

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRUTOS DE PAPAYA HAWAIIANA (*Carica papaya* L.) EN CUATRO AGENTES EDULCORANTES

Margarita Maria Ríos Pérez¹; Carlos Julio Márquez Cardozo² y Héctor José Ciro Velásquez³

RESUMEN

*Trozos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) fueron sometidos a un proceso de osmo-deshidratación usando cuatro agentes edulcorantes: miel de abejas, miel de caña, crema de miel de abejas y sacarosa en medio acuoso a 79 grados Brix, temperatura de 20 °C y 23 horas de inmersión. Los resultados estadísticos mostraron que el agente de mayor capacidad deshidratante fue la miel de abejas y el menor la sacarosa. Además, los análisis cinéticos indicaron que la máxima transferencia de masa ocurre en las primeras cuatro horas del proceso y la máxima pérdida de masa del producto que puede ser alcanzada fue de 32 % con un contenido de humedad final en los frutos de papaya osmodeshidratada de 41,3 % b.h.*

Palabras claves: Papaya, osmodeshidratación, agente edulcorante, miel de abejas, miel de caña.

ABSTRACT

OSMOTIC DEHYDRATION OF HAWAIIAN PAPAYA FRUITS (*Carica papaya* L.) USING FOUR SWEETENER AGENTS

*Pieces of Hawaiian papaya (*Carica papaya* L.) were subjected to osmotic dehydration using four sweetener agents: honey, molasses, honey cream and sucrose in aqueous solution to 79 degrees Brix, 20 °C temperature and 23 hours of immersion. The*

¹ Ingeniera Industrial. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Minas. A.A. 1027, Medellín, Colombia. <mmriosp@unalmed.edu.co>

² Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <cjmarque@unalmed.edu.co>

³ Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unalmed.edu.co>

statistical results showed that honey was the sweetener agent with highest osmotic capacity while sucrose had the lowest. The kinetic analysis also showed that the maximum mass transfer occurs during the first four hours of the process and the maximum mass loss of the product that can be attained was 32 % with a final moisture content of 41,3 % w.b.

Key words: Papaya, osmotic dehydration, sweetener agent, honey, molasses.

La papaya hawaiana variedad (*Carica papaya* L.) es un fruto de alta oferta y demanda masiva tanto a nivel nacional como internacional. Se estima que se producen alrededor de 3296 ton/año en el país. Teniendo en cuenta las nuevas tendencias de consumo y comercio de alimentos y la alta producción de esta, se hace evidente la necesidad de desarrollar nuevas alternativas de uso y diversificación de los productos a ofrecer en el mercado.

Por ser un fruto susceptible a grandes pérdidas en poscosecha debido a sus características fisiológicas tan particulares, obliga al productor a desarrollar nuevas alternativas para su transformación y conservación. Para tal fin, a nivel industrial se han aplicado diferentes técnicas; tales como la congelación, refrigeración, deshidratación, y actualmente, métodos combinados como la deshidratación osmótica, siendo ésta una tecnología de preservación que reduce las pérdidas poscosecha y proporciona una opción para transformarla, utilizando materiales muy comerciales y de fácil acceso, para así, disminuir las pérdidas y aumentar los ingresos en la cadena productiva.

Deshidratación osmótica. La deshidratación osmótica (DO) es una técnica de remoción de agua que consiste en sumergir frutas u hortalizas, troceadas o enteras, en una solución hipertónica com-

puesta por solutos capaces de generar una presión osmótica alta, lo cual permite aumentar la vida útil y mejorar las características sensoriales del producto (Enachescu Dauthy, 1995; Molano, Serna y Castaño, 1996; Zapata Montoya y Castro Quintero, 1999; Matusek y Meresz, 2002). En el proceso ocurre una salida importante de agua desde el producto hacia la solución, una entrada de soluto desde la solución hacia el alimento y una mínima pérdida de solutos propios del alimento. Estos flujos ocurren a través de la membrana celular que posee permeabilidad diferencial regulando en cierto grado la entrada y salida de solutos, en el cual el agua se elimina sin cambio de fase (Morales, Serna y López Ortiz, 1999). Además, Le Maguer, Shi y Fernández (2003) consideran que el fenómeno de transferencia de masa que ocurre en un proceso de deshidratación osmótica es afectado por la estructura biológica y propiedades de los tejidos.

La posibilidad de que el soluto de la solución entre en la fruta dependerá de la impermeabilidad de las membranas a este soluto. Por lo general los tejidos de las frutas no permiten el ingreso de sacarosa por el tamaño de esta molécula, aunque si pueden dejar salir de la fruta moléculas mas sencillas como ciertos ácidos o aromas. En circunstancias como el aumento de temperatura, por escalda-

do previo de las frutas, la baja agitación o calentamiento del sistema, se puede producir ingreso de sólidos hasta un 10 % (Zapata Montoya, 1998).

Aplicación de la deshidratación osmótica en frutas y vegetales. De acuerdo a Yao y Le Maguer (1996), la remoción de agua por deshidratación osmótica en materiales biológicos incluyendo frutas y vegetales ha incrementado su interés como alternativa potencial y operación complementaria a los procesos convencionales de secado, congelación entre otros, esto porque el proceso puede ser llevado a cabo a bajas temperaturas sin cambio de fase, resultando en productos de alta calidad y bajos costos de operación.

