

APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE SECADO COMBINADO PARA LA OBTENCIÓN DE PORCIONES DE COCONA (*Solanum sessilifurum* Dunal) DE ALTA CALIDAD.

C. Agudelo, M. Igual, P. Talens, N. Martínez-Navarrete

Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria (CUINA). Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022. Valencia.

RESUMEN

Se ha estudiado el efecto de la aplicación de un método combinado de deshidratación osmótica y secado por aire caliente (DO+SAC) sobre la cinética de secado y algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales de porciones de cocona (*Solanum sessilifurum* Dunal) deshidratadas. La aplicación del tratamiento de secado combinado dio lugar a un producto con una humedad $x_w = 0.055 \pm 0.005$ g_{agua}/g_{producto} en un tiempo de 3.5 horas de secado. Este tratamiento ocasionó una disminución significativa ($p < 0.05$) de los diferentes compuestos bioactivos, aunque la actividad antioxidante de las muestras se mantuvo estable con respecto al fruto fresco. Así mismo el secado le confirió un carácter crujiente a las muestras y conllevó una disminución de la luminosidad y modificaciones en el tono y el croma con cambios de color de ± 15 unidades con respecto al producto fresco. También fue estudiado el comportamiento frente a la sorción de agua (20°C) y la relación entre la actividad del agua y la transición vítrea. La modelización conjunta de los datos permitió construir el diagrama de estado del producto a 20°C, identificándose el contenido de humedad crítico (CWC = 3.24 g de agua/ 100 g producto) y la actividad del agua crítica (CWA = 0.1687) para la transición vítrea. No obstante, el estudio realizado en relación con el efecto de la humedad relativa de almacenamiento sobre los cambios de color, las propiedades mecánicas y los compuestos funcionales de las rodajas deshidratadas permite concluir que el producto no se ve afectado por este factor mientras se mantenga almacenado a una humedad relativa inferior al 33 %.

PALABRAS CLAVE: cocona deshidratada, ácidos orgánicos, fenoles, carotenoides, isoterma de sorción, transición vítrea, color, propiedades mecánicas.

RESUM

S'ha estudiat l'efecte de l'aplicació d'un mètode combinat de deshidratació osmòtica i assecat per aire calent (DO+SAC) sobre la cinètica d'assecatge i algunes propietats fisicoquímiques i funcionals de porcions de cocona (*Solanum sessilifurum* Dunal) deshidratades. L'aplicació del tractament d'assecat combinat va donar lloc a un producte amb una humitat

$x_w = 0.055 \pm 0.005 \text{ g}_{\text{d'aigua}}/\text{g}_{\text{producte}}$ en un temps de 3.5 hores d'assecat. Aquest tractament va ocasionar una disminució significativa ($p < 0.05$) dels diferents compostos bioactius, encara que l'activitat antioxidant de les mostres es va mantenir estable respecte al fruit fresc. Així mateix l'assecat li va conferir un caràcter cruixent a les mostres i va comportar una disminució de la lluminositat i modificacions en el tò i el cromà amb canvis de color de ± 15 unitats respecte al producte fresc. També va ser estudiat el comportament davant la sorció d'aigua (20°C) i la relació entre l'activitat d'aigua i la transició vítria. La modelització conjunta de les dades va permetre construir el diagrama d'estat del producte a 20°C , identificant el contingut d'humitat crític ($\text{CWC} = 3.24 \text{ g}_{\text{d'aigua}}/100\text{g}_{\text{producte}}$) i l'activitat d'aigua crítica ($\text{CWA} = 0.1687$) per a la transició vítria. Tanmateix, l'estudi realitzat en relació amb l'efecte de la humitat relativa d'emmagatzematge sobre els canvis de color, les propietats mecàniques i els grups funcionals de les rodanxes deshidratades permet concloure que el producte no es veu afectat per aquest factor mentre es mantingui emmagatzemat a una humitat relativa inferior al 33%.

PARAULES CLAU: cocona deshidratada, àcids orgànics, fenols, carotenoides, isoterma de sorció, transició vítria, color, propietats mecàniques.

ABSTRACT

The effect of osmotic dehydration and hot air drying (OD+HAD) on the drying kinetics and on the some physicochemical and functional properties of dried cocona slices (*Solanum sessiliflorum* Dunal) have been studied. Applying the combined drying treatment resulted in a product with a moisture $x_w = 0.055 \pm 0.005 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{product}}$ in a time of 3.5 hours of drying. This treatment caused a significant decrease ($p < 0.05$) of different bioactive compounds, although the antioxidant activity of the samples remained stable compared to fresh fruit. Also drying conferred crispness to the samples and brought about a reduction in luminosity and changes in tone and chroma color changing 15 units compared to fresh produce. Was also studied the behavior against the sorption of water (20°C) and the relationship between the water activity and the glass transition. The modeling of the data allowed the construction of the state diagram at 20°C by determining the critical moisture content ($\text{CWC} = 3.24 \text{ g}_{\text{water}}/100\text{g}_{\text{product}}$) and critical water activity ($\text{CWA} = 0.1687$) for the glass transition. However, the study in relation to the effect of relative humidity on storage changes color, mechanical properties and functional compounds of dehydrated slices to conclude that the product is not affected by this factor while maintaining a lower level of 33%.

KEY WORDS: Dehydrated cocona, organic acids, phenols, carotenoids, sorption isotherm, glass transition, color, mechanical properties

INTRODUCCIÓN

Solanum sessiliflorum Dunal, conocido comúnmente como cocona o topiro, es una especie nativa de América tropical distribuida alrededor de la cuenca amazónica de Brasil, Colombia, Perú, Ecuador y Venezuela (Pereira Da Silva *et al.*, 2011).

La cocona se considera una fruta exótica y nutritiva, muy variable en cuanto a forma, tamaño, peso y composición nutricional. Algunos autores han estudiado la composición química y nutricional de diversas poblaciones existentes de cocona (Silva Filho *et al.*, 2005; Quijano y Pino, 2006; Díaz y Cancino, 2007; Yuyama *et al.*, 2007; Murillo *et al.*, 2010; Torres, 2010; Paredes, 2010; Contreras-Calderón *et al.*, 2011; Cardona, 2011). En general es una fruta con una humedad elevada ($\approx 90\%$) y una baja concentración de lípidos ($\approx 1\%$), carbohidratos ($\approx 6\%$) y proteínas ($\approx 0.5\%$). Además, se destaca la presencia, en concentraciones muy variables dependiendo del ecotipo, de fitoquímicos importantes como los ácidos cítrico, málico o ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos, los cuales determinan su actividad antioxidante, con potenciales efectos benéficos para la salud (Cardona, 2011).

Gracias a sus propiedades sensoriales, nutritivas y funcionales, la cocona presenta un alto potencial para el desarrollo de nuevos productos (Cardona, 2011). No obstante su industrialización está limitada a la elaboración de ciertos alimentos tradicionales tales como zumos, dulces, mermeladas, compotas, salsas y ensaladas, debido, principalmente, a que su cultivo aún no se encuentra tecnificado, además de su baja relación °Brix/acidez que limita su consumo en fresco y que, por tanto, impide el aprovechamiento de todas sus propiedades. En este sentido es necesario evaluar métodos alternativos para su transformación que garanticen no solo su conservación en el tiempo, sino la estabilidad de sus componentes.

