



Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa)

*Analysis the Osmotic and Hot air dehydration kinetic of pineapple fruit (*Ananas Comosus*, Cayena Lisa variety)*

Annia García Pereira¹, Sahylin Muñiz Becerá², Antihus Hernández Gómez¹, Lázaro Mario González³ y Daybelis Fernández Valdés³

RESUMEN. Los procesos tecnológicos de deshidratación han sido algunos de los métodos más utilizados para la conservación de frutas y vegetales. El presente trabajo tiene como objetivo analizar comparativamente la cinética de la deshidratación Osmótica (DO) y por Flujo de Aire Caliente (DAC) de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa) para la Agroindustria. Durante el análisis se determinaron las propiedades físico-mecánicas de las frutas frescas y de los cubos deshidratados (masa, firmeza, talla, pH, y contenido de sólidos solubles (SSC)), posteriormente las frutas fueron troceadas en cubos de $1 \times 5 \pm 0.02$ cm para ser sometidas a tratamientos de Deshidratación Osmótica (DO) (60 °C durante 10 h) y por Deshidratación por Flujo de Aire Caliente (DAC) (60°C durante 5 h). Se monitoreó además la variación de la masa, la firmeza y el porcentaje de pérdida de peso durante ambos procesos. Para el procesamiento estadístico de los datos se utiliza el software especializado Statgraphics Plus en su versión 5.1. Como resultado se obtuvo que la variabilidad alcanzada a partir de la diferencia entre los valores iniciales y finales de la masa, firmeza y el aumento del porcentaje de pérdida de peso fue inferior para la fruta sometida al proceso tecnológico de DO con valores de 49,4; 86 y 64,17%, que para la obtenida por DAC con valores 80; 88,3; y 80%, respectivamente, resultando también el método que mayor variabilidad aportó entre las propiedades estudiadas.

Palabras clave: procesos de deshidratación, piña, propiedades físico mecánicas.

ABSTRACT. The dehydration technological processes have being widely used during fruit and vegetables conservation. The aim of this research is to analyze the Osmotic (DO) and Hot air flow (DAC) dehydration kinetic of pineapple fruit (Cayena Lisa variety) to be applied in agroindustry. During this study were determined mass, size, firmness, soluble solids content (SSC) and pH in the fresh fruit and the dehydrated slices. The fruits were handled cutted in slices ($1 \times 5 \pm 0.02$ cm) to be submitted at DO (60 °C, during 10 h) and DAC (60°C during, 5 h) monitoring mass, firmness and weight loses (PP) variation in both processes. All data collected were analyzed using Statgraphics Plus vs 5.1. As main results, the highest variability in mass, firmness and weight loses % between fresh and dehydrated fruit was obtained when DAC was applied with variation of 80; 88,3; y 80%, while 49,4; 86 y 64,17% using DO, respectively.

Keywords: dehydration processes, pineapple, physic and mechanical properties

INTRODUCCIÓN

El aumento progresivo de la población mundial así como de la falta de alimentos suficientes para cubrir todas las necesidades,

ha traído como resultado un incremento constante en el desarrollo de investigaciones en el sector agrícola dirigidas a potenciar la producción y a mejorar la eficiencia en su aprovechamiento, de

Recibido 04/04/12, aprobado 12/12/12, trabajo 11/13, artículo original.

¹ Dr.C. Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Investigación de Calidad de los Productos Agrícolas (GICPA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, E-✉: annia@isch.edu.cu

² M.Sc., Instructor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Investigación de Calidad de los Productos Agrícolas (GICPA).

³ Ing., Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Investigación de Calidad de los Productos Agrícolas (GICPA).

ahí que surjan como alternativa la aplicación de diferentes procesos agroindustriales para lograr extender el período de vida de dichos productos. Las frutas y las hortalizas incluidas las más perecederas se pierden por diferentes razones durante la etapa poscosecha, éstas pérdidas ascienden a más del 20-40% de la producción total en las regiones tropicales y subtropicales (FAO, 1968) debido a que las condiciones climatológicas aceleran los procesos de maduración que conllevan al deterioro temprano de una gran cantidad de variedades de frutas.

Partiendo de lo anterior Yirat *et al.* (2009), evaluaron la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

En el sector agroindustrial actual se emplean diversos tipos de procesos tecnológicos de conservación y entre los más utilizados se encuentran los procesos de deshidratación que resultan ser una técnica efectiva, posibilitando la obtención de un producto para el consumo con cierto parecido al el mismo en estado fresco. Además, mediante su empleo se logra extender el tiempo de permanencia de la fruta en el mercado, lo que facilita un mayor aprovechamiento de las producciones principalmente durante la etapa poscosecha evitando picos de pérdidas por superproducción (Buestán *et al.*, 2005; Douglas, 2006).

Para el caso específico de las frutas, los métodos de conservación más recomendados son: el método de Deshidratación Osmótica (DO) y el método de Deshidratación por Flujo de Aire Caliente (DAC), mediante los cuales se obtienen productos de buena calidad y aceptación lográndose alcanzar períodos de conservación de hasta un año de duración, Aponte y Ayala, (2001) en mango; manzana: Barat *et al.*, (2001) en manzana; Nowakunda y Fito, (2004) en Banana; Barbosa y Vega, (2000) y Giraldo *et al.*, (2005) en piña.

La piña por su color atractivo y por sus excelentes propiedades nutricionales y medicinales; presenta una alta demanda en el mercado tanto nacional como internacional, sin embargo tiene el inconveniente de ser una fruta climatérica con picos de producción en una sola época del año, es por esta razón que su procesado a través de diferentes técnicas agroindustriales como la deshidratación como (método de conservación), se vislumbra como una práctica eficaz para su preservación.