Por las características de muchas frutas, que contienen una membrana celular semipermeable y en el interior de la célula del 5 % a 18 % de sólidos disueltos, entre ácidos, pigmentos, azúcares, minerales, vitaminas, etc., si estas se colocaran en un jarabe de alta concentración con un soluto conveniente, se puede formar un sistema donde se desarrolle el proceso de la osmosis, por esta razón se han logrado múltiples aplicaciones en la deshidratación osmótica de vegetales (Zapata Montoya y Castro Quintero, 1999).

Lenart y Flink (1984) investigaron los criterios para definir el punto final en la concentración osmótica y la influencia de factores tales como el tipo de soluto, la concentración de la solución, la temperatura y la agitación, sobre la distribución espacial de los sólidos y la humedad en las papas. Los autores encontraron que el estado de equilibrio ocurría cuando se igualaba la actividad acuosa del producto y de la solución osmótica, desarrollando

un modelo para determinar el mecanismo de transferencia de masa en el proceso osmótico.

Arango y Sanabria (1986) realizaron ensayos de osmodeshidratación en banano, mandarina, guayaba, tomate, mora, curuba, breva, tomate, pimentón y cebolla. Los tratamientos se efectuaron por inmersión en jarabe de sacarosa de 70 °Brix durante 96 horas a temperatura ambiente. Además se realizaron ensayos con piña en trozos, empleando jarabe invertido a 70 °Brix y melaza a 70 °Brix, como medios osmodeshidratantes a temperatura ambiente, y 37 °C con y sin agitación para observar las curvas de deshidratación y las características del producto final. La evaluación sensorial demostró que la piña osmodeshidratada tiene una buena calidad frente a los trozos de piña frescos. Se observó que la mayor disminución de peso ocurrió durante las doce primeras horas, no existiendo diferencias significativas entre la piña madura y la piña pintona osmodeshidratada en jarabe invertido de 70 °Brix; la reducción de peso en la deshidratación con agitación a 37 °C, fue mayor en la melaza que en el jarabe invertido. En el proceso con jarabe invertido se presentó una mayor ganancia de sólidos que en el tratamiento con melaza en las mismas condiciones.

Holguín (1992) investigó el efecto de la reutilización de jarabes en el proceso de deshidratación osmótica directa de mango Tommy Atkins, para la producción de trozos de fruta estabilizados con características aceptables de calidad y costos. Se propuso la reutilización del jarabe obtenido de la osmosis directa entre la fruta y sacarosa cristalina, el cual fue llevado de 60 a 70 °Brix, para la ósmo-

mosis directa entre trozos de mango y jarabe. Se encontró que la reutilización del jarabe tiende a modificar su composición acercándola a la de la fruta, lo que hace una base óptima para la preparación de otros productos de frutas, además de reducir costos de producción.

Cárdenas (1996) comparó las características sensoriales de conservas de piña preparadas mediante proceso Appert, a partir de jarabes de sacarosa con trozos de piña frescos. Se realizaron evaluaciones sensoriales de fruta y jarabe, determinando el contenido de sólidos solubles totales expresados en grados Brix, la acidez y el pH a las conservas obtenidas. Se encontró que en las conservas con trozos de piña no escaldadas el color amarillo brillante característico se mantuvo, siendo innecesario el escaldado. Los trozos previamente escaldados con vapor presentaron irregularidad de forma y color oscuro. La conserva que mostró mejores atributos sensoriales fue aquella elaborada con trozos frescos de piña incorporados en jarabe enriquecido por osmodeshidratación de cáscaras de piña.

Palacio Montañez (1993) identificó las operaciones y condiciones de proceso necesarias para preparar productos a partir de uchuva, néctar, mermelada y fruta deshidratada por osmosis directa. La pulpa obtenida presentó un ligero sabor amargo que se buscó eliminar, utilizando la técnica de escaldado; en esta fueron controlados los parámetros de tiempo y temperatura. El porcentaje de la fruta al convertirla en pulpa fue de 70 % y se obtuvieron resultados microbiológicos y organolépticos aceptables.

Nowakunda, Andrés y Fito (2004), inves-

tigaron el efecto de un proceso de deshidratación osmótica en las propiedades de transferencia de masa tales como pérdida de masa, ganancia de sólidos y reducción de peso en rodajas de banano de 10 mm de espesor inmersas en soluciones de sacarosa a diferentes niveles de concentración, temperaturas y tiempos de inmersión. Los resultados indicaron que las propiedades de transferencia de masa incrementaron con el tiempo de inmersión y con el aumento de la concentración de azúcares, condiciones para las cuales se obtuvo un producto muy blando que es inapropiado para manejarlo y acondicionarlo para adicionales procesos de secado. Las condiciones óptimas de deshidratación fueron soluciones osmóticas de 55 y 65 °Brix y temperatura de 30 °C.

