de agua libre/kg de sólido seco) para cada valor de X_t .

Contenido de humedad: El contenido de humedad se determinó por balanza humidimétrica (HA 300, Precisa Moisture Balance Swiss Quality 310 M, Precisa, Zurich, Suiza) y se realizó por triplicado (Ríos-Pérez, 2005).

Actividad de agua: La actividad de agua (A_w), se determinó con un higrómetro que mide punto de rocío a 25°C (Aqualab serie 3TE, Decagon, Devices, Pullman, WA, USA). El equipo consta de una cámara y un panel de control. Dentro de la cámara se ubica el material y se obtiene el valor de actividad de agua del producto (Cortés-Rodríguez *et al.* 2007).

Índice de madurez: En la determinación de los sólidos solubles se utilizó una lectura refractométrica (Método AOAC 932.12/90) adaptado por Bernal (1998). La acidez se midió por el método de titulación potenciométrica (Método AOAC 942.05/90), adaptado por Bernal (1998). El índice de madurez se calculó empleando la relación de sólidos solubles/acidez (Cortés-Rodríguez *et al.* 2007).

pH: El pH se estableció con un potenciómetro METER, cg-840b (Schott), (Método AOAC 981.12/90), adaptado por Bernal (1998).

Textura: La fuerza de fractura se midió en un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro System, UK), con un accesorio de penetración cilíndrico de 2 mm de diámetro (SMS P/2) y el software Texture Expert Exceed versión 2.64. Las pruebas fueron sometidas a penetración unidireccional a

una velocidad de 2 mm/s. La fuerza de fractura se definió como el punto donde se produce una caída apreciable de la fuerza causada por el rompimiento parcial o total de la muestra. Por cada muestra evaluada se realizaron al menos 7 pruebas (Ciro-Velásquez, 2007).

Color: El color se determinó utilizando un espectrocolorímetro de esfera (modelo SP60, X-RITE Inc, MI, USA), con iluminante D65 y un observador de 10° como referencia. Las medidas se realizaron con un componente especular incluido. A partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color del CIE-La*b*, donde L es un indicador de la luminosidad, a* (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y b* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)) (Restrepo *et al.* 2009).

Rehidratación: El comportamiento de los alimentos deshidratados en su rehidratación es un indicativo de su capacidad para absorber agua y adquirir un estado próximo al producto original (Ramaswamy & Marcotte, 2006). La rehidratación del mango se realizó depositando 5 g de muestra seca en un tamiz plástico, el cual se sumergió en recipientes con agua destilada durante determinados períodos de tiempo (5, 10, 15, 20, 25 y 30 min.) y se registró el peso después de cada rehidratación. El desempeño de la rehidratación se evaluó mediante el coeficiente de rehidratación (RC), como se muestra en la ecuación (3) (Meda & Ratti, 2005).

$$RC = \frac{W_r - W_{fd}}{W_0 - W_{fd}} * 100 \quad (3)$$

donde: W_r es el peso de la muestra después de la rehidratación (g), W_{fd} el peso de la muestra seca (g), W_0 es el peso inicial de la muestra sin ningún proceso (g).

Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue un factorial aleatorio 2², donde el proceso (secado y secado+OD) y la temperatura de secado (60°C y 70°C) son los dos factores a estudiar, cada uno con 2 niveles. El total de tratamientos realizados en la experimentación fueron 12, incluyendo 3 repeticiones. Los datos fueron analizados mediante R versión 2.10.1 (2009-12-14), (The R Foundation for Statistical Computing), utilizando ANOVA, y un porcentaje de error del 5% en el nivel de significancia. Las diferencias significativas se establecieron utilizando la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la materia prima

La tabla 1 presenta los valores promedios y desviaciones

estándar de la caracterización fisicoquímica del mango fresco. Los resultados en la mayoría de los parámetros están en el rango mostrado en la literatura (Mujica-Paz *et al.* 2003; Salvatori, 1997). Sin embargo, los valores de °Brix reportados en este estudio son inferiores debido posiblemente al criterio de selección en cuanto al estado de madurez.

Tabla 1. Características físico químicas del mango Tommy Atkins en estado fresco.