La deshidratación osmótica es una técnica de remoción de agua en la cual el alimento a deshidratar es sumergido en una solución que hace posible la incorporación de componentes fisiológicamente activos, preservativos y saborizantes, (Panagiotou *et al.*, 1998). La cinética del proceso de deshidratación osmótica depende tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del jarabe (almíbar), que se utilice como solución osmótica, para la deshidratación de frutas, en este método se recomienda utilizar temperaturas entre (40–80) °C.

La deshidratación por flujo de aire caliente es una técnica que por medio del calor se elimina el agua que contienen algunos alimentos mediante la evaporación, lo que impide el crecimiento de algunas bacterias que no pueden vivir en medios secos. En el secado de frutas y vegetales mediante el empleo de aire caliente a altas temperaturas se afectan las propiedades sensoriales del producto y su valor nutricional según Vega y Fito (2005), por lo que la temperatura de secado es una variable a tener en cuenta

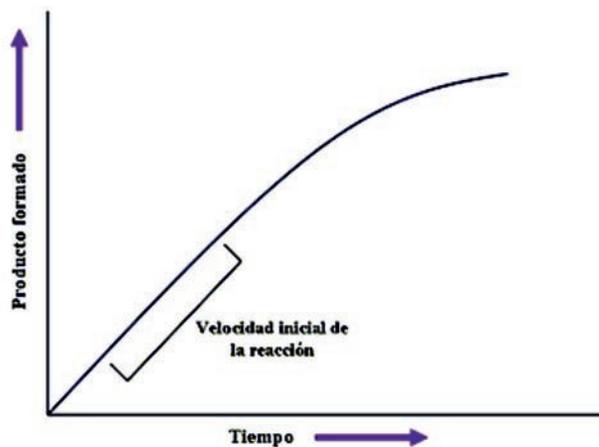
en los estudios cinéticos, pues aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo del proceso. La cinética del proceso de secado utilizando aire caliente depende tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del aire de secado, como son la humedad relativa ambiental, temperatura y velocidad del flujo de aire, por lo que para la deshidratación de frutas por este método se recomienda utilizar temperaturas entre (40–80 °C) con velocidades de aire de 2.0 ± 0.2 m/s.

Las investigaciones en la temática sobre el proceso DO y DAC para las frutas se encuentran muy relacionados con el proceso de conservación. La combinación de dos o más métodos y la utilización de tratamientos combinados donde se apliquen métodos para eliminar la humedad intermedia como la deshidratación osmótica con otros, han sido abordados por un grupo de autores: Pérez *et al.* (2003) en naranjas; Muñiz (2009) en fruta bomba; Fernández, (2011) en fruta bomba; Amato *et al.* (2011) en piña, manzana, papaya y fresas.

En Cuba, Muñiz (2009) y Fernández (2011) realizaron evaluaciones de la calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.) variedad Maradol roja como fruta fresca y deshidratada por DO y por DAC utilizando diferentes variables de temperatura y tiempo.

Es importante resaltar que se han encontrado muy pocas referencias que evidencien la aplicación de procesos tecnológicos de DO y DAC para la conservación de frutas (piña) en Cuba, y menos aún en la variedad Cayena Lisa obtenida en la provincia Mayabeque.

La cinética de deshidratación estudia la velocidad de reacción de las propiedades en los alimentos durante los procesos tecnológicos de deshidratación (Figura 1). En estudios de cinéticas, los parámetros cinéticos fundamentales que se evalúan son: la velocidad de reacción de las propiedades (la masa, porcentajede pérdida de peso y firmeza) durante el tiempo que tardan en completarse los procesos tecnológicos empleados, Eisenthal y Danson, (2002).



Fuente: Muñiz, 2012

FIGURA 1. Dependencia teórica del cambio de las propiedades durante el tiempo de deshidratación.

La determinación de los parámetros cinéticos de deshidratación, permiten describir el comportamiento de las propieda-

des de las frutas durante cada proceso así como, predecir la respuesta de las mismas frente a cambios en las condiciones, Briggs y Haldane, (1925). La temperatura utilizada, constituye un factor físico que puede modificar las reacciones que ocurren durante la cinética de deshidratación de frutas.

En Cuba, es hoy una necesidad impulsar el desarrollo de la Agroindustria como una nueva alternativa para la producción de alimentos, que constituye en estos momentos una de las líneas fundamentales establecidas en la política económica cubana. De ahí que la presente investigación se realiza en Mayabeque en el mes de marzo del año 2012. Teniendo como objetivo *analizar comparativamente la cinética de la deshidratación osmótica y por flujo aire caliente de la Piña (Ananas comosus., variedad Cayena lisa).*

MÉTODOS

Determinación de las principales propiedades físico mecánicas, químicas y organolépticas de la piña estado fresco y deshidratado

Para determinar las principales propiedades de la piña en estado fresco se utiliza la metodología propuesta por García, (2010), determinando: talla, masa, firmeza, pH y el contenido de sólidos solubles (SSC), mientras que para las deshidratadas se emplea la metodología propuesta por Muñiz, (2009), agregando a las propiedades anteriormente mencionadas la masa total empleada en el proceso (Mt) y la pérdida de peso (Pp) durante el mismo. El total de 20 frutas seleccionadas debidamente lavadas y secas se utiliza para la caracterización de la piña en cuanto a: apariencia, masa, talla, carencia de daños físicos, o mecánicos en su exterior, firmeza al tacto, y el estado de maduración para lo cual se utiliza la norma, (CODEX STAN 182 a-1993). Las frutas una vez cortadas en cubos se separan en 2 muestras A y B cada una con 550 g (75 cubos, aproximadamente) para ser utilizadas en los procesos de DO y DAC, respectivamente. Todos los datos obtenidos son procesados mediante la herramienta de Microsoft Excel 7.0 y el Software especializado para el análisis estadístico Statgraphics Plus 5.0.