Molano, Serna y Castaño (1996) realizaron un estudio con el objeto de desarrollar y normalizar en el laboratorio, una metodología para obtener trozos de piña variedad Cayena Lisa deshidratada, con la calidad organoléptica que ofrece la fruta fresca. Se empleó el método de osmosis directa y las mejores condiciones de proceso se obtuvieron con jarabes de sacarosa a 50 °Brix y 50 °C. Posteriormente y mediante liofilización durante 3 horas a 80 °C, presión de 66,66 Pa, secado por convección a 75°C y por tres horas se obtuvieron productos finales, principalmente por liofilización, con buenas características organolépticas.

López Ortiz y Galeano Huertas (1998) desarrollaron un estudio de la deshidratación osmótica de la fresa que permitió determinar el comportamiento de la transferencia de masa cuando trozos de fruta se sumergieron en una solución de sacarosa de 65 °Brix. Se notó que a las tres horas del

proceso se alcanzó el equilibrio, tiempo en el cual la reducción de peso fue de 49,33%, la pérdida de agua de 74,55 % y la ganancia de sólidos de 25,21 %. La actividad de agua, pH y acidez no presentaron variaciones significativas durante el proceso.

Ordóñez y López Ortiz (2002), plantearon una alternativa para industrializar manzanas osmodeshidratadas en rodajas con solución de sacarosa de 65 °Brix y vitamina C al 2,5 % p/p, por 4 horas a temperaturas de 20, 30 y 40 °C y presión atmosférica de vacío y vacío pulsante. La cinética del proceso se estudió por los parámetros de reducción de peso, de agua y ganancia de sólidos. Luego de la deshidratación, se secó el producto con aire caliente a 70 °C. Se realizaron pruebas físicoquímicas antes y después del proceso de deshidratación osmótica y secado. Los resultados del método de superficies para el análisis de la información obtenida fueron que la presión y la temperatura influyeron en la deshidratación osmótica de rodajas de manzana. La evaluación sensorial no indicó diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, el producto obtenido a partir de una temperatura de 40 °C y presión de vacío pulsante, tuvo mejor aceptación. En general, la deshidratación osmótica mejoró los atributos de los productos.

Características y usos de las frutas y los jarabes obtenidos. Los productos deshidratados obtenidos mediante esta técnica pueden tener diferentes características según el grado de estabilidad que almacenen. Este grado de estabilidad dependerá del nivel de deshidratación alcanzado durante la inmersión en el jarabe o por la aplicación de técnicas complementarias de

conservación (Zapata Montoya, 1998 y Riva *et al.*, 2005).

Cuando se necesita un producto derivado de una fruta lo mas parecido a la fruta fresca pero de alta estabilidad, se debe recurrir a complementar el producto mediante otras técnicas de conservación como el frío (refrigerado, congelado), el calor (escaldado, pasterizado) o los aditivos químicos (sulfatos, sorbato, benzoato, ácido ascórbico) (Camacho Olarte, 1990).

Los jarabes usados y resultantes de la osmodeshidratación pueden ser utilizados como ingredientes de otros productos. Además estos pueden haber retenido compuestos de la fruta que conservan características de aroma, sabor y color. Estos se pueden emplear como edulcorantes de productos específicos, o ser reutilizados como jarabes para posteriores osmodeshidrataciones si son llevados a concentraciones adecuadas para regenerar su fuerza osmótica, evitando la fermentación. Cabe agregar que las frutas sumergidas en estos jarabes poseen características sensoriales mejores que las osmodeshidratadas en los jarabes iniciales (Camacho Olarte, 1990). El objetivo principal de esta investigación fue deshidratar osmóticamente frutos de papaya hawaiana fresca usando agentes osmodeshidratantes tales como: sacarosa, miel de abejas, crema de miel de abejas y miel de caña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación fue realizada en el Laboratorio de Frutas y Hortalizas adscrito al Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín a una temperatura de 21°C y humedad relativa ambiental de 65 %.

Materiales

- Producto vegetal: Frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.)
- Bolsas plásticas polietileno calibre 3
- Agentes edulcorantes: jarabe de sacarosa, miel de caña, miel de abejas y crema de miel de abejas, en concentración de 79 °Brix
- Balanza de precisión Ohaus, precisión $\pm 0,01$ g
- Balanza humidimétrica de precisión marca Precissa
- Refractómetro Leica auto ABBE
- Potenciómetro METER, cg-840b (Schott)
- Deshidratador de bandejas de flujo paralelo marca DIES, Modelo D-480-F1
- Cristalería de laboratorio
- Reactivos: Hidróxido de sodio 0,1 N., Fenolftaleína, agua destilada.

Métodos. Frutos de papayas frescas fueron seleccionados, retirando las que presentaron daños físicos, o por insectos o manipulación mecánica, escogiendo productos con un grado de calidad de primera según la Norma Técnica Colombiana NTC-1270 dada por ICONTEC (1993).

Los frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) fueron inicialmente caracterizados química y físicamente determinando el contenido de sólidos solubles totales expresados como grados Brix, pH, acidez y el contenido de humedad.