Parámetros	Valor
pH	3.97 ± 1.00
°Brix	12.41 ± 0.46
% de acidez	0.6 ± 0.04
Índice de madurez	21.32 ± 0.6

Deshidratación osmótica

La variación del peso y de las concentraciones de sólidos solubles para cada una de las muestras de mango a los que se les aplicó la DO como pretratamiento se muestra en la tabla 2. El jarabe utilizado en estos experimentos inicialmente comenzó con un contenido de sólidos solubles de 40 °Brix, y terminó en una concentración de 34 a 36 °Brix. Para esta investigación, no se midió en el tiempo la velocidad de pérdida de peso y la ganancia de sólidos solubles para la fruta y el jarabe. Sólo se tomaron los datos iniciales y finales para cada proceso de DO, registrándolos como el promedio de 3 medidas, tanto para el jarabe como para la fruta. Al finalizar la DO, las muestras de mango tuvieron mayores valores de °Brix, indicando una ganancia de sólidos apreciable que puede afectar el proceso de secado con aire caliente.

Tabla 2. Condiciones iniciales y finales del peso y la concentración de sólidos solubles de las muestras de mango osmodeshidratadas.

Muestra	Cond. Iniciales		Cond. Finales	
	Peso (g)	°Brix	Peso (g)	°Brix
1	500,46	11	415,08	29
2	499,95	12	397,16	28,5
3	501,22	13	438,22	24
4	501,25	11	405,63	26
5	500,2	13	421,47	25
6	501,45	13,5	434,52	23

Curvas de secado

En la figura 1 se presenta el cambio de la humedad libre del mango a través del tiempo de los procesos con y sin pretratamiento osmótico para las temperaturas de secado de 60 y 70 °C. Durante las dos primeras horas, en todos los

procesos de secado se observó una disminución significativa de la humedad. Lo anterior se debe a que inicialmente la superficie del mango está muy húmeda y sobre ella hay una película de agua continua. Dicha capa está constituida por agua libre y actúa como si el sólido no estuviera presente, es decir, no existe una resistencia a la transferencia de masa del vapor por parte del producto (Geankoplis, 1993).

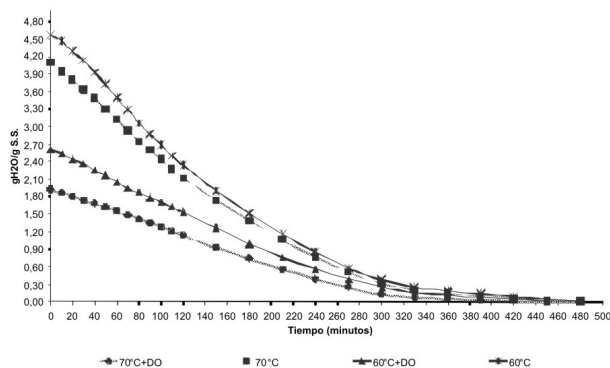


Figura 1. Curvas de secado de mango a 60°C y 70°C con y sin pretratamiento con deshidratación osmótica.

A pesar que la humedad libre inicial es diferente para todos los tratamientos, se puede observar que la curva de secado del mango sin pretratamiento desciende más rápidamente que las muestras con DO. El punto de equilibrio de una muestra a una temperatura y humedad del aire determinada se alcanza cuando el contenido de humedad del material no cambia apreciablemente con el tiempo de proceso. El secado a 70 °C llegó más rápido al punto de equilibrio (330 min), mientras que el proceso a 60 °C alcanzó el equilibrio a los 360 min. Del mismo modo se observó cómo las curvas de las muestras osmodeshidratadas descienden en forma lenta, debido probablemente a la dificultad en la eliminación del agua por la formación de una corteza de jarabe residual del proceso de DO en la superficie de la fruta. El tiempo para alcanzar el equilibrio de las muestras con DO fue de 390 min y 360 min para la temperatura de secado de 60 °C y 70 °C, respectivamente. Nieto *et al.* (2001), y Mercer & Myhara (2008) obtuvieron resultados similares para mango

deshidratado osmóticamente y con temperaturas de secado de 50 °C a 60 °C.

Contenido de humedad y actividad de agua

En el proceso de secado se pretende disminuir la humedad del producto a valores por debajo de 10%, para no permitir el crecimiento de bacterias y hongos y retrasar lo más posible el desarrollo de ácaros e insectos en el producto (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996). En la tabla 3 se presentan los resultados del contenido de humedad y la actividad de agua en el mango fresco y las muestras con los diferentes tratamientos. Los valores de contenido de humedad no muestran diferencias significativas entre temperaturas de secado, pero sí entre pretratamientos. Las muestras secadas directamente alcanzaron contenidos de humedad alrededor de 10%, mientras que las muestras osmodeshidratadas y secadas con aire caliente tuvieron una humedad cercana al 15%, siendo más riesgoso para el almacenamiento por el crecimiento de microorganismos.