La deshidratación es una de las técnicas más aplicadas en la conservación de frutas y verduras para la estabilización y aumento de la vida útil de los productos agroalimentarios (Bennet *et al.*, 2001; Torreggiani y Bertolo, 2001). Una de las técnicas de deshidratación comúnmente utilizadas en productos agroalimentarios, es el secado por aire caliente (SAC) (Krokida *et al.*, 2003). Bajo esta técnica se da simultáneamente una transferencia de masa y de calor (Nguyen y Price, 2007). El SAC ofrece productos deshidratados que pueden tener una vida útil prolongada durante años, pero, desafortunadamente, las altas temperaturas aplicadas durante largos tiempos de proceso reducen drásticamente la calidad del producto final en comparación con el original (Ratti, 2001). En este sentido, el empleo de métodos combinados podría presentar beneficios. Uno de los métodos combinados que ha sido investigado por algunos autores para la obtención de frutas deshidratadas, es la aplicación de la deshidratación osmótica (DO) como pre-tratamiento al secado por aire caliente (Contreras *et al.*, 2006; García *et al.*, 2007; Rózek *et al.*, 2010; Igual *et al.*, 2011). Este método permite obtener alimentos parcialmente deshidratados de alta humedad o de humedad intermedia más estables que el producto fresco, además permite obtener fruta deshidratada de gran calidad, minimizando el daño por calor,

reduciendo los cambios de color del producto final sin necesidad de aditivos, y aumentando la retención de volátiles y pigmentos (Krokida *et al.*, 2000)

Las condiciones en las que normalmente se llevan a cabo los procesos de deshidratación de frutas, pueden llevar al material a un estado amorfo, muy sensible a cambios en la temperatura y en el contenido en agua. La matriz amorfa puede existir bien en estado vítreo, de gran estabilidad dada la baja movilidad molecular, o bien en un estado gomoso. El cambio de estado vítreo-gomoso tiene lugar a la llamada temperatura de transición vítrea (T_g), la cual ha sido identificada como un factor crítico para predecir la calidad de los alimentos durante el procesado y el almacenamiento (Khalloufi *et al.*, 2000). En productos secos la transición de vítreo a gomoso puede ocurrir por aumento de la temperatura por encima de la T_g , o bien por un aumento en la a_w (Roos y Karel, 1991). El estudio conjunto de la depresión causada en la T_g por aumento de la humedad del producto (diagrama de estado), junto con el comportamiento del producto frente a la sorción de agua (isoterma de sorción de agua), proporciona una herramienta útil que permite predecir la estabilidad de los alimentos a diferentes condiciones de procesado y almacenamiento. A partir de esta herramienta puede conocerse el contenido de agua y de actividad del agua críticas (CWC y CWA, respectivamente) que delimitan la transición vítreo-gomoso a cualquier temperatura y, por tanto, la humedad relativa ambiente límite de almacenamiento del producto a esa temperatura para conservar sus propiedades nutritivas, sensoriales y funcionales.

El objetivo del presente estudio ha sido evaluar la aplicación de un método combinado de DO+SAC para la obtención de cocona deshidratada de alto valor sensorial, nutritivo y funcional y estable durante el almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

La cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) utilizada en este estudio fue obtenida del Centro de Investigaciones Biológicas y Producción Agroforestal (CIPAF) de la Universidad Tecnológica del Chocó (Colombia). La fruta fue pelada y cortada en mitades de rodajas de 5 mm de espesor. Se empleó sacarosa de grado comercial y agua para preparar una solución osmótica de 55°Brix con la que se efectuó la deshidratación osmótica de las mitades de rodajas de cocona.

Cinética de secado

Se partió de mitades de rodajas de cocona deshidratadas osmóticamente hasta un nivel de humedad del 75%. El tiempo de proceso (48 min a 20°C) fue calculado a partir del dato de la difusividad efectiva del agua, D_e ($2.9 \cdot 10^{-10}$ m²/s) (error estándar $0.4 \cdot 10^{-10}$), en las condiciones en que se hizo la DO, determinada en una experiencia previa (datos no mostrados). Se realizó un

estudio cinético del secado por aire caliente de las muestras pretratadas por DO en un secador de bandejas perforadas (Back to Basics FD-600) a 60°C, con una velocidad del aire de 1.6 m.s⁻¹. Las muestras obtenidas se denominaron DO+SAC. De estas muestras, se controló la variación de peso total (ΔM) a los 0, 30, 60, 120, 180, 240 y 300 minutos. Además se midieron las dimensiones características de las piezas de cocona (diámetro y espesor) para determinar el porcentaje de encogimiento de las mitades de rodaja a partir de la variación del espesor de la rodaja, de su área (asemejando la superficie de la mitad de la rodaja de cocona a un semicírculo) y de su volumen (cuerpo volumétrico en base semicircular de altura igual al espesor de la muestra).

Isotermas de sorción de agua

Las mitades de rodajas deshidratadas fueron introducidas, por triplicado, en cámaras herméticas, a 20°C, que contenían disoluciones salinas saturadas (LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg(NO₃)₂) correspondientes a ambientes con humedades relativas entre 11 y 52% (Greenspan, 1977). Periódicamente se controló el peso de las muestras hasta obtener un valor constante, momento en que se asumió que las muestras habían alcanzado el equilibrio termodinámico con el ambiente, siendo, por tanto, su a_w igual a la humedad relativa de la cámara/100 (Greenspan, 1977, Spiess y Wolf, 1983). En ese momento se determinó el contenido en agua de cada muestra y, con los valores obtenidos, se construyó la isoterma de sorción. Además se llevó a cabo un análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) de cada muestra equilibrada con el fin de analizar la T_g . Alrededor de 10 mg de muestra se colocaron en crisoles para DSC (P/N SSC000C008, Seiko Instruments) que fueron sellados y analizados en un DSC 220CU-SSC5200 (Seiko instruments Inc.). La velocidad de calentamiento fue de 5°C/min y el intervalo de temperatura varió entre -100°C y 100°C dependiendo del contenido en agua de la muestra.

Determinaciones analíticas

Todas las determinaciones que se describen a continuación se llevaron a cabo en la cocona fresca, en las DO+SAC deshidratadas durante 300 min y en estas mismas muestras equilibradas a las diferentes humedades relativas.

CONTENIDO EN AGUA, SÓLIDOS SOLUBLES Y ACTIVIDAD DEL AGUA

Se partió de muestras previamente homogenizadas (Ultraturrax T25, Janke & Kundel). El contenido en agua se obtuvo mediante secado a vacío de las muestras en una estufa de vacío (Vaciotem, JP selecta) a 60°C \pm 1° C con una presión < 100mm Hg hasta peso constante. El contenido en sólidos solubles se obtuvo a partir de los °Brix (Refracto 30 PX, Mettler Toledo a 20°C). Para la a_w se empleó un higrómetro de punto de rocío (Aqua Lab Decagon, CX-3) con una sensibilidad de \pm 0.003.

DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS

La determinación cuantitativa de ácido cítrico (AC), ácido málico (AM) y ácido tartárico (AT), se realizó por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Se empleó un equipo HPLC (Jasco, Italia) con una bomba ternaria (Jasco PU-1580 HPLC pump), un generador de gradiente (LG-1580-02 Ternary Gradient Unit) y un detector UV-visible (MD-1510) con un intervalo de medida de longitud de onda de 190 hasta 650 nm. El equipo cuenta con un desgasificador incorporado y un inyector automático. Se empleó una columna Zorbax SB-C18 de 5 μm (4,6 x 25 mm), junto con una precolumna (C18 Teknokroma). Para la extracción y determinación se siguió el método descrito por los autores de Cen *et al.* (2007). Para cuantificar los ácidos, se construyeron curvas patrón de cada ácido (Panreac, España). Los resultados obtenidos se expresaron en mg/100 g de materia seca.

DETERMINACIÓN DE VITAMINA C Y ÁCIDO ASCÓRBICO

Para el análisis de la vitamina C (ácido dehidroascórbico (DHAA) + ácido ascórbico (AA)) se procedió a la reducción del DHAA a AA usando el DL-ditriotritol (Sigma-Aldrich), de acuerdo con Sánchez-Moreno *et al.* (2003). Para la determinación del ácido ascórbico (AA), se siguió la metodología descrita por Xu *et al.* (2008). Se empleó el mismo equipo HPLC y columna cromatográfica descritos en el punto anterior. Los resultados obtenidos se expresaron en base a 100 g de materia seca.

DETERMINACIÓN DE VITAMINAS A Y E Y β -CAROTENO

Las vitaminas A y E y el β -caroteno se determinaron por HPLC, utilizando el mismo equipo y columna cromatográfica descritos anteriormente. Para la extracción se siguió el método descrito por Munzuroglu, Karatas y Geckil (2003). Se utilizaron patrones comerciales (Fluka) para la identificación y cuantificación de los distintos compuestos. Los resultados obtenidos se expresaron en base a 100 g de materia seca.

DETERMINACIÓN DE CAROTENOIDES Y FENOLES TOTALES

La determinación de los carotenoides y fenoles totales se realizó por espectrofotometría. La medida de absorbancia se realizó a 446nm y 765nm, respectivamente, utilizando un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Para la extracción de los carotenoides totales se siguió la metodología descrita por Olives Barba *et al.* (2006). Los resultados se expresaron como mg de β -caroteno/100 g de materia seca, mientras que la determinación de los fenoles totales se llevó a cabo utilizando el ensayo Folin-Ciocalteu según Benzie y Strain (1999). Para la extracción de los fenoles totales se siguió la metodología descrita por Tomás-Barberán *et al.* (2001). Los resultados se expresaron como mg ácido gálico/100 g de materia seca, a partir de una recta patrón obtenida.

DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El potencial antioxidante total de las muestras se evaluó empleando el método del DPPH (Puupponen-Pimiä *et al.*, 2003), basado en la capacidad de las sustancias antioxidantes para captar radicales libres. Este ensayo es recomendado por distintos autores (Sánchez-Moreno *et al.*, 2003). Se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Los resultados se expresaron en % DPPH según la ecuación 1:

$$\%DPPH = \frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde: $A_{control}$ = absorbancia del control (absorbancia de la muestra a tiempo 0); $A_{muestra}$ = absorbancia de la muestra cuando la reacción se ha estabilizado. Los resultados fueron expresados como micromoles de trolox equivalente (TE)/100 gramos de materia seca ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$), empleando una recta de calibrado en el intervalo de 6.25-150 $\mu\text{mol TE}$.

PROPIEDADES ÓPTICAS

Las propiedades ópticas (traslucidez y coordenadas de color CIE*L*a*b) de 12 muestras frescas, deshidratadas y equilibradas a las diferentes humedades relativas, fueron determinadas a partir del espectro de reflexión obtenido entre 400 y 700 nm, sobre fondo blanco y negro, utilizando como referencia el iluminante D65 y observador 10° (espectrofotómetro Minolta CM-3600d, Japón). El grado de translucidez de las muestras se determinó aplicando la teoría de Kubelka-Munk (Hutchings, 1999). Para ello se evaluó el cociente absorción/dispersión (K/S) a partir de la reflectancia infinito (R_{∞}) obtenida a cada longitud de onda.

Las coordenadas de color CIE L*a*b se determinaron a partir de R_{∞} ; con ellas se calcularon las coordenadas psicométricas tono (h^*_{ab}) y croma (C^*_{ab}) y las diferencias de color (ΔE) (Hutchings, 1999). Los ΔE calculados fueron los de las muestras deshidratadas respecto a la muestra fresca y los de las muestras equilibradas a las diferentes humedades relativas respecto a las muestras recién deshidratadas. Las medidas del color fueron realizadas, en dos partes de la rodaja de la cocona claramente diferenciadas y denominadas en este estudio como parte interna y parte externa por duplicado y triplicado, respectivamente.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Se estudió el comportamiento mecánico de las rodajas frescas, deshidratadas y equilibradas a las diferentes humedades relativas, a 20°C, mediante un ensayo de compresión-extrusión (célula Kramer) usando una prensa universal de ensayos mecánicos (Stable Micro Systems, TA.XT2 plus, Haslemere, England). La velocidad del ensayo fue de 0.50 mm/s. Se realizaron ocho réplicas por cada tratamiento. En cada caso se obtuvo la

fuerza máxima registrada en el ensayo por unidad de masa de muestra ($F_{\text{máx}}/g$).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95% ($p < 0.05$), empleando el programa Statgraphics Centurion XV. Para el caso de los compuestos funcionales se realizó un análisis de correlación de Pearson con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética de secado

En la Figura 1 se representan las curvas de variación de masa, de secado y de velocidad de secado de las muestras DO+SAC. Como se observa en la figura 1a, el tratamiento de secado ocasionó una variación máxima de la masa de agua del 70% aproximadamente. En la Figura 1b se observa una rápida disminución de la humedad inicial durante los primeros 120 minutos de secado, tiempo a partir del cual comienza a estabilizarse obteniéndose un producto con una humedad final de 0.055 ± 0.005 $g_{\text{agua}}/g_{\text{producto}}$ en un tiempo de 3.5 horas. Durante la etapa SAC, la transferencia de agua desde el interior del producto al exterior, transcurre a velocidad decreciente, observándose dos periodos (Figura 1c). En el primer periodo de velocidad decreciente, la evaporación del agua se lleva a cabo cerca de la superficie de la cocona. En este periodo, la velocidad de secado cambia linealmente con el contenido de humedad. A medida que continúa el secado, la parte superficial se seca totalmente, mientras que la zona interior continúa húmeda y entonces la velocidad de secado disminuye rápidamente a partir de un contenido de humedad crítico dando lugar al segundo periodo de velocidad decreciente (Thuwapanichayanan *et al.*, 2011).