Una vez se obtuvo el producto fresco seleccionado y caracterizado se procedió apearlo y trocearlo en cubos de un centímetro de lado, sumergiéndolos en cuatro agentes edulcorantes: sacarosa, miel de caña, miel de abejas y crema de miel de abejas a 79 °Brix y 20 °C (temperatura ambiente del Laboratorio de Frutas y Hortalizas), durante 23 horas, con agitación, consistente en un

masaje manual cada hora. Para cada período de tiempo de una hora se determinaron los sólidos solubles totales (° Brix (C_2)) en cada reactor (jarabe/ fruta). Con estos valores y a partir de los siguientes balances de masas se determinaron: la masa final del agente edulcorante, la cantidad de agua retirada durante el proceso (liberada por la fruta), la masa final de la fruta y el porcentaje de pérdida de masa de la fruta:

$$M_1 C_1 = M_2 C_2 \quad (1)$$

$$AR = M_2 - M_1 \quad (2)$$

$$M_f = M_i - AR \quad (3)$$

$$\%P.P = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} * 100 \quad (4)$$

Donde:

M_1 = Masa inicial de jarabe (kg)

M_2 = Masa final jarabe (kg)

M_f = Masa final de la papaya hawaiana

M_i = Masa inicial de la papaya hawaiana

AR = Pérdida de masa de agua del producto (kg)

C_1 = Concentración inicial del jarabe (°Brix)

C_2 = Concentración final de jarabe (°Brix)

$\% P.P$ = Porcentaje de pérdida de masa de la fruta

Deshidratación. Para la osmodeshidratación de la papaya hawaiana se dispuso de cuatro diferentes agentes edulcorantes con una misma concentración de sólidos solubles, en igual cantidad para cada reactor (sistema jarabe/fruta) y con una relación jarabe/fruta 2:1 respectivamente. En la Figura 1 se muestra un diagrama de flujo del procedimiento establecido.

Una vez completado el proceso de deshidratación osmótica, para un tiempo de 23 horas, muestras del producto fueron seleccionadas para determinar su contenido de humedad, a su vez fue hallada la concentración alcanzada por el agente osmoactivo. Una vez concluida esta etapa, los frutos de papaya hawaiana fueron some-

tidos a un proceso de secado con aire caliente por convección forzada, en un equipo secador de bandejas DIES modelo D-480-F1 con flujo de aire de 1,2 m/s y humedades relativas de equilibrio entre 35-40 %, durante 12 horas a una temperatura de 55 °C.