La relación de la humedad y la actividad acuosa (A_w) es directamente proporcional. Para los resultados de A_w , existe una diferencia significativa entre pretratamientos, y entre temperaturas de secado, con excepción de las muestras osmodeshidratadas. La mayor reducción de la actividad acuosa fue para las muestras sin pretratamiento y con una temperatura de secado de 70°C (0.362). En las muestras secadas directamente el valor de la actividad acuosa estuvo entre 0.36 y 0.49, rango en el cual el agua se encuentra ligada moderadamente y se caracteriza por su disponibilidad como disolvente para solutos de bajo peso molecular y para algunas reacciones bioquímicas (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996). Los valores de este estudio se ajustan a lo reportado por Pott *et al.* (2005), quienes en sus experimentos con mangos (*Mangifera indica L.*) reportan valores de A_w entre 0.45 y 0.60 para temperaturas de secado de 60 °C y 80 °C. Azeredo *et al.* (2006) reportaron valores similares de A_w (0.62) para capas de mango (cv. *Tommy Atkins*) secadas a 80 °C.

Tabla 3. Humedad y actividad de agua en el mango fresco y deshidratado con los diferentes tratamientos.

PRETRATAMIENTO	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	HUMEDAD (%)	A_w
MANGO FRESCO	---	85.48 ± 1.10	0.993 ± 0.002
SIN TRATAMIENTO	60	10.17 ± 0.53	0.497 ± 0.022
	70	10.2 ± 0.52	0.362 ± 0.028
OSMODESHIDRATADO	60	15.13 ± 1.31	0.612 ± 0.026
	70	14.43 ± 1.73	0.610 ± 0.022

Fuerza de fractura

El comportamiento de la textura (fuerza de fractura) en los diferentes tratamientos se puede observar en la tabla 4. Existe una diferencia significativa entre tratamientos y temperaturas de secado. Los valores mayores son para las muestras secadas directamente (216.26 N a 399.8 N), mientras que el mango deshidratado con DO presenta una fuerza de fractura entre 115 y 140 N. En la tabla 4 también se aprecia que a 60°C la fuerza de fractura es menor si se compara con 70°C. Giraldo *et al.* (2005b) reportan valores cercanos a 120 N para pretratamientos osmóticos a 45 °Brix, estos valores son similares a los obtenidos en este trabajo para un tratamiento con DO en una solución de 40°Brix. El método para medir la fuerza de fractura debe mejorar porque las desviaciones estándar son altas y los coeficientes de variación (datos no reportados) varían entre 10% y 20%. Esto se debe posiblemente a la falta de uniformidad en cuanto a superficie y humedad de la muestra seca donde se realizó la prueba de textura.

Color

El color es un fenómeno de percepción que depende del observador y de las condiciones en que se mira un material. Este atributo en un alimento se vuelve visible cuando la luz de una fuente luminosa choca con su superficie. La medición del color en este trabajo se realizó físicamente por la interacción de la luz (Sahin & Gulum ,2006). Los valores promedios y las desviaciones estandar de las variables propias del color (L, a* y b*) del mango fresco y del man-

go deshidratado sometido a los diferentes tratamientos se muestran en la tabla 5. Para el parámetro de luminosidad (L) no existe una diferencia significativa entre pretratamientos y temperaturas y, además, es muy parecido al mango fresco, con excepción de la muestra osmodeshidratada y secada a 70°C que presenta el menor valor de L (57). En el caso de la cromaticidad de verde a rojo (a*) no hay diferencia significativa entre pretratamientos y temperaturas, y son valores similares al material fresco. En la cromaticidad de azul a amarillo (b*) existen diferencias significativas entre pretratamientos y temperaturas. De acuerdo a estos resultados, el valor de b* es mayor para la temperatura de 60°C y para las muestras que no tuvieron pretratamiento. El mango fresco presenta un color amarillo intenso (61), pero al aplicar secado este parámetro disminuye con excepción del secado a 60°C sin pretratamiento que tiene un valor de 63.

En los procesos de deshidratación hay cambios y pérdidas de color, ya que se cambian las características de la superficie del alimento, y por lo tanto su color y reflectancia. Asimismo, el pardeamiento enzimático, que se origina por la polifenol oxidasa, provoca un oscurecimiento rápido principalmente en la parte externa de las muestras. Otra de las razones por la cual se presenta un cambio de coloración es la foto-oxidación de los pigmentos por acción de la luz, que en combinación con el oxígeno produce una grave decoloración. Cuanto más largo sea el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas en los pigmentos (Rahman & Perera, 1999; Lee & Schwartz, 2006).