El coeficiente de difusividad efectiva (D_e) fue obtenido a partir de la solución de la segunda ley de Fick simplificada para una lámina infinita y tiempos largos de secado (ec. 2). A partir de esta ecuación, usando un procedimiento de regresión no lineal, la D_e obtenida fue de $1.187 \cdot 10^{-9}$ m^2/s (error estándar $0.525 \cdot 10^{-9}$). Este valor de difusividad se encuentra en el mismo orden de los valores reportados en otros estudios para diferentes productos agrícolas (Contreras *et al.*, 2008; Igual *et al.*, 2011; Thuwapanichayanan *et al.*, 2011).

$$Y = \frac{(x_w^t - x_w^\infty)}{(x_w^0 - x_w^\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \exp \frac{D_e \pi^2 t}{4l^2} \quad (2)$$

Donde: Y es la fuerza impulsora reducida; x_w es el contenido de agua ($g_{\text{agua}}/g_{\text{producto}}$). Con superíndices: 0 (condición inicial), t (a tiempo t) y e (en

condición de equilibrio); D_e es la difusividad efectiva del agua (m^2/s); l es el semiespesor de la rodaja (m); t es el tiempo (s).

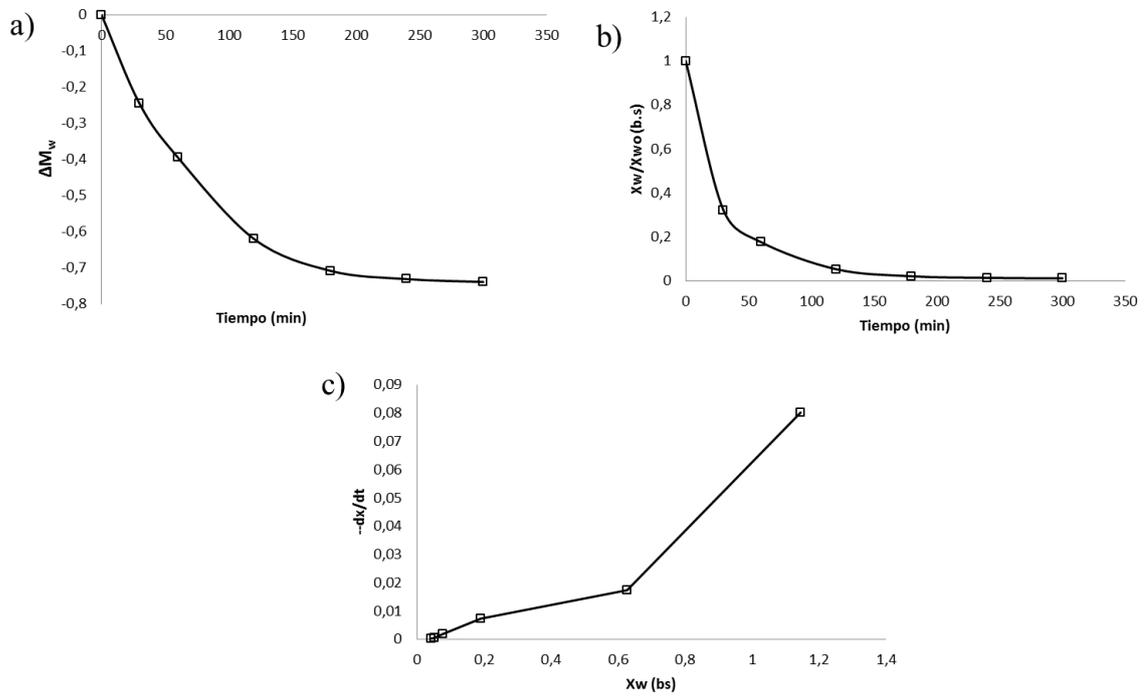


FIGURA 1. Cambios de contenido en agua (ΔM_w) durante la etapa de secado (a), curva de secado (b) y curva de velocidad de secado (c) de rodajas de cocona deshidratadas (DO+SAC).

Por su parte, la aplicación del DO+SAC supuso una reducción del volumen de la muestra debido a la pérdida de agua del protoplasto, lo cual conlleva a un apreciable cambio de las propiedades del producto. La Figura 2 detalla el % de encogimiento de la muestra en cuanto al área, el espesor y el volumen.

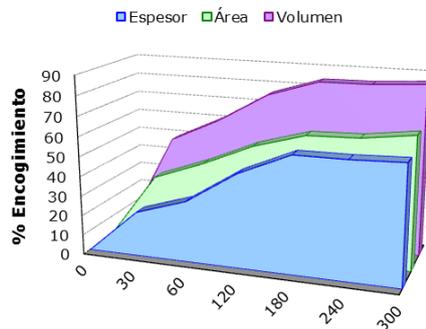


FIGURA 2. Encogimiento de las muestras DO+SAC, respecto a las frescas (%).

De acuerdo a los resultados obtenidos, la aplicación del DO+SAC ocasionó una reducción del volumen total de la muestra del $85.99\% \pm 0.05$, observándose un mayor encogimiento en el área que en el espesor. Resultados similares han sido reportados por García *et al.* (2007) en la deshidratación de calabazas pretratadas osmóticamente y sin pretratar.

Compuestos bioactivos

La Tabla 1 muestra la concentración promedio de los distintos compuestos bioactivos analizados en el fruto fresco. Los resultados confirmaron la presencia de vitaminas A y E en cantidades comparables a las que se reporta en la bibliografía para frutas como la naranja, el kiwi y el melocotón (USDA, 2010). Sin embargo no se detectó la presencia de vitamina C. Algunos estudios realizados en esta misma variedad reportan concentraciones muy variables de ácido ascórbico dependiendo del ecotipo (Silva Filho, 1998). De acuerdo a Cardoso *et al.* (2001) factores relacionados con el cultivo, como la fertilidad del suelo, pueden afectar la concentración de esta vitamina en frutas y vegetales (Cardoso *et al.*, 2011).

En cuanto a los ácidos orgánicos determinados, el ácido cítrico fue el mayoritario seguido por el tartárico y el málico. Estudios realizados por Cardona (2011) para diferentes morfotipos de cocona coinciden con que el ácido predominante es el ácido cítrico, no obstante el perfil de los demás ácidos y su concentración es muy variable pudiendo encontrarse en las muestras la presencia de ácido succínico, oxálico y ascórbico dependiendo de la especie, la edad y el tipo de tejido evaluado. En comparación con el pomelo, la cocona presenta un menor contenido en ácido cítrico de acuerdo a lo reportado por Moraga *et al.* (2012).

TABLA 1. Valores medios de los compuestos funcionales en la cocona fresca y deshidratada (mg/100g de materia seca)

	Fresco	DO+SAC
Vitamina A	1.12(0.05) ^a	0.570(0.006) ^b
Vitamina E	5.80 (0.08) ^a	3.9 (0.4) ^b
Ácido cítrico	5256 (270) ^a	1725 (93) ^b
Ácido tartárico	4077(123) ^a	1535 (82) ^b
Ácido málico	937(49) ^a	328 (2) ^b
Carotenoides totales	11.8 (0.4) ^a	0.400(0.013) ^b
β-Caroteno	4.9(0.4) ^a	0.027(0.002) ^b
Fenoles totales	303 (7) ^a	211(9) ^b
Actividad antioxidante	46.8(0.2) ^a	48(1) ^a

a-c: Superíndices diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

El contenido en carotenoides totales fue similar al que reportan otros autores para las variedades *Solanum quitoense* y *Solanum sessiliflorum* (Murillo *et al.*, 2010), siendo un contenido bajo comparado al de otras frutas como el mango o la fruta de la pasión. Dentro de este grupo, el β-caroteno es uno de los más importantes por su gran potencial antioxidante y por su

actividad provitamina A (Stahl y Sies, 2005), representando alrededor del 41.54% de los carotenoides totales en esta fruta. En cuanto al contenido en compuestos fenólicos, éste fue similar al reportado en la bibliografía para *Solanum quitoense*, clasificándose como una fruta con un bajo contenido polifenólico (Vasco *et al.*, 2008). En comparación con otras frutas, la cocona presentó un mayor contenido que el albaricoque ($127,69 \pm 0.6$ mg/100g materia seca) y un menor contenido que el pomelo ($1626,2 \pm 3$ mg/100g materia seca) de acuerdo a lo reportado por Igual *et al.* (2012) y Moraga *et al.* (2012).