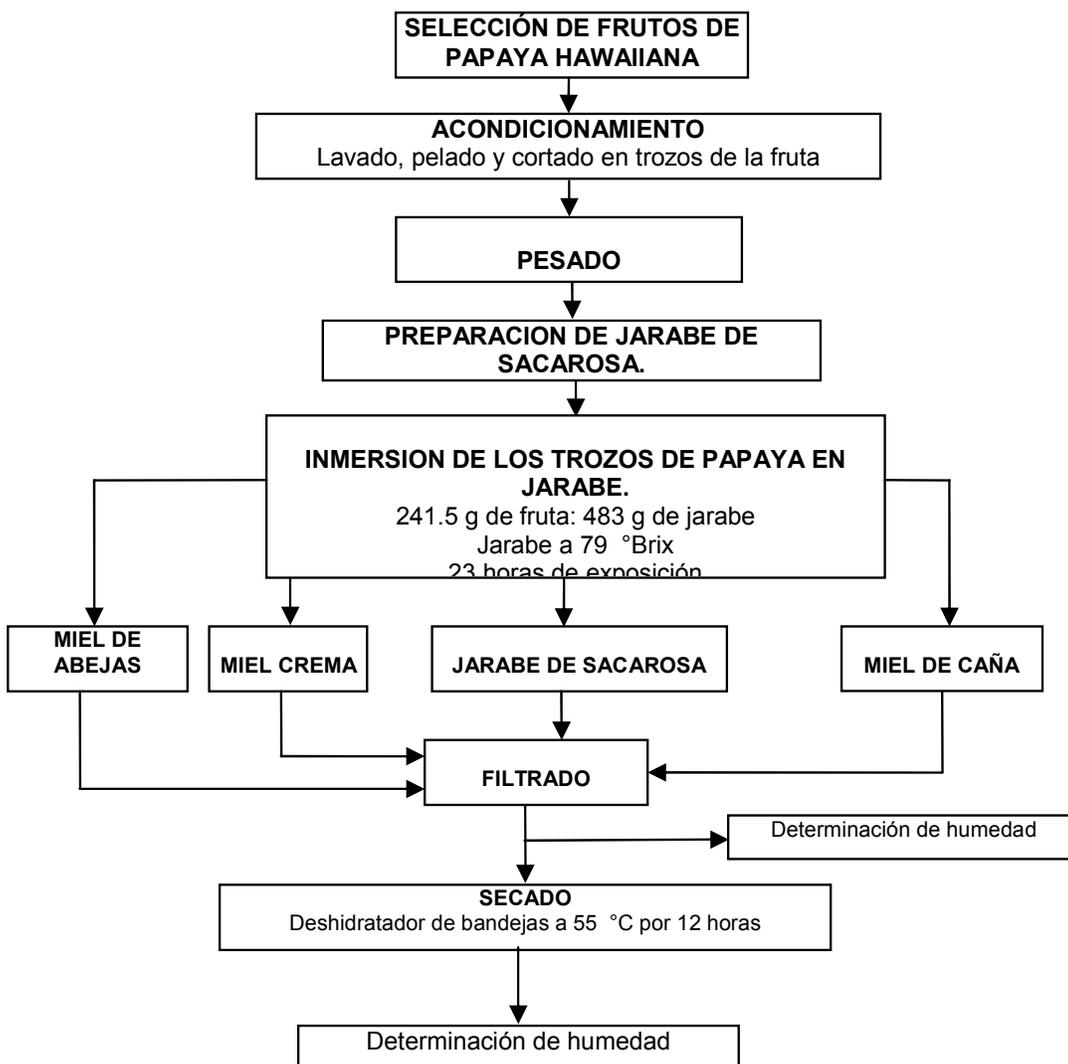


Figura 1. Diagrama de el proceso de deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2, muestra que en las dos primeras horas, el edulcorante de mayor poder osmodeshidratante fue la miel crema y el de menor poder fue la sacarosa, mientras que a las cuatro horas, ya el de mayor capacidad osmodeshidratante está representado por la miel de abejas y así se conservaría la tendencia hasta el final de la experimentación.

Además la Figura 2, indica una mayor pérdida de sólidos solubles totales, representados por los grados Brix de los jarabes durante las primeras 5 horas, y por lo tan-

to un aumento en la eliminación de agua de los frutos de papaya hawaiana, indicando que la velocidad de deshidratación es más pronunciada en el rango comprendido entre las cinco y seis primeras horas del proceso, lo cual está de acuerdo con lo expuesto por Barbosa Cánovas y Vega Mercado (2000), quienes concluyeron, que la mayor pérdida de agua por parte del alimento, en el proceso de secado osmótico ocurre en las primeras 6 horas, siendo las 2 iniciales las de mayor velocidad de eliminación de agua. Esta tendencia cinética también fue reportada por Nowakunda, Andrés y Fito (2004) en osmodeshidratación de rodajas de banano.

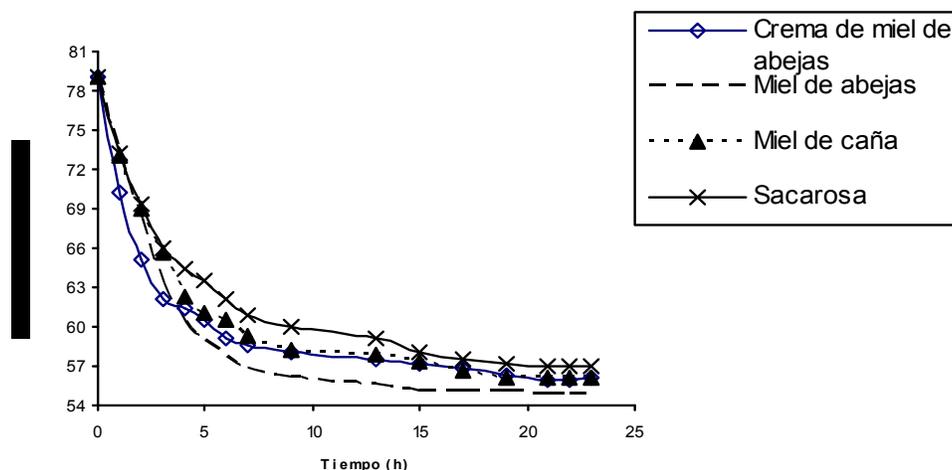


Figura 2. Tendencia cinética de los diferentes agentes edulcorantes utilizados para la deshidratación osmótica de papaya hawaiana.

La Figura 3, muestra el comportamiento de la deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana en jarabe de sacarosa, donde se observa la disminución de los sólidos solubles para el jarabe y la pérdida de masa para el producto. Compor-

tamiento similar ocurrió en miel de abejas, miel de caña y crema de miel de abejas.

Un análisis cinético de la Figura 3 revela que son las primeras cuatro horas las que tienen mayor incidencia

en la deshidratación del fruto, periodo en el cual la transferencia de soluto desde el agente osmodeshidratante hacia el fruto y la transferencia de agua desde este son altas. Sin embargo, se puede observar que a medida que ocurre el proceso

simultáneo de transferencia de masa, la velocidad de intercambio tiende a disminuir de forma progresiva hasta alcanzar un equilibrio cinético en el cual no hay transferencia de soluto ni de agua y en donde se alcanza la máxima deshidratación del fruto.