Tabla 4. Fuerza de fractura en el mango fresco y deshidratado con los diferentes tratamientos.

PRETRATAMIENTO	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	TEXTURA - PRUEBA FRACTURA (N)
MANGO FRESCO	-	6.02 ± 1.44
SIN TRATAMIENTO	60	216.29 ± 22.12
	70	399.8 ± 37.69
OSMODESHIDRATADO	60	115.6 ± 25.06
	70	140.8 ± 22.77

Tabla 5. Parámetros de color para el mango fresco y deshidratado con los diferentes tratamientos.

PRETRATAMIENTO	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	COLOR		
		L	a*	b*
MANGO FRESCO	-	64.43 ± 4.58	14.75 ± 2.95	61.35 ± 4.24
SIN TRATAMIENTO	60	64.35 ± 2.55	15.45 ± 1.38	63.35 ± 2.68
	70	64.97 ± 2.80	15.38 ± 1.61	54.27 ± 2.77
OSMODESHIDRATADO	60	64.13 ± 3.78	16.16 ± 2.67	52.81 ± 6.68
	70	57.09 ± 4.04	16.19 ± 1.92	41.09 ± 5.15

En el secado a 70°C, con osmodeshidratación, se observa un menor valor de L, un mayor valor de a* y un menor valor de b*, indicando un oscurecimiento o pardeamiento, con un color que tiende a ser menos amarillo y más ocre. Esto puede deberse a la formación de la corteza de jarabe, y también a la reacción de caramelización de la sacarosa que queda en la superficie del mango después del proceso de deshidratación osmótica (BeMiller & Whistler, 1996). Chen *et al.* (2007) evaluaron el color de mango secado con aire caliente a 60°C durante 24 h y reportaron valores de L = 67.68, a* = 19.42 y b* = 65.97. Estos resultados son similares a los encontrados en el presente estudio. Azeredo *et al.* (2006) reportaron valores de L = 52.97; a* = 8.2 y b* = 42.18 para mango secado a 80 °C durante 120 min, siendo menores a los reportados en el presente trabajo. Esta diferencia se debe principalmente al índice de madurez, a las propiedades fisicoquímicas del mango utilizado en los experimentos y a las condiciones de proceso.

Rehidratación del producto deshidratado

La figura 2 presenta el comportamiento del coeficiente de rehidratación (RC) del mango deshidratado aplicando los diferentes tratamientos estudiados. Se observa que los tratamientos sin DO inician una recuperación muy rápida en los primeros minutos y siguen una tendencia casi lineal, hasta alcanzar el equilibrio con valores de RC de 89.4% y 100% para los tratamientos a 60 y 70 °C, respectivamente. Los tratamientos que fueron sometidos a la deshidratación osmótica como pretratamiento, comenzaron su rehidratación lentamente y continuaron de esta forma con una tendencia casi lineal, hasta alcanzar el equilibrio entre el 28.5% y 29.9% para las temperaturas de secado a 60 y 70 °C, respectivamente. Este resultado concuerda con lo afirmado por Prothon *et al.* (2001), quienes demostraron que la rehidratación es mayor en los productos secados con aire caliente sin pretratamiento debido a que las muestras osmodeshidratadas y sometidas a secado presentan una menor porosidad.

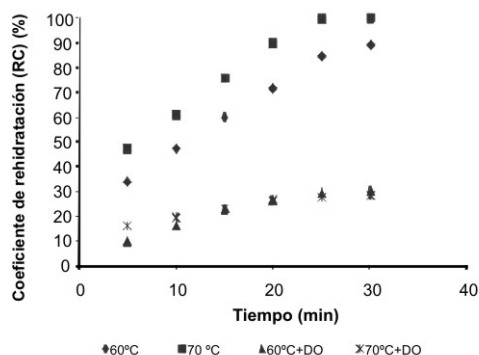


Figura 2. Coeficientes de rehidratación para mango deshidratado a 60°C y 70°C con y sin pretratamiento con deshidratación osmótica.