Físico-mecánicas

Talla: se determina el diámetro ecuatorial en tres puntos equidistantes a 120° y el diámetro longitudinal medido desde la parte superior una vez retirada la corona hasta la base del fruto, dos mediciones en puntos equidistantes a 180°, en ambos casos se toman los valores medios, (García, 2010) calibrador pie de rey de 0 a 0,15 m ± 0.00005 m de precisión.

Masa: se determina colocando la fruta (pieza o trozo) en una balanza electrónica (LG - 1001ª de 0 a 1000 (g)/ 0.1 (g)) con un porcentaje de error de 0.001. Durante ambos procesos tecnológicos la masa será monitoreada a intervalos de 30 min a cubos de frutas seleccionadas aleatoriamente, se realizan tres mediciones y se promedian.

Masa total: A las frutas troceadas en cubos de 2 x 5 x 1 ± 0.02 cm (masa 550 g) utilizando cuchillo doméstico luego de conocer el valor de la masa de los cubos de forma individual,

posteriormente se determina la masa total de fruta que será llevada a cada proceso de deshidratación mediante la expresión siguiente:

$$M_t = \sum_{i=1}^n p1 + \dots + p^n \quad (1)$$

donde:

M_t - masa total de piña llevada al proceso de deshidratación, (g);

p - masa de una pieza de piña (g).

Firmeza: se determina la resistencia que ofrece la epidermis del fruto a la penetración de una punta de 6 mm de diámetro, con una velocidad de avance de 0,00016 m/s con el Durómetro digital, modelo CEMA-C08 a partir del principio Magness-Taylor. Se coloca la fruta sin quitar la cáscara sobre un soporte semicircular ubicado sobre la plataforma del durómetro digital para evitar el desplazamiento de la fruta durante las mediciones. Se realizan tres mediciones sobre el diámetro ecuatorial de la fruta, espaciadas a 120°, buscando que no caiga en las ranuras del exocarpio ni sobre los ojos, (García, 2010). La firmeza de los cubos se monitorea durante cada uno de los procesos retirando 5 cubos al azar a intervalos de 0,5 h hasta completar las tres primeras horas del proceso, luego cada una hora cuidando siempre que dicha prueba se realice una sola vez sobre cada cubo ubicado en posición horizontal.

Pérdida de peso: se determina a partir del monitoreo de la masa durante cada proceso a intervalos de 30 min, utilizando posteriormente la expresión:

$$Pp = \frac{\sum_{i=1}^n m_i - \sum_{i=1}^n m_f}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (2)$$

donde:

Pp – pérdida de peso, %;

m_i – masa de la pieza de piña antes de ser deshidratada, g;

m_f – masa de la pieza de piña después de ser deshidratada, g.

Químicas

pH: Se macera la fruta utilizando un mortero; en el caso de la fruta deshidratada se le agrega 5ml de agua destilada y con la ayuda de papel indicador universal, se sumerge este en el jugo obtenido, y se compara el cambio de color con una tabla suministrada en el paquete indicador, se identifica el color correspondiente y se anota el valor del pH.

SSC: La mezcla obtenida según el procedimiento explicado anteriormente se utiliza para la medición del contenido de sólidos solubles utilizando un refractómetro manual, modelo CARLZEISS de 0 a 30 ° Brix (0,05 precisión) previamente calibrado con agua destilada, después se limpia la superficie del prisma con un papel absorbente y esta operación se realiza para cada lectura, la medición de los °Brix se realiza con el jugo extraído colocando una gota del filtrado en el prisma del refractómetro y se obtiene la lectura.

La cinética de deshidratación de la piña se analiza a partir del comportamiento de propiedades como la masa, firmeza y el

porcentaje de pérdida de peso, durante los procesos tecnológicos de deshidratación, evaluando cada una de estas propiedades a intervalos de media hora hasta completar las tres horas de proceso y posteriormente cada una hora hasta completar los mismos, el producto se encuentra deshidratado cuando no se observe cambio de la masa durante la deshidratación de una medición a la otra, lo que generalmente ocurre según (Villaseñor, 2005), una vez que el producto deshidratado halla perdido entre el 60 y 65% de su peso para DO y entre 70 y 85% para el caso de la DAC. Todos los datos obtenidos durante ambos procesos de deshidratación son exportados hacia la herramienta de Microsoft Excel y posteriormente al software Statgraphics Plus 5.0 con el objetivo de obtener la relación entre las propiedades estudiadas y el tiempo de deshidratación, y determinar la dependencia entre estas variables a través del coeficiente de regresión, tipo de modelo ajustado y algunos de los estadígrafos principales (media, varianza, rangos y coeficiente de variación).

Metodología para la deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente de la piña (*Ananas Comosus*)

Deshidratación Osmótica

Los cubos de piña se someten a tratamiento de inmersión en: agua caliente a 95°C por 2 min y en leche de cal o hidróxido de calcio (2 g/L) a 50°C por 15 minutos a fin de mejorar la textura de los mismos, en una relación piña: hidróxido de 1:1. Pasados 15 minutos son retirados de la suspensión de cal y colocados durante otros 15 minutos en un recipiente con solución de 2% de ácido cítrico (relación 1:1), para así ajustar el pH de la piña y contribuir a un mejoramiento del sabor final del producto.