En la Tabla 1 también se puede observar el efecto del tratamiento de secado sobre el contenido de compuestos bioactivos presentes en el producto en fresco. Los resultados muestran que la aplicación del SAC a las muestras previamente osmo-deshidratadas provocó una disminución significativa ($p < 0.05$) de todos los compuestos bioactivos analizados. La degradación de la vitamina E, vitamina A, carotenoides totales y β -caroteno de las muestras durante el SAC se produce por mecanismos de oxidación o isomerización debidos a la temperatura de secado, la exposición a la luz y la presencia de iones metálicos (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 2007, Miranda *et al.*, 2010). Así mismo, las altas temperaturas y los largos tiempos de proceso, junto con la actividad de la polifenol oxidasa, la concentración de azúcares, el pH y el contenido en ácidos orgánicos pueden causar una marcada reducción de los fenoles totales durante el SAC (Vashisth *et al.*, 2011). Por su parte, la pérdida de compuestos hidrosolubles como los ácidos orgánicos y algunos polifenoles parece estar más relacionada con la aplicación previa del tratamiento osmótico durante el cual se reduce la resistencia de la pared celular del fruto provocando un intercambio de moléculas hacia la solución osmótica. En este caso, la disminución del ácido cítrico es especialmente favorable, ya que permite obtener un producto con una relación °Brix/acidez mayor (Uddin *et al.*, 2004), mejorando sus propiedades organolépticas.

En cuanto a la actividad antioxidante, la muestra seca no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto al producto fresco. De acuerdo a Katsube *et al.* (2009), las bajas temperaturas de secado contribuyen a preservar la actividad antioxidante de las frutas mientras que temperaturas superiores están relacionadas con una pérdida significativa de ella. Resultados similares fueron obtenidos por Moraga *et al.* (2012) en el pomelo deshidratado en comparación con la fruta fresca.

Propiedades ópticas

La Figura 3 muestra los espectros de reflexión y las curvas de distribución del coeficiente K/S de la parte externa de la muestra fresca y la sometida al tratamiento DO+SAC. El tratamiento DO+SAC provoca un cambio en la reflectancia de la superficie de las muestras y en la relación absorción-dispersión de la luz (K/S), lo que implica diferentes cambios en el aspecto y color reflejados en las coordenadas medidas. Similares resultados fueron obtenidos para la parte interna. Se observa que el secado de las muestras pretratadas provoca un ligero descenso en la reflectancia y un

ligero aumento en los valores de K/S. A pesar de ello, los valores de K/S son bajos indicando que las muestras presentan estructuras cerradas y por tanto cierta opacidad.

Por su parte, la Tabla 2 presenta los valores promedio de los distintos parámetros de color evaluados tanto en el producto fresco como en el deshidratado. Se observa que la aplicación de DO+SAC a las rodajas de cocona provoca una disminución de la luminosidad y modificaciones en el tono y el croma de las muestras con respecto al producto fresco.

El proceso DO+SAC comporta la concentración superficial de los pigmentos asociada a la pérdida de agua, lo que da lugar a un incremento en el índice de refracción de la parte líquida de la muestra y por tanto un incremento en la opacidad. Este tratamiento parece favorecer el desarrollo de reacciones de pardeamiento (Acevedo *et al.*, 2006) ya que el tono disminuye como consecuencia de la pérdida o degradación de los pigmentos de la cocona, al igual que disminuye el croma indicando pérdidas de pureza de color de la muestra. La luminosidad también disminuye, asociada al oscurecimiento del producto.

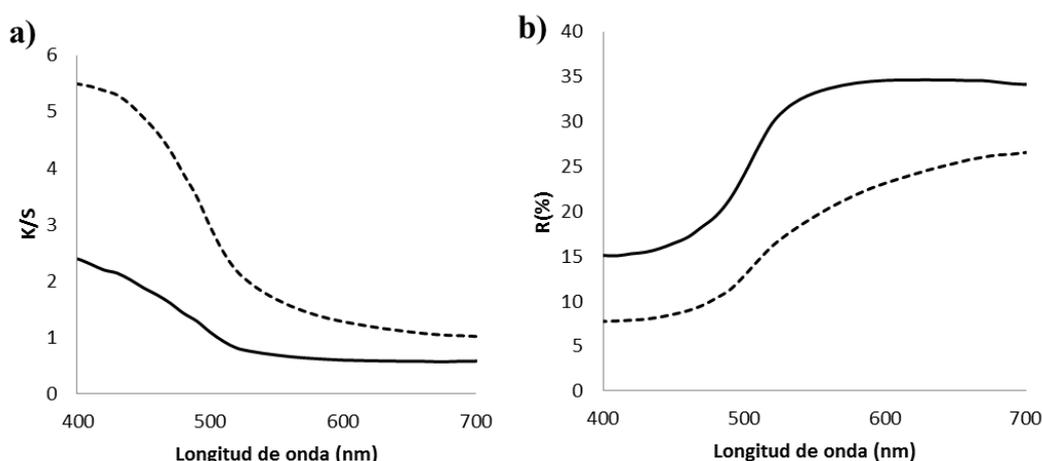


FIGURA 3. Curva de distribución del coeficiente de Kubelka-Munk (K/S) (a) y espectros de reflexión (b) para la parte externa de las porciones de cocona frescas (—) y deshidratadas (-----)

En relación a las diferencias de color respecto al fruto fresco (ΔE , Tabla 2), se observa que al aplicar el SAC al producto previamente osmo-deshidratado se obtienen diferencias de color de ± 15 unidades para la parte interna y ± 14 unidades para la externa, sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ambas partes. De acuerdo a Liao *et al.* (2007) cambios de color (ΔE) de ± 2 unidades podrían ser suficientes para notar diferencias visuales para un gran número de alimentos. De hecho, a medida que ocurre el proceso de deshidratación las rodajas cambian sus propiedades ópticas respecto al fruto fresco tendiendo hacia colores menos luminosos, menos amarillos y rojizos.

TABLA 2. Valores medios y desviaciones estándar de las coordenadas de color L^* , a^* , b^* , croma (C^*_{ab}), tono (h^*_{ab}) y de las diferencias de color de las

muestras tratadas respecto al fruto fresco (ΔE), tanto de la parte interna como externa de la cocona.