La rehidratación no es el proceso inverso de la deshidratación, puesto que ésta provoca la pérdida de la presión osmótica celular, cambios en la permeabilidad de la membrana celular, migración de solutos, cristalización de polisacáridos y coagulación de proteínas celulares que contribuyen a que se modifique su textura y estructura, además parte de las sustancias volátiles se pierden de forma irreversible. La menor rehidratación del mango con DO es causado porque la solución osmodeshidratante o hipertónica se difunde entre los espacios intercelulares y a lo largo de las paredes celulares, disminuyendo su permeabilidad por la interacción/adsorción de las moléculas que conforman la pared celular (Rahman & Perera, 1999).

CONCLUSIONES

El proceso de secado de mango a una temperatura de 70 °C sin pretratamiento, presentó el menor tiempo para alcanzar la humedad de equilibrio (330min), la menor actividad de agua (0.362) y el menor contenido de humedad final (10.2%). Los mayores valores de fuerza de fractura fueron para las muestras secadas directamente (216.26 N a 399.8 N), mientras que el mango secado con deshidratación osmótica como pretratamiento tuvo una fuerza de fractura entre 115 y 140 N. Las muestras con pretratamiento tuvieron un color más oscuro debido a la caramelización en la superficie del mango del jarabe residual del proceso de osmodeshidratación. La rehidratación de las muestras secadas directamente fue más rápida y alcanzó un coeficiente de rehidratación mayor (89 a 100%). Al aplicar deshidratación osmótica sin agitación mecánica constante y a una temperatura de 20°C como pretratamiento se obtienen resultados deficientes en cuanto a actividad de agua (0.61), contenido de humedad (14.4-15.1%) y color (oscurecimiento) en los productos de mango deshidratados, lo cual podría generar problemas de almacenamiento.

La porosidad del producto deshidratado debería medirse porque es una propiedad de monitoreo del secado que influye en el grado de rehidratación de las muestras. Las condiciones en los procesos (concentración de solutos, tiempo de proceso, agitación, temperatura, entre otros) de la osmodeshidratación deberían estudiarse con mayor profundidad para determinar si es posible obtener un producto seco con características apropiadas. Además, se recomienda realizar un análisis sensorial de las muestras secas para tener más criterios en la selección de una temperatura en el proceso de secado de mango.

REFERENCIAS

AGRONET. (2009). Área y producción agrícola y pecuaria. Análisis y Estadísticas. Bogotá: Ministerio de Agri-