Posteriormente, se colocan en un recipiente para ser tratadas osmóticamente, a temperaturas de 60°C por 6 horas. Como solución osmótica se utiliza un jarabe de azúcar de 50°Brix con una relación piña: almíbar de 1:3, hasta alcanzar un tiempo de 4 horas. Posteriormente se enjuagan los cubos de piña en agua a 70°C por 3 segundos para remover el exceso de jarabe, se pasan por un recipiente con jarabe a 50°Brix con bisulfito de sodio (relación 1:1), por 15 minutos y se colocan nuevamente en bandejas para ser sometidas a un tratamiento de secado en la estufa modelo Memmeet 0-800°C, temperatura del aire a 60°C durante un tiempo de 4 horas con velocidades de flujo de aire de 2.0, la separación entre cubos debe ser de 1.5-2 cm. Las propiedades físico mecánicas son monitoreadas durante el proceso como se explicó con anterioridad, y posteriormente el producto deshidratado se almacena en bolsas de polietileno de mediana densidad (15 X 15 cm), se sellan al vacío y se almacenan a temperatura ambiente.

Deshidratación por flujo de aire caliente

Para llevar a cabo la DAC al igual que como se explicó para la DO a las frutas troceadas en cubos de 2 x 5 x 1 ±0.02 cm (550 g), son distribuidas en bandejas (75 cubos x bandeja), distancia entre cubos (trozos) de 1.5 - 2 cm aproximadamente, temperatura 60°C por 6 h con una velocidad de flujo de aire de 2.0 ± 0.2 m s⁻¹, se utiliza una estufa eléctrica con pantalla digital modelo Memmet con rangos de temperatura desde 0- 800°C,

velocidad del aire regulable de 1- 3,5m/s. Las propiedades físico mecánicas son monitoreadas durante el proceso como se explicó con anterioridad, y posteriormente el producto deshidratado se almacena en bolsas de polietileno de mediana densidad (15 X 15 cm), se sellan al vacío y se almacenan a temperatura ambiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los frutos de piña (*Ananas Comosus*, Variedad Cayena Lisa) fueron recolectados (20) en la Empresa Integral de cultivos varios Ho Chi Minh ubicada en el noreste de Mayabeque en la llanura Habana-Matanzas, la misma presenta una temperatura media anual de 25-32°C, un régimen regular de precipitaciones, con humedad relativa de 78%, plantación de cuatro años, en un suelo ferralítico rojo con buen drenaje, y pH que oscila entre 5,8-6,5. Los frutos se cosecharon en la primera semana de marzo del 2012, de forma manual, aleatoriamente en horas tempranas de la mañana por el grupo de trabajo, se basaron en los siguientes criterios según la norma de la FAO-182, 1993 ajustada a la norma USDA, 2008: fisiológicamente maduros, color verde intenso, considerando una uniformidad según su diámetro ecuatorial de 0,13 ± 0,5 mm, se transportaron a temperatura ambiente durante 45 minutos al laboratorio de calidad de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), todas las frutas fueron lavadas, secadas, pesadas y enumeradas. Los experimentos fueron realizados en el laboratorio de Química de la Facultad de Agronomía y en el laboratorio de Calidad de la Facultad de Ciencias Técnicas ambos de la UNAH.

Resultados de la determinación de las principales propiedades físico-mecánicas químicas y organolépticas de la piña entera y deshidratada

Algunas de las principales propiedades de la fruta entera y cortada se muestran en la Tabla 1. Donde en el caso de la fruta entera los valores medios de masa y talla son de 9,27 g y 16 cm, mientras que para la fruta cortada (cubos) estos son de 7.67g y 2x5x1±0.02 cm, respectivamente. Los datos de pH y SSC son similares en ambos casos (fruta entera y cortada en cubos) presentando valores de 4,04 y 14 °Brix, respectivamente. Los valores de firmeza sufrieron una variación del 77,4% de la fruta entera a la troceada como consecuencia de la resistencia que le aporta la piel al fruto.

TABLA 1. Propiedades de la fruta entera y cortada (cubos)

Fruta	Masa (g)	Talla (cm)	Firmeza (kgf/cm ²)	pH	SSC (°Brix)
entera	927	16	6,26	4,04	14
cubos	7,67	2x5x1±0,02	1,27	4,04	14

Para el caso de los cubos de piña deshidratadas, ver (Tabla 2) el valor medio de masa y talla fue de 2,75 g y de 0,9 x 4,8 ±0.2 cm para el caso de la DO y de 0,89 g y 0,8x4,3±0.2 cm por lo que el 64,32% de la masa inicial de la piña troceada fue perdida durante la obtención del producto deshidratado osmóticamente y un 88% para el producto por DAC, coincidiendo dichos resultados con los obtenidos por Aponte y Ayala, (2001)

y Chavarro *et al.* (2006), mientras que el valor de firmeza en el producto final disminuyó en 17,3% de la DAC a la DO.

Tanto en la masa y la talla de ambos procesos tecnológicos se observa un aumento en la DO ya que durante la osmosis ocurre un intercambio de solutos desde el alimento hacia la solución y viceversa, que produce la cristalización del azúcar, en el interior de la fruta en el cual el soluto no logra salir completamente, en la DAC se produce una disminución constante de dicho parámetro, (Tabla 2).