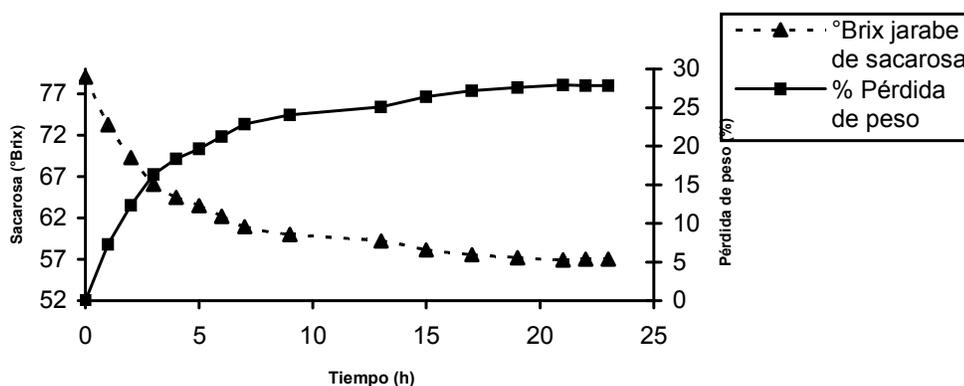


Figura 3. Comportamiento de los °Brix del edulcorante sacarosa y el peso de frutos de papaya hawaiana, sometidos a deshidratación osmótica.

Los valores de concentración de grados Brix para el agente edulcorante y el porcentaje de pérdida de masa del producto (papaya hawaiana) fueron sometidos a un análisis de regresión cuyos parámetros de ajuste fueron significativos a un nivel del 5 %. El modelo para la concentración de mejor

ajuste fue potencial de la forma $Y=A t^B$, mientras para la pérdida de masa del producto fue de la forma $Y= C \ln(t)+D$, en el cual t es el tiempo de deshidratación. La Tabla 1 muestra los parámetros de ajuste de los modelos seleccionado con su coeficiente de regresión.

Tabla 1. Parámetros de ajuste para el proceso de osmodeshidratación de papaya hawaiana.

Edulcorante	Variable de respuesta					
	Concentración de jarabe (° Brix)			Pérdida de masa (%)		
	A	B	R ²	C	D	R ²
Miel de abejas	78,09	-0,1411	0,96	11,503	2,047	0,95
Miel de caña	78,708	-0,1312	0,98	10,836	1,34	0,97
Crema de miel de abejas	79,115	-0,1246	0,99	10,384	0,848	0,99
Sacarosa	75,67	-0,1183	0,96	9,71	4,65	0,94

Se puede apreciar como el jarabe con mayor poder osmótico es la miel de abejas, ya que el porcentaje de disminución de peso de masa es más alto, y el de menor poder de deshidratación es la sacarosa. Según Salazar Alzate y Sepúlveda Valencia (1998) y Uribe Botero y Castaño Arroyave (1999), las mieles tienen una composición química que le aporta mayor poder osmótico, esencialmente por sus contenidos en sales, ácidos orgánicos de cadena corta, azúcares reductores del tipo monosacáridos, como glucosa y fructosa, y otros componentes orgánicos, como fenoles y polifenoles, los cuales son grandes jaladores de agua y contribuyen a la deshidratación de la fruta.

Un análisis de varianza al 5 % mostró que existe efecto de la clase de agente osmódeshidratador sobre la concentración de sólidos solubles totales ($P < 0,0001$) y una prueba de Shapiro Wilk indicó que los datos se distribuyen en forma normal al 5 %

de nivel de significancia, para los sólidos solubles totales expresados como grados Brix.

La Tabla 2 muestra la prueba de diferencia significativa mínima de Duncan para las medias a un nivel del 5 %, comprobó que la miel de abejas es el agente que mayor capacidad osmódeshidratante posee y la sacarosa el de menor capacidad deshidratante. Los resultados indican que la miel de abejas presentó la menor concentración de sólidos solubles (°Brix) al final del proceso, lo cual es debido a una mayor incorporación de agua y en consecuencia un porcentaje de pérdida de masa (agua) en los frutos inmersos en el edulcorante (Figura 4). De acuerdo a Azuara Nieto; Gutiérrez López y Beristan Guevara (2003) este comportamiento es debido a que la cantidad de agua que se elimina durante el proceso es proporcional a la cantidad de sólidos que entran a la fruta.

Tabla 2. Prueba de Duncan para la concentración final de los jarabes de los cuatro agentes edulcorantes empleados para la deshidratación osmótica de papaya hawaiana.

Edulcorante	Media (°Brix)
Sacarosa	57,0 a
Crema de miel de abejas	56,1 b
Miel de caña	56,1 b

La miel de caña y crema de miel de abejas poseen estadísticamente el mismo grado de capacidad de osmódeshidratación. Situación similar ocurrió para la variable de respuesta porcentaje de pérdida de masa, como lo muestra la Figura 4.

En la Figura 4, se observa que el agente de menor capacidad osmódeshidratante fue el jarabe de sacarosa, lo cual de acuerdo a Moreira Azoubel y Xidieh Murr (2000) se

debe a que la sacarosa permite la formación de una capa sub-superficial de azúcar, la cual interfiere con los gradientes de concentración a través de la interfase agente edulcorante-fruto actuando como una barrera física contra la remoción de agua del fruto. Esta formación de subcapa concentrada bajo la superficie de la fruta en procesos de osmódeshidratación ha sido reportada por (Lazarides, 2001; Lenart y Gorecka, 1989).