	Parte	Fresco	DO+SAC
L*	Interna	62 (3) ^{1a}	49 (2) ^{1b}
	Externa	64(1) ^{1a}	51(2) ^{2b}
a*	Interna	1(1) ^{1a}	6 (1) ^{1b}
	Externa	-0.1(0.3) ^{2a}	5(1) ^{1b}
b*	Interna	26(2) ^{1a}	22(3) ^{1b}
	Externa	23(1) ^{1a}	23 (1) ^{1a}
C* _{ab}	Interna	26(2) ^{1a}	23 (3) ^{1b}
	Externa	24(1) ^{1a}	24 (1) ^{1a}
h* _{ab}	Interna	88(2) ^{1a}	75 (3) ^{1b}
	Externa	90(1) ^{1a}	77(3) ^{1b}
ΔE	Interna	-	$\pm 15(3)$ ¹
	Externa	-	$\pm 14(3)$ ¹

1-2: Superíndices diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre la parte interna y externa ($p < 0.05$); a-b: superíndices diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Propiedades mecánicas

En la Figura 4 se muestran las curvas promedio obtenidas del ensayo de compresión-extrusión que permiten describir el comportamiento mecánico de la muestra deshidratada respecto a la muestra fresca.

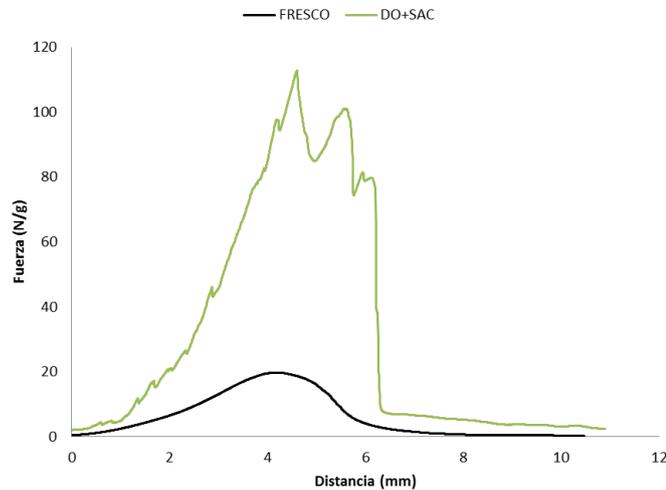


FIGURA 4. Promedio de las curvas Fuerza (N/g) - Distancia (mm) de la muestra fresca y deshidratada.

La aplicación del tratamiento de secado provocó un incremento significativo ($p < 0.05$) en la fuerza máxima ($F_{m\acute{a}x}/g$) de las muestras respecto a la fresca (113 ± 8 N/g frente a 20 ± 4 N/g). Resultados similares fueron obtenidos por Mandala *et al.* (2005), quienes atribuyen este comportamiento a la cristalización debida al calentamiento de los solutos impregnados durante la etapa de deshidratación osmótica que, en combinación con la

pérdida de agua en el posterior secado, causa el endurecimiento de la muestra (Mandala *et al.*, 2005) y por tanto la aparición de picos de fractura, que representan el carácter crujiente asociado al bajo contenido en humedad obtenido tras el tratamiento de secado.

Isoterma de sorción y temperatura de transición vítrea

Los resultados experimentales del contenido en humedad de las muestras en el equilibrio, evaluado en el intervalo de a_w de 0.113-0.52 a 20°C, fueron ajustados a dos modelos ampliamente usados en alimentos: el modelo de BET (Brunauer *et al.*, 1938) y el modelo de GAB (Van den Berg and Bruin, 1981), que permiten predecir las propiedades de sorción de agua del producto a diferentes a_w . Los valores de los parámetros de los modelos se muestran en la Tabla 3. Como puede observarse, el parámetro C, relacionado con el calor de sorción de la monocapa en ambos modelos, presentó valores mayores de 2 por lo que de acuerdo a la clasificación realizada por Brunauer *et al.* (1940), la isoterma es del tipo II caracterizada por presentar una forma sigmoideal con un punto de inflexión acusado.

La DO ocasionó un aumento de los sólidos solubles y consecuentemente la isoterma mostró el comportamiento típico de alimentos ricos en azúcares con un lento incremento en el contenido de humedad de equilibrio en el intervalo de baja a_w y un fuerte incremento a valores intermedios de a_w , momento en que empiezan a predominar las interacciones soluto-solvente asociados a la disolución de azúcar. De los dos modelos, el de BET particularmente tuvo un mejor ajuste ($R^2= 0.985$). Aunque este modelo está limitado para valores de actividad del agua relativamente bajos, es el que realmente tiene un sentido físico. De acuerdo a los resultados, la humedad de la capa monomolecular (w_0) del modelo de BET fue de 3.63 g agua/100 g sólidos secos. Este parámetro es de especial interés ya que indica la cantidad de agua que se absorbe fuertemente a sitios activos de la superficie de los alimentos y puede estar relacionada con la estabilidad del alimento durante el almacenamiento (Mosquera *et al.*, 2012).

TABLA 3. Parámetros de los modelos de BET, GAB y Gordon y Taylor ajustados a los datos experimentales de las muestras (R^2 = coeficiente de correlación).

BET			GAB				Gordon y Taylor				
w_0	C	R^2	w_0	C	K	R^2	T_{gs}	K	R^2	CWC	CWA
0.036	14.67	0.986	0.029	47.403	1.183	0.975	113.35	17.96	0.918	0.032	0.1687

w_0 : humedad de la monocapa (g agua/g sólido seco); C: Constante de Guggenheim relacionada al calor de sorción de la monocapa; K: constante relacionada a la sorción de calor de la multicapa, T_{gs} : temperatura de transición vítrea de los sólidos anhidridos (°C), k: constante del modelo de Gordon y Taylor, CWC: contenido crítico de agua, CWA: contenido crítico de actividad del agua.

La relación entre la T_g y la x_w de las mitades de rodaja de cocona deshidratadas y equilibradas a diferentes humedades relativas se ajustó al modelo de Gordon y Taylor (Gordon y Taylor, 1952). Los parámetros del

ajuste se muestran en la Tabla 3. Como se observa en la Figura 5, el incremento de x_w , causó una significativa disminución de la T_g (Roos, 1995). En este caso la T_g decrece desde 45.29 °C hasta -27.53 °C, cuando el contenido de humedad aumenta desde 0.02 hasta 0.06 $g_{\text{agua}}/g_{\text{producto}}$.

Con el fin de obtener los valores críticos de humedad y actividad del agua a los que ocurre la transición vítrea a 20 °C, se usaron los correspondientes ajustes de los modelos de BET y de Gordon y Taylor para construir la relación T_g - a_w - x_w de la cocona deshidratada (Figura 5).