En el caso de la firmeza para ambos métodos aumenta como consecuencia de la importante salida de agua que sufre el producto durante todo el proceso de deshidratación, la misma

varía en 23,8% al aplicar la DO y un 49,6% al emplear la DAC, lo cual se debe a que esta fruta se caracteriza por presentar una masa fibrosa que produce un endurecimiento más representativo en el caso de donde se realiza solamente a la DAC, que durante la DO donde previamente se produce un breve periodo de cocción por la inmersión de la fruta en el jarabe. Dicha propiedad no se comporta de forma similar en el caso de la fruta bomba, según los resultados obtenidos por Muñiz, (2009) y Fernández, (2011) luego de aplicar ambos métodos DO y DAC, donde dicha propiedad varió significativamente al emplear la DO debido a la cristalización de los azúcares en la superficie del producto.

TABLA 2. Propiedades de los cubos de piña antes y después de deshidratadas mediante DO y DAC

Estado de la fruta	Masa Total (g)	Masa (g)	Talla de los cubos (cm)	Firmeza (kgf/cm ²)	pH	SSC (%)	Pérdida de peso (%)
Antes D.O	550	7,67	2x5x1±0.02	1,47	4,6	4	-
Después DO	350	2,75	1,9x4,8x0,9±0.02	1,82	-	-	64,32
Antes D.A.C	550	7,67	2x5x1±0.02	1,47	4,6	4	-
Después de DAC	300	0,89	1,8x4,3x0,8±0.02	2,20	-	-	88,34

Resultados de la evaluación y análisis de la cinética de deshidratación en la DO y DAC en función del cambio de las propiedades con respecto al tiempo de deshidratación

Los principales resultados de la comparación de las propiedades de la fruta: masa, firmeza y pérdida de peso (Pp) por ambos métodos DO y DAC estudiados en el tiempo que tardan en completarse los mismos, aparecen reflejados en las (Figuras 2, 3 y 4). En ambos métodos la masa decrece al aumentar el tiempo del proceso, pero para el caso de la DO, este método atraviesa por una primera etapa de osmosis donde ocurre un intercambio de solutos entre la solución y el alimento, y es justo ahí cuando la masa de la fruta comienza a experimentar un ligero aumento ya que la velocidad de entrada del soluto durante las primeras 2 horas es superior a la de salida del agua, hasta que se estabiliza el proceso y comienza entonces la deshidratación. Posteriormente en la etapa de secado por aire caliente se estabiliza el ritmo en el decrecimiento de dicha propiedad describiendo un pendiente prácticamente constante en las últimas 5 h.

En el caso de la DAC como se refleja en la Figura 2, la masa siempre tiende a disminuir experimentando la mayor pérdida en el transcurso de las 4 primeras horas del proceso, por lo que es en ese intervalo de tiempo donde el secado tiene mayor incidencia sobre la fruta, coincidiendo además con resultados obtenidos por Zapata *et al.* (2002) quienes argumentan que en ese el intervalo de tiempo es donde ocurre la mayor pérdida de masa en la fruta deshidratada por este método. Posteriormente comienza a experimentar la fruta una tendencia a mantener su

peso constante o prácticamente invariable.

En ambos procesos se aprecia una alta dependencia entre la propiedad estudiada y el tiempo con valores de R² que superan a 0,97, ajustandose en el caso de la DAC a un modelo polinómico dada por la expresión $y = 0,282x^2 - 3,046x + 9,107$, mientras que en la DO dicha relación se ajusta a un modelo lineal inverso con ecuación $y = -0,571x + 8,032$.

La firmeza como propiedad al aplicar ambos métodos aumenta. Como se puede apreciar en la Figura 3 ocurre un incremento más estable al emplear la DAC que la DO debido a las características de este último donde el producto a deshidratar pasa por varias etapas incluyendo la cocción por la inmersión en jarabe que el mismo provoca el ablandamiento de los tejidos de la fruta, y consecuentemente en el secado por aire caliente se produce un incremento de la misma.

En el proceso DAC la firmeza como se puede observar que durante las primeras 4 horas del proceso los cubos experimentan un aumento parcial de sus valores como consecuencia de la pérdida de agua de la fruta por evaporación y el aumento del contenido de masa seca, lo que provoca a su vez, un endurecimiento de la corteza superficial de la misma, alcanzando un valor de firmeza de 2,20 kgf/cm², lo que coincide con lo planteado por Lazarides (2001), el cual refiere que el producto deshidratado presenta una dureza superficial de la corteza que puede apreciarse durante el proceso de masticación del mismo.

En el caso del proceso de DO la fase de osmosis facilita la entrada de soluto desde la solución hacia el alimento y viceversa es por ello que en primera instancia se refleja una ligera disminución de la firmeza, seguidamente al aplicar el secado

por aire caliente la variación se expresa con una pendiente que muestra un incremento constante a diferencia de lo ocurrido al analizar la masa. En la DAC la firmeza aumenta constantemente a diferencia de los resultados obtenidos por Muñiz, (2009) y Fernández (2011), en fruta bomba, los valores finales de esta propiedad para la piña deshidratadas por DAC son superiores en 17,3% a los obtenidos por DO, provocado en gran medida por las características fibrosas del tejido de la piña que si sufren un ablandamiento al aplicar la DO. El incremento de la firmeza ocurrido durante la DO aunque menos significativo como se

explicó anteriormente es debido a la cristalización de los azúcares que forma parte de la solución osmótica utilizada como jarabe coincidiendo con los resultados obtenidos por Aponte y Ayala, (2001) y Pérez *et al.* (2005). En ambos procesos se manifiesta una alta dependencia entre la propiedad estudiada y el tiempo con valores de R² que superan el 0,89, en el caso de la DAC dichas propiedades manifiestan una relación polinómica dada por la expresión $y = -0,284x^2 + 8,884x - 6,024$, mientras que en la DO dicha relación se ajusta a un modelo polinómico con ecuación $y = -0,284x^2 + 8,884x - 6,024$.