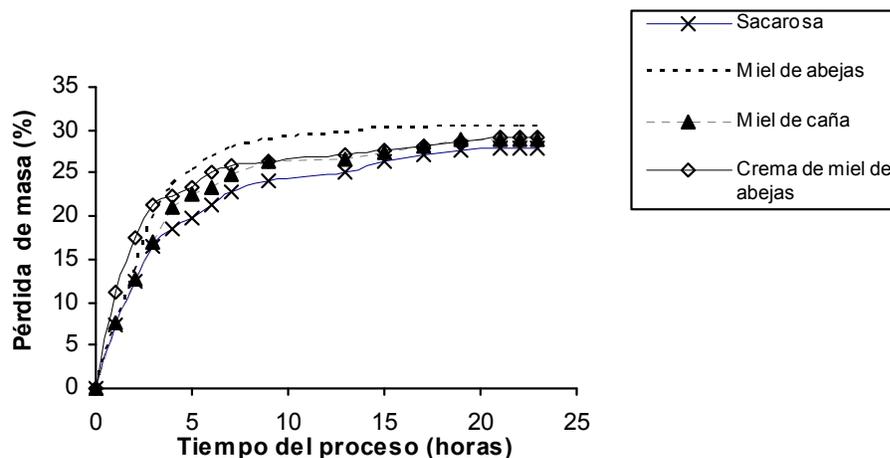


Figura 4. Efecto del agente osmodeshidratador en la pérdida de masa en frutos de papaya hawaiana.

Lazarides (2001) expresa que la velocidad de penetración del soluto a la fruta es directamente proporcional al nivel de concentración e inversamente al tamaño molecular del azúcar, por lo tanto de acuerdo a las Figuras 2 y 4 se podría inferir que la sacarosa es el soluto de mayor peso y tamaño molecular por su menor capacidad osmodeshidratante.

Para tener un factor de calidad de la fruta osmodeshidratada en relación con los agentes edulcorantes, se seleccionó como parámetro el contenido de humedad final de los trozos de frutos de papaya resultantes del proceso y con ello establecer cual agente es el mejor, lo anterior debido a que es el factor que le confiere a los frutos osmodeshidratados una característica sensorial ideal (humedades inferiores al 40 % no son recomendables para estos vegetales). Un análisis de varianza al 5 % mostró que la clase de agente osmodeshidratador tiene efecto en el

contenido de agua final alcanzado en el producto ($P < 0,0001$).

La prueba Duncan con un nivel de significancia del 5 % (Tabla 3) indica que con la miel de abejas se obtiene un producto de más bajo contenido de agua y que la sacarosa es el agente de más baja capacidad de deshidratación y con la más baja capacidad de reducción de actividad de agua, no obstante el producto no alcanza a estar lo suficientemente deshidratado a un nivel óptimo que permita su almacenamiento estable, y un adecuado control enzimático y microbiológico, siendo lo más probable que se deban emplear técnicas adicionales de conservación. Además los resultados del contenido de humedad final indican que la miel de abejas es el que posee mayor capacidad de reducción de actividad de agua, esto debido fundamentalmente a su alta concentración de fructosa (40-50 % por peso) (Londoño Serna, 1998; Barbosa Cánovas *et al.*, 2003).

Tabla 3. Prueba de Duncan para la humedad en base húmeda de frutos de papaya hawaiana osmodeshidratadas con edulcorantes.

Tratamiento	Humedad en base húmeda (%)
Sacarosa	47,15 a*
Miel de caña	45,66 b
Crema de miel de abejas	43,27 c
Miel abejas	41,34 d

* Medias con letras diferentes presentan diferencia estadística significativa al 5 %.

CONCLUSIONES

De los cuatro agentes edulcorantes utilizados en la deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana el de mayor poder osmótico fue la miel de abejas.

El proceso cinético de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana presentó varios periodos de velocidad de fase, caracterizados inicialmente por una alta tasa de transferencia seguido por una etapa de disminución progresiva y por último una etapa de equilibrio cinético.

Con un nivel de confianza del 95 % se concluye que el efecto del agente osmodeshidratante sobre la humedad final es significativamente diferente para la deshidratación de papaya hawaiana en jarabe de sacarosa, miel caña, crema de miel de abejas y miel de abejas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus más sinceros agradecimientos al Laboratorio de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por todo el apoyo brindado para llevar a cabo esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

ARANGO R. Luz Marina y SANABRIA R, Néstor H. Estudio preliminar para la osmodeshidratación directa de curuba, piña, guayaba y breva. Santa Fé de Bogotá: ICTA, 1986. 65 p.

AZUARA NIETO, E.; GUTIERREZ LÓPEZ, G.F. and BERISTAIN GUEVARA, C. I. Mass transfer description of the osmotic dehydration of apple slabs. *En*: WELTI-CHANES, J.; VELEZ-RUIZ, J. F. and BARBOSA-CANOVAS, G. V. Transport phenomena in food processing. USA: CRS, Press, 2003. p. 95-107

BARBOSA CANOVAS, Gustavo y VEGA MERCADO, Humberto. Deshidratación de alimentos. Zaragoza (España): Acribia, 2000. 297 p.

_____ *et al.* Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003. 99 p. (Technical Manual FAO Agricultural Services Bulletin; no. 149).