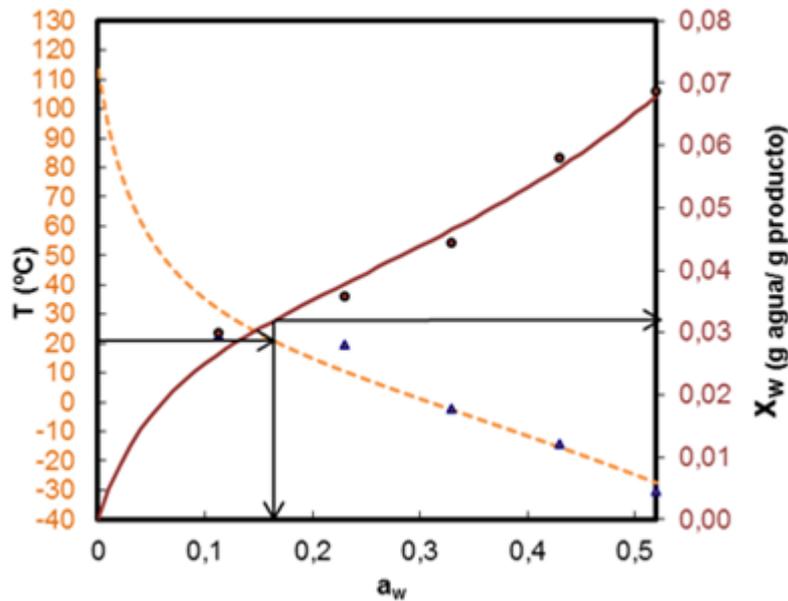


FIGURA 5. Relación T_g - a_w - x_w de las rodajas de cocona obtenidas por deshidratación osmótica y secado por aire caliente. Puntos experimentales y ajustes al modelo de BET ($-x_w$ - a_w) y de Gordon y Taylor ($-T_g$ - x_w).

De acuerdo a los datos obtenidos, a 20°C sería necesario mantener al producto en ambientes con una humedad relativa inferior a 16.87% y con una humedad inferior a 3.24 $g_{\text{agua}}/100g_{\text{muestra}}$, para garantizar el estado vítreo de la cocona deshidratada. Como se observa, este valor de humedad crítica, es menor a w_0 del modelo de BET por lo que, en este sentido, w_0 no puede ser considerado como un parámetro que asegure la preservación de calidad durante el almacenamiento del producto, como lo han observado otros autores Telis *et al.* (2006) y Moraga *et al.* (2011). El producto obtenido en las condiciones de secado utilizadas en este trabajo mostró una humedad de $5.5 \pm 0.5 g_{\text{agua}}/100 g_{\text{muestra}}$. Este valor de humedad ligeramente superior a CWC hace que las condiciones de almacenamiento del producto tengan que ser muy estrictas desde el final del proceso, ya que un ligero aumento en la a_w de las muestras, provocado por una leve humectación, o un pequeño aumento en la temperatura de almacenamiento, supondría un rápido aumento en la velocidad con la que ocurren las reacciones químicas, bioquímicas y de crecimiento microbiológico asociadas al deterioro del producto. En este sentido, se recomienda el uso de envases de muy baja

permeabilidad al vapor de agua. Incluso sería deseable su almacenamiento en refrigeración.

EVOLUCIÓN DE LAS MUESTRAS EQUILIBRADAS

Compuestos bioactivos

Se estudió la estabilidad de los compuestos bioactivos de las rodajas de cocona deshidratadas equilibradas a diferentes humedades relativas (Tabla 4). En general los ácidos orgánicos disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) durante el tiempo de equilibrado (3 meses) siendo mayor la disminución a mayor a_w , especialmente el ácido tartárico, seguido por el málico y el cítrico. En cuanto al contenido en vitaminas, se destaca sólo la presencia de vitamina A, ya que no se detectó vitamina E en las muestras equilibradas. La vitamina A disminuyó significativamente ($p < 0.05$) desde la a_w de 0.230. Especialmente esta vitamina presenta una alta sensibilidad a la oxidación debido a la gran cantidad de dobles enlaces presentes en su estructura.

TABLA 4. Valores medios y desviación estándar del contenido en compuestos bioactivos (mg/100g materia seca) del producto deshidratado equilibrado a diferentes a_w .

Compuesto (mg/100g (b.s.))	0.113	0.230	0.330	0.430	0.520
Ácido tartárico	817.2 (8.7) ^a	733 (20) ^b	695.5 (4.4) ^c	679.2 (1.5) ^c	647.2 (13.6) ^d
Ácido málico	241.2 (7.3) ^a	224.9 (1.5) ^a	197.4 (13.2) ^b	167 (3) ^c	160 (12) ^c
Ácido cítrico	1146 (12) ^a	1126 (6) ^{ab}	1098 (21) ^b	1119 (6) ^{ab}	1111 (9) ^b
Vitamina A	0.47 (0.02) ^a	0.49 (0.02) ^a	0.36 (0.02) ^b	0.24 (0.02) ^c	0.21(0.02) ^c
Fenoles totales	206 (8) ^a	191 (3) ^b	186(4) ^b	178 (3) ^c	176(6) ^c
Actividad antioxidante	25 (3) ^a	25 (3) ^a	25(1) ^a	24.6 (0.9) ^a	24 (1) ^a

a-d: Superíndices diferentes dentro de cada fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

En cuanto a los fenoles totales se observó que el incremento en la a_w , también afecta a su estabilidad, cuyo contenido disminuye significativamente ($p < 0.05$) desde la menor a_w , debido a mecanismos de oxidación enzimática que provocan la degradación de estos compuestos (De la Rosa *et al.*, 2010). Por su parte la actividad antioxidante de la fruta (AOA) se mantiene en el intervalo de a_w evaluadas sin diferencias significativas ($p > 0.05$). De forma general se observa una mayor degradación de los compuestos a valores de a_w mayores a la CWA, asociado a una mayor inestabilidad consecuencia del aumento en la movilidad molecular que se da en el estado gomoso y, por tanto, la mayor disponibilidad del agua para participar en reacciones de deterioro (Maltini *et al.*, 2003).

Con el fin de explicar la relación de los diferentes compuestos cuantificados en este estudio con la AOA, se realizó una correlación de todos los datos obtenidos, tanto en el producto fresco como en los deshidratados y equilibrados a las diferentes humedades relativas. Los resultados indican que la AOA presentó una correlación alta y positiva con el contenido en FT ($r = 0.8346$, $p < 0.05$), mientras que se observa una relación estrecha con los demás componentes. Esto sugiere que todos estos

compuestos pueden trabajar de forma sinérgica, protegiendo a las células del daño (Blomhoff *et al.*, 2006). Algunos estudios también han encontrado una correlación alta entre el contenido fenólico de muchas frutas y su capacidad antioxidante (Deepa *et al.*, 2007; Contreras-Calderón *et al.*, 2011), atribuyendo este comportamiento a las propiedades redox de los FT, que les permiten actuar como reductores, donadores de hidrógeno e inactivadores del oxígeno singulete (Miranda *et al.*, 2010).

Propiedades ópticas

La Tabla 5, presenta los valores promedio de los distintos parámetros de color evaluados en el producto deshidratado por DO+SAC y equilibrado a las a_w extremas.

TABLA 5. Valores medios y desviaciones estándar de las coordenadas de color L^* , a^* , b^* , croma (C^*_{ab}), tono (h^*_{ab}) de la parte interna y externa de la cocona, y diferencias de color (ΔE) de las muestras equilibradas a diferentes a_w respecto a la muestra recién deshidratada.