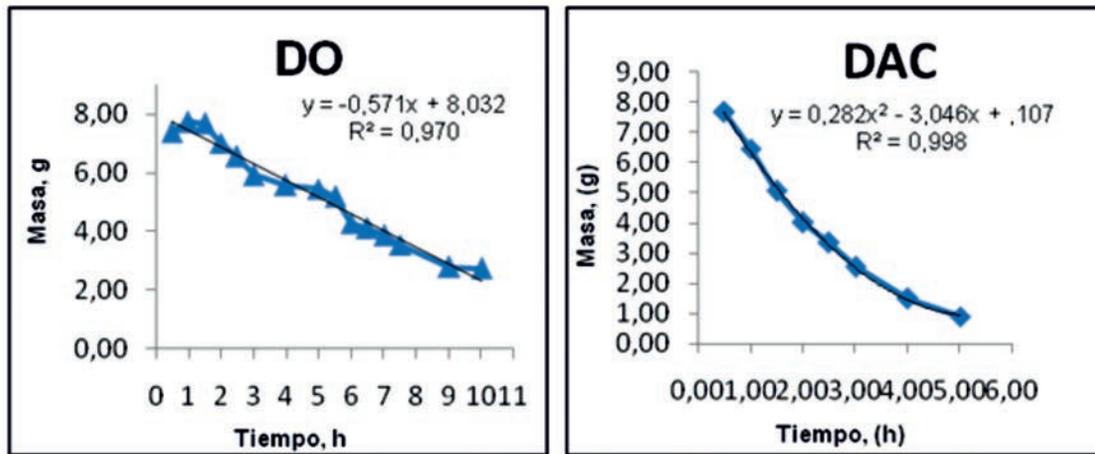


FIGURA 2. Comportamiento de la masa de la piña (trozos) durante los procesos de DO y DAC.

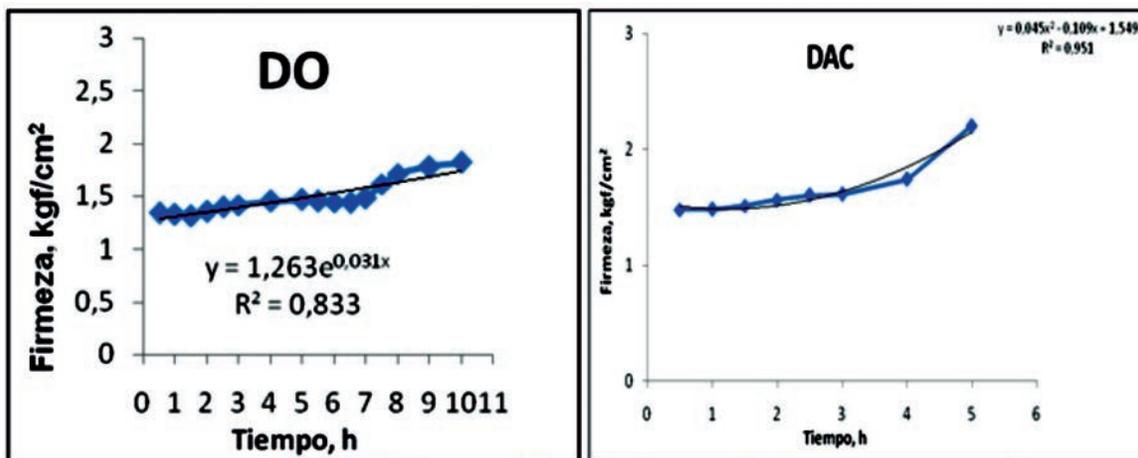


FIGURA 3. Comportamiento de la firmeza de la piña (trozos) durante los procesos de DO y DAC.

La pérdida de peso para el caso de la DO (Figura 4), durante la fase osmosis experimenta un incremento negativo, lo que es una consecuencia natural de esta propiedad por las características previamente explicadas del proceso de Osmosis, donde ocurre una salida importante de agua desde el producto hacia la solución, pero a su vez una entrada de soluto desde la solución hacia el alimento.

En el caso de la DAC como se aprecia en la Figura 3 el comportamiento de dicha propiedad refleja que en las primeras 4 horas la fruta presenta sus valores más significativos, hasta disminuir un 88% de su peso inicial. Los resultados obtenidos

se corresponden con los reportados por Zapata, *et al.*, (2002). Para el caso específico de la pérdida de peso en el proceso de DO se puede apreciar que esta propiedad toma valores negativos, lo que significa que lejos de perder peso, durante el proceso de osmosis ganó peso levemente debido a la incorporación de solutos mediante el jarabe utilizado como solución osmótica hasta retomar valores acentuados de pérdida de peso hasta llegar al punto de que su pesose mantiene casi constante, siendo lo contrario a la DAC que toma valores de pérdida de peso hasta que logra la estabilidad en su peso es decir, se mantiene casi constante.