- cultura y Desarrollo Rural (MADR). [Consultado en Diciembre 15, 2009]. URL disponible en: <http://www.agronet.gov.co>.
- AZEREDO, H., BRITO, E. S., MOREIRA, G., FARIAS, V.L., BRUNO, L. M. (2006). Effect of drying and storage time on the physico-chemical properties of mango leathers. *International Journal of Food Science and Technology*. 41: 635–638.
- AZOUBEL, P., DA SILVA, F.O. (2008). Optimisation of osmotic dehydration of ‘Tommy Atkins’ mango fruit. *International Journal of Food Science and Technology*. 43: 1276–1280.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V., VEGA-MERCADO, H. (1996). *Dehydration of Foods*. New York, N.Y: Chapman & Hall. 265-288.
- BEMILLER, J.N., WHISTLER, R.L. (1996). Carbohydrates. En: Fennema, O.R. (ed.). *Food Chemistry*. New York. N.Y.: Marcel Dekker, Inc. 157–224.
- BERNAL, I. (1998). *Análisis de alimentos*. 3 Ed. Bogotá. Colombia: Editorial Guadalupe, 314 p.
- CARTAGENA, J.R. (2005). *Crecimiento y Desarrollo del Mango*. Departamento de Ciencias Agronómicas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. [Consultado en Diciembre 10, 2009]. URL disponible en: <http://www.agro.unal-med.edu.co/departamentos/agronomia/docs/mango.pdf>.
- CHEN, J.P., TAI, C.Y., CHEN, B.H. (2007). Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica L.*). *Food Chemistry*. 100: 1005–1010.
- CIRO-VELÁSQUEZ, H.J., BUITRAGO-GIRALDO, O.H., PÉREZ-ARANGO, S.A. (2007). Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*. 60(1): 3785-3796.
- CORTÉS-RODRÍGUEZ, M., GUARDIOLA, L.F., PACHECO, R. (2007). Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (var. *Tommy Atkins*) con calcio. *Revista Dyna*. 74(153): 19-26.
- DISSA, A.O., DESMORIEUX, H., BATHIEBO, J., KOULIDIATI, J. (2008). Convective drying characteristics of Amelie mango (*Mangifera Indica L.* cv. ‘Amelie’) with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*. 88: 429–437.
- GEANKOPLIS, C.J. (1993). *Transport processes and unit operations*. Englewood Cliffs, N.J.: Pentice Hall International. 579-634.
- GIRALDO, G.A., CHIRALT, A., FITO, P. (2005a). Deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica*). Aplicación al escarchado. *Revista Ingeniería y Competitividad*. 7(1): 44-55.
- GIRALDO, G.A., DUQUE, A.L., GARCÍA, C.L. (2005b). Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (*Mangifera indica*) var. Kent. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica (UDEA)*. 12(2): 5-12.
- JAYARAMAN, K.S., DAS GUPTA, D.K. (1995). Drying of fruits and vegetables. En: Mujumdar, A.S. (ed.). *Handbook of Industrial Drying*. New York: Marcel Dekker. 643-691.
- LEE, J.H., SCHWARTZ, S.J. (2006). Pigments in plant foods.. En: Hui, Y.J. (ed.). *Handbook of Science, Technology and Engineering*. Boca Raton. F.L: Taylor & Francis. 14.1-14.13.
- MEDA, L., RATTI, C. (2005). Rehydration of freeze-dried strawberries at varying temperatures. *Journal of Food Process Engineering*. 28: 233–246.
- MERCER, D., MYHARA, R. (2008). Improving the Operation of a Commercial Mango Dryer. En: Robertson, G.L., Lupien, J.R. (eds). *Using Food Science and Technology to Improve Nutrition and Promote National Development*. Ontario, Canadá: International Union of Food Science and Technology. 1-12.
- MUJICA-PAZ, H., VALDEZ, A., LÓPEZ, A., PALOU, E., WELTY, J. (2003). Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. *Journal of Food Engineering*. 56: 307 – 314.
- NIETO, A., CASTRO, M.A., ALZADORA, S.M. (2001). Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Process Engineering*. 50: 175-185.
- OVIDIO-LOPERA, J.C., FRANCO, A.P., QUINTERO, A. (2005). Estudio preliminar de la deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica L.*), como pretratamiento para su conservación. XXI Congreso Interamericano de Ingeniería Química. Lima, Perú, 24 al 27 de Abril, 2005. [Consultado en Diciembre 18, 2009]. URL disponible en: http://www.ciiq.org/variopos/peru_2005/esp/posters.htm.
- PANADES, G. TRATO, O., FERNÁNDEZ, C., CASTRO, D. M.

- (1996). Pulse vacuum osmotic dehydration of guava. *Food Science and Technology International*. 2(5): 301-306.
- PEREDA-ORDOÑEZ, J.A. (1998). *Tecnología de los alimentos: componentes de los alimentos y procesos*. Madrid, España: Síntesis, 365.
- POTT, I., NEIDHART, S., MUHLBAUER, W., CARLE, R. (2005). Quality improvement of non-sulphited mango slices by drying at high temperatures. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6: 412-419.
- PROTHON, F., AHRNE, L., FUNEBO, T., KIDMAN, S., LANGTON, M., SJOHOLM, I. (2001). Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. *LWT-Food Science and Technology*. 34: 95- 101.
- RAHMAN, M.S., PERERA, C.O. (1999). Drying and food preservation. En: Rahman, M.S. (ed.). *Handbook of Food Preservation*. New York, N.Y: Marcel Dekker. 173-216.
- RAMASWAMY, H., MARCOTTE, M. (2006). *Food Processing Principles and Applications*. Boca Ratón, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group. 233-277.
- RESTREPO, A.M., CORTÉS, M., MÁRQUEZ, C.J. (2009). Uchuvas (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica (UDEA)*. 16(1):19-30.
- RÍOS-PÉREZ, M.M., MÁRQUEZ-CARDOZO, C.J., CIRO-VELÁSQUEZ, H.J. (2005). Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*. 58(2). 2989-3002.
- SAHIN, S., GULM-SUMNU, S. (2006). *Physical Properties of Foods*. New Cork, N.Y.: Springer Verlag Inc., 257.
- SALVATORI, D. (1997). *Deshidratación osmótica de frutas: Cambios composicionales y estructurales a temperaturas moderadas [Tesis Doctoral]*. Valencia, Universidad Politecnica de Valencia.
- YAN, Z., SOUSA-GALLAGHER, M.J., OLIVEIRA, F.A.R. (2008). Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*. 84: 430-440.
- ZAPATA-MONTOYA, E.H., CASTRO-QUINTERO, G. (1999). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 52(1): 451-466.