CARDENAS CHAMORRO, Olga. Aprovechamiento de productos de la osmodeshidratación en el mejoramiento de las características sensoriales de conservas de piña en almíbar. Santafé de Bogotá: ICTA, 1996. 84 p.

- CAMACHO OLARTE, Guillermo. Obtención y conservación de pulpas. Santafé de Bogotá: ICTA, 1990. 350 p.
- ENACHESCU DAUTHY, Mircea. Fruit and vegetable processing. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995. 382 p. (FAO Agricultural Services Bulletin; no.119).
- HOLGUÍN, M. Efecto de de la reutilización del agente osmo-deshidratante en la conservación de mango Tommy Atkins (*Mangifera indica*). ICTA- PECTA, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 1992.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Industria alimentaria: papaya. Bogotá, D.C.: ICONTEC, 1993. (Norma Técnica Colombiana; NTC-1270).
- LAZARIDES, H.N. Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables, p. 33-42. *En: FITO*, Pedro *et al.*, ed. Osmotic dehydration and vacuum impregnation: applications in food industries. USA: Technomic Publishing, 2001. 288 p.
- LENART, A and FLINK, J. Osmotic concentration of potato. Part 2: spatial distribution of the osmotic effect. *En: Journal of Food Technology*. Vol. 19 (1984); p. 65-89.
- LENART, A and GORECKA, E. Influence of the kind of osmotic substance on the kinetics of convection drying of apples and carrots. *En: Annals of Warsaw Agricultural University –SGGW-AR, Food Technology and Nutrition*. Vol. 18 (1989); p. 27-35.
- Le MAGUER, M.; SHI, J. and FERNANDEZ, C. Mass transfer behavior of plant tissues during osmotic dehydration. *En: Food Science and Technology International*. Vol. 9, No. 3 (2003); p. 187-192.
- LONDOÑO SERNA, Claudia Patricia. Estudio palinológico de miel procedente del apiario "Los Charchos" (Santa Bárbara). Medellín, 1998. 110 p. Trabajo de grado (Ingeniera Agrónoma). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- LÓPEZ ORTIZ, Olga Beatriz y GALEANO HUERTAS, Alejandra. Deshidratación osmótica de la fresa (*Fragaria chiloensis*). *En: NOOS*. Vol. 4 (1998); p. 131-135.
- MATUSEK, Aniko and MERESZ, Peter. Modeling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots. *En: Periodica Polytechnica. Serie Chemical Engineering*. Vol. 46, No. 1-2 (2002); p. 83-92.
- MOLANO, L., SERNA, C, y CASTAÑO, C. Deshidratación de piña variedad Cayena Lisa por métodos combinados. *En: Revista Cenicafé*. Vol. 47, No. 3 (1996); p. 140-158.
- MORALES, Jhovanny, SERNA, Liliana y LOPEZ ORTIZ, Olga Beatriz. Métodos combinados de conservación de papaya hawaiana. *En: Revista NOOS*. Vol. 9 (1999); p. 53-59.
- MOREIRA AZOUBEL, Patricia and XIDIEH MURR, Fernanda E. Mathematical modeling of the osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme). *En: Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 20, No.2 (2000); p. 565-575.

- NOWAKUNDA, Kephas, ANDRÉS, Ana and FITO, Pedro. Osmotic dehydration of banana slices as a pretreatment for drying processes. *En: THE INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM* (14: 2004: São Paulo, Brazil). Proceedings of the 14th Inter-national Drying Symposium (IDS 2004). São Paulo, Brazil: The Symposium, 2004. p. 2077-2083.
- ORDÓÑEZ P., Hermelinda y LÓPEZ ORTIZ, Olga Beatriz. Efecto de la presión y de la temperatura en la elaboración de hojuelas de manzana variedad Anna. *En: NOOS*. Vol. 15 (2002); p. 85-99.
- PALACIO MONTAÑEZ, José Maria. Procesamiento de uchuva (*Phisalys peruviana*) para obtener néctar, mermelada y fruta osmodeshidratada. Santafé de Bogotá: ICTA, 1993. 52 p.
- RIVA, Marco *et al.* Structure-property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes. *En: Food Research International*. Vol. 38 (2005); p. 533-542.
- SALAZAR ALZATE, Blanca Cecilia y SEPULVEDA VALENCIA, José Uriel. Elaboración de bebida refrescante con base en miel de caña. *En: Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* Vol. 51, No. 2 (1998); p. 177-187.
- URIBE BOTERO, Jorge Eduardo y CASTAÑO ARROYAVE, Jorge Mario. Utilización de la miel de caña en la elaboración de arequipe. Medellín, 1999. 92 p. Trabajo de grado (Zootecnistas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- YAO, Zhiming and Le MAGUER, Marc. Mathematical modeling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part 1: concepts and mathematical models. *En: Journal of Food Engineering*. Vol. 29 (1996); p. 349-360.
- ZAPATA MONTOYA, José Edgar. Determinación de parámetros cinéticos del alcohol etílico como agente osmodeshidratante. Medellín, 1998. 99 p. Tesis (Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- ZAPATA MONTOYA, Edgar Humberto y CASTRO QUINTERO, Gilberto. Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *En: Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. Vol. 52, No.1 (1999); p. 451-466.