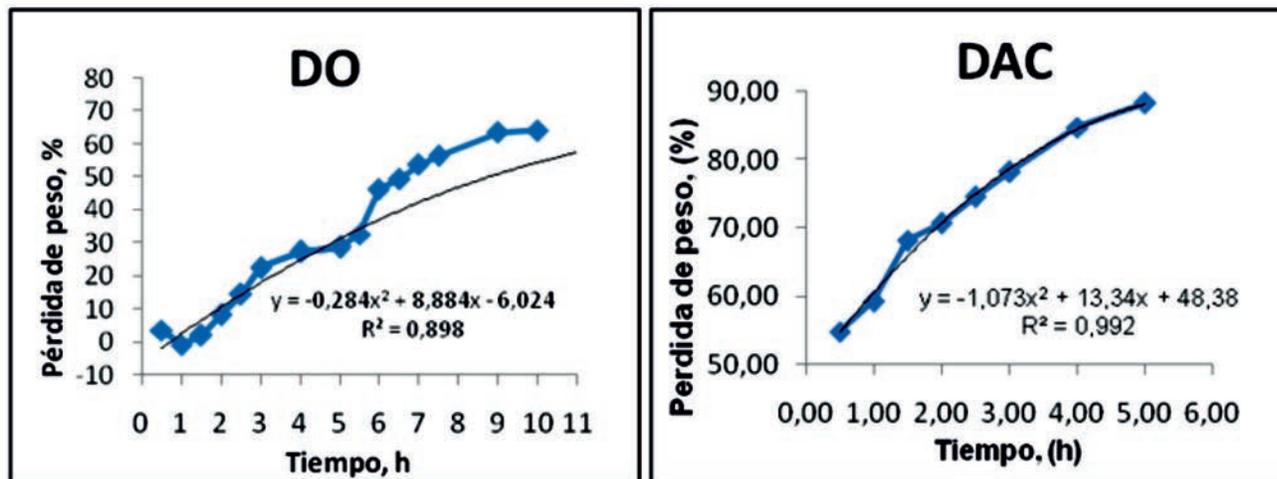


FIGURA 4. Comportamiento de la pérdida de peso de la piña (trozos) durante los procesos de DO y DAC.

En ambos procesos se manifiesta una alta dependencia entre la propiedad estudiada y el tiempo con valores de R^2 que superan el 0,96, en el caso de la DAC dichas propiedades manifiestan una relación polinómica dada por la expresión $y = 0,045x^2 - 0,109x + 1,549$, mientras que en la DO dicha relación se ajusta a un modelo exponencial con ecuación $y = 1,263e^{0,031x}$.

El resultado del análisis estadístico unidimensional realizado según las propiedades analizadas para cada método se muestra en la Tabla 3 donde es posible apreciar la media, varianza, los rangos y coeficientes de variación como los principales estadígrafos que caracterizan la variabilidad de cada una de las propiedades estudiadas como respuesta característica de la cinética de deshidratación de la fruta objeto de estudio (piña). Analizando puntualmente las propiedades por ambos métodos se puede apreciar que la masa y la pérdida de peso varían en el

proceso de DO (49,4% y 64,17%, en 10 horas) mientras que en la DAC (80% y 88,34%, en 5 horas) respectivamente, lo que permite afirmar que durante el proceso de DAC la variabilidad de estas propiedades ocurre de una forma más brusca y severa, fenómeno que tiende a afectar la integridad molecular del producto que es en definitiva un aspecto evaluador de la calidad del proceso, ya que conllevaría a que el producto deshidratado se aleje de mantener la similitud con respecto al producto en estado fresco. No ocurre así en el caso de la firmeza donde en el proceso por DO varía en un 86% con respecto al valor inicial de esa propiedad, mientras que en la DAC de un 80% debido a que en el proceso de DO en un primer momento de osmosis ocurre un ablandamiento de la capa superficial de la fruta y luego en el secado ocurre la cristalización y el endurecimiento de la superficie de la misma, lo que a su vez provoca que sobrepase los valores de firmeza obtenidos para el producto final deshidratado por el método DAC.

TABLA 3. Estadígrafos principales obtenidos por propiedad para los métodos de DO y DAC

Estadígrafo	DO			DAC		
	Masa (g)	Pp. (%)	Firmeza (kgf/cm ²)	Masa (g)	Pp. (%)	Firmeza (kgf/cm ²)
Media	5,77263	32,3338	1,52824	2,1575	72,161	1,62875
Varianza	3,73817	513,646	0,0306154	0,866727	132,603	0,0658982
Desviación típica	1,93344	22,6638	0,174973	0,930982	11,5154	0,256706
Mínimo	2,03	-0,86	1,26	0,63	54,811	1,36
Máximo	8,05	64,17	1,85	7,67	88,3442	2,2
Rango	6,69	65,03	0,59	4,07	33,5332	0,84
Asimetría tipificada	-0,956662	-0,183742	0,907401	1,11323	-0,155957	2,09786
Curtosis tipificada	-2,238	-1,14052	-0,710256	0,237108	-0,439104	2,31678
Coef. de variación	33,4932%	70,0932%	11,4493%	43,1509%	15,9579%	15,761%

Los valores descritos anteriormente corroboran a partir del análisis del coeficiente de variación y de la varianza una menor variabilidad alrededor de los valores obtenidos de cada muestra en cada observación para la firmeza, luego la masa y por último en el % de pérdida de peso, situación que se manifiesta de igual manera en ambos procesos. Interesante y necesario resulta además un estudio de los procesos tecnológicos y de la cinética de deshidratación a partir de

la variación de las mismas propiedades con respecto a diferentes temperaturas.

CONCLUSIONES

- La piña (variedad Cayena Lisa) como fruta fresca presenta masa 927 g; talla 16 cm; resistencia a la penetración (firmeza) de 6,26 kgf/cm²; SSC de 14% y pH de 4,04; la cual fue

cortada en trozos con masa 7,67 g; talla 2x5x1± 0.2 cm y firmeza de 1,47 kgf/cm² (sin cáscara).

- La variabilidad alcanzada a partir de la diferencia entre los valores iniciales y finales de la masa, firmeza y el aumento del porcentaje de pérdida de peso fue inferior para la fruta sometida al proceso tecnológico de DO con valores de 49,4; 86 y 64,17%, que para la obtenida por DAC con valores 80; 88,3; y 80%, respectivamente.
- Los valores obtenidos de masa, firmeza y el porcentaje de pérdida de peso mostraron en ambos procesos una alta dependencia con respecto al tiempo de deshidratación dado por coeficientes de correlación superiores todos a 0,83.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMATO, A., E. ARRIAZA., R. BAGUR. y A. CASTILLO: *Práctica de Laboratorio No. 4: Deshidratación osmótica y tecnología de barreras*, Fecha de realización de la práctica: 8 y 15 de febrero de 2011. Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de ingeniería, Guatemala, 2011.
2. APONTE, A. y A. AYALA: *Aplicación de la deshidratación osmótica e impregnación a vacío en la ciprotección de mango*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, España, 2001.
3. BARAT, J. M.; A. CHIRALT & P. FITO: "Effect of Osmotic Solution Concentration, Temperature and Vacuum Impregnation Pretreatment on Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Slices", *Food Science Technology*, 7(5): 451-456, 2001.
4. BARBOSA, G. y H. VEGA. *Deshidratación de alimentos*, 297pp., Zaragoza (España): Acriba, 2000.
5. BRIGGS, G. & J. HALDANE: "A Note on the Kinetics of Enzyme Action", *Biochem J.*, 19(2): 338-339. 1925.
6. BUESTÁN., C, E. CORNEJO, y F LÓPEZ. *Influencia de pre tratamientos convencionales en el proceso de secado de piña y en las características físicas del producto final*, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica Litoral, Campus Gustavo Galindo km 30,5; Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador, 2005.
7. CHAVARRO, C., OCHOA M. y A. OPONTE. "Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (Carica papaya L., var. Maradol)", *Ciencia y Tecnología de los alimentos*, 26(3): 596-603, 2006.
8. DOUGLAS, R: *Efecto del secado solar en los contenidos de humedad, carbohidratos, carotenoides totales e índice de peróxidos del mesocarpio de la Palma Coroba (Atarea Spp.)*, Universidad Simón Rodríguez (USR), Venezuela, 2006.
9. EISENTHAL, R. & Y M. J. DANSON: *Enzyme Assays: A Practical Approach*. Oxford University Press, ISBN 0-19-963820-9, England, 2002.
10. FAO: *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas*. Serie tecnológica poscosecha No. 5. www.fao.org., Roma, 1968.
11. FAO: *Normas para piña, estado fresco, variedades comerciales (CODEX STAN 182 a- 1993)*, FAO-Roma, Consulta 17 de Mayo de 2010.
12. FERNÁNDEZ, R.: *Evaluación de las principales propiedades de calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.), variedad Maradol roja deshidratada a través de los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Mecanización Agropecuaria)*, Facultad de Mecanización Agropecuaria, UNAH, Mayabeque, Cuba, 2011.
13. GARCÍA, Y.: *Evaluación de la calidad de la Piña Variedad Cayena Lisa, cosechada en el Municipio Jaruco, Tesis (en opción al título de Master en Mecanización Agrícola)*, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2010.
14. GIRALDO, G., C. DUQUE y C. GARCÍA: "Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (Mangifera indica) var. Kent", *Medellín* 12(2), 2005.
15. LASKOWSKI, I., N. JANUSZ & G. LYSIAK.. Use of compression behavior of legume seeds, USA, 1999
16. LAZARIDES, H.N.: *Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables*, pp. 33-42, En: FITO, Pedro *et al.*, ed. Osmotic dehydration and vacuum impregnation: applications in food industries, USA: Technomic Publishing, 2001.
17. MUÑIZ, S.: *Evaluación de la calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.) variedad Maradol roja como fruta fresca y después de ser sometida a procesos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero en Mecanización de la Producción Agropecuaria)*, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2009.
18. MUÑIZ, S.: *Influencia de la temperatura y velocidad de aire durante el secado convectivo de fruta bomba (variedad Maradol Roja) usando osmosis y escaldado simple como pretratamientos. Tesis (en opción al título de Master en Mecanización Agrícola)*, Universidad Agraria de La Habana, Mayabeque, Cuba, 2012.
19. NOWAKUNDA, A. & P. FITO: Osmotic dehydration of banana slices as a pretreatment for drying processes. In: **The International Drying Symposium** (14: 2004: São Paulo, Brazil), pp. 2077-2083, São Paulo, Brazil, 2004.
20. PANAGIOTOU, N.M., V.T. KARATHANOS & Z.B. MAROULIS: "Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits", *Drying Technology*, 17: 175-189. 1998.
21. PÉREZ, M., C.J. CARDOZO y H.J. CIRO: *Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (Carica papaya l.) en cuatro agentes edulcorantes*, Ed. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia, 2005.
22. VEGA, A., y P. FITO: "Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (Capsicum annum L.) cv Lamuyo", *Revista Información Tecnológica*, 16(6), 2005.
23. VILLASEÑOR, P. C.: *Análisis físico y mecánico de frutos de melón, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias)*, Colegio de Posgraduados, Texcoco, México, 2005.
24. YIRAT, M.; A. GARCÍA; A. HERNÁNDES; A. CALDERÍN y N. CAMACHO: "Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 70-73, 2009.
25. ZAPATA, J. L. CARVAJAL y N. OSPINA: "Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas", *Universidad Nacional de Colombia, Interciencia*, 27(5), 2002.