	Parte	0.113	0.520
L^*	Interna	47 (1) ^{1a}	52.5 (5.5) ^{1a}
	Externa	54.2(1.6) ^{2ab}	56.5(0.2) ^{1b}
a^*	Interna	8.4(2.5) ^{1a}	6.5 (3.9) ^{1ab}
	Externa	6.1(1.6) ^{1ab}	6.1(0.3) ^{1ab}
b^*	Interna	19(3) ^{1a}	22.4(0.8) ^{1a}
	Externa	24.3(0.3) ^{2a}	24.7 (0.4) ^{1a}
C^*_{ab}	Interna	20.9(3.4) ^{1a}	23.5 (1.8) ^{1a}
	Externa	25.1(0.4) ^{2ab}	25.4 (0.3) ^{1ab}
h^*_{ab}	Interna	66.4(3.5) ^{1a}	74.1 (8.8) ^{1b}
	Externa	76.1(0.5) ^{2ab}	76.1(0.8) ^{1b}
ΔE	Total	± 4.5 (2.6) ^{1a}	± 4.9 (2.6) ^{1a}

1-2: Superíndices diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre la parte interna y externa ($p < 0.05$); a-b: superíndices diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre las humedades relativas de almacenamiento, considerando los cinco niveles analizados en el estudio ($p < 0.05$).

Se observa que tanto en la parte interna como en la externa, las coordenadas $L^*a^*b^*$ permanecen prácticamente estables en el intervalo de actividades del agua evaluadas, por lo que el tono y el croma no se ven afectados. Las muestras equilibradas a cada a_w presentaron cambios de color pequeños con respecto a las muestras recién deshidratadas, sin diferencias significativas ($p > 0.05$). El color del producto deshidratado no se vio afectado por la transición vítrea, manteniéndose estable desde la muestra con a_w más baja (0.113), en donde el agua se encuentra fuertemente ligada al alimento impidiendo la movilización de un sustrato de reacción a otro, hasta la muestra con a_w intermedia (0.520), en que a pesar de que la disponibilidad de agua ya es mayor y los sustratos se difunden con mayor facilidad, está en el límite para que ocurran las reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático (Moraga *et al.*, 2011; Mosquera *et*

al., 2011). Por otra parte algunos autores atribuyen un comportamiento de protección frente al color al tratamiento osmótico, ya que este ocasiona la lixiviación de los monosacáridos o azúcares reductores responsables de las reacciones de pardeamiento no enzimático (Zou *et al.*, 2013). Además la sacarosa ocasiona una inhibición efectiva de la enzima polifenoloxidasas que cataliza las reacciones de pardeamiento oxidativo (Falade *et al.*, 2007).

La distribución espectral del índice de Kubelka Munk de las muestras equilibradas a diferentes a_w , mantuvo valores de K/S bajos indicando que las muestras mantienen la estructura poco porosa y por tanto la opacidad. El contenido en agua no afectó a la translucidez de las muestras.

Propiedades mecánicas

La Figura 8 muestra las curvas fuerza-distancia obtenidas del ensayo de compresión extrusión de las muestras equilibradas, así como $F_{m\acute{a}x}$ a cada a_w . Los resultados muestran un comportamiento dependiente de la a_w . Se observa que al aumentar la a_w de 0.113 a 0.230, en que las partes amorfas del producto pasan de estado vítreo a gomoso, ocurre un aumento significativo de la $F_{m\acute{a}x}$ de compresión. En este intervalo de a_w , las curvas presentan múltiples picos de fractura asociados al carácter crujiente de la muestra. En el estado vítreo las muestras no presentan deformabilidad siendo más frágiles y crujientes a menor contenido en agua (Moraga *et al.*, 2011).

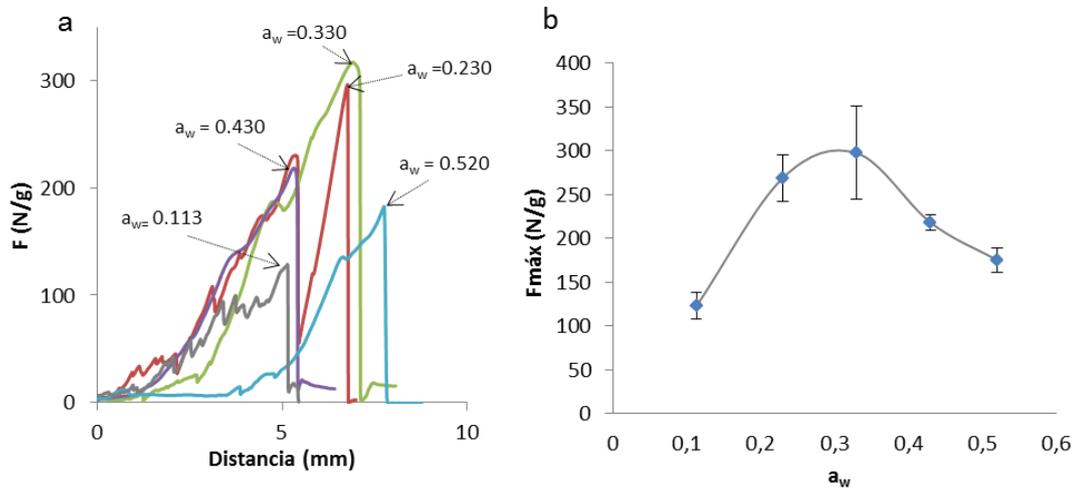


FIGURA 8. (a) Ejemplo de curvas fuerza (N/g) - distancia (mm) y (b) Evolución de la Fuerza máxima ($F_{m\acute{a}x}$, N/g) de las muestras equilibradas a diferentes a_w .

Sin embargo, con el paso al estado gomoso se pierde el carácter crujiente y puede producirse la compactación del producto y la cristalización de los solutos que conducen al endurecimiento de la matriz y por tanto a un aumento de la fuerza (Zou *et al.*, 2013). Djendoubi Mrad *et al.* (2012) afirman que durante los procesos de sorción de albaricoque osmodeshidratado a

temperaturas moderadas, los azúcares alcanzan lentamente el equilibrio con la humedad relativa del ambiente por lo que tienen una movilidad molecular suficiente para instalarse en su formas cristalinas poco higroscópicas, lo que puede explicar la formación de una matriz más compacta y rígida en el intervalo de a_w evaluadas.

Aunque las muestras exhibieron una fuerza mayor en el estado gomoso respecto a la muestra en estado vítreo, también es cierto que a valores de $a_w > 0.330$, $F_{máx}$ presentó una tendencia clara a disminuir, lo que está relacionado con el efecto plastificante del agua que provoca poco a poco la disolución de los azúcares y el cambio de su estado cristalino a amorfo, aumentando el número de puntos de adsorción en los sitios de rotura de la estructura cristalina (Saltamarch y Labuza, 1980) y por tanto el reblandecimiento de la muestra

CONCLUSION

La aplicación del tratamiento osmótico antes del secado por aire caliente constituye una alternativa viable para la obtención de rodajas de cocona deshidratadas de alta calidad nutritiva, funcional y sensorial. Especialmente en este producto, como consecuencia del aumento en los sólidos solubles, la DO aporta dulzor a la fruta, contrarrestando la elevada acidez que caracteriza a este alimento y que limita su consumo en fresco. El secado aplicado da lugar a un producto crujiente, con igual capacidad antioxidante que las muestras frescas. El producto deshidratado queda con una humedad ligeramente superior a la crítica, por lo que su estabilidad va a verse muy influida por las condiciones en las que se lleve a cabo el almacenamiento. Por encima de la actividad del agua crítica del producto aumentan las reacciones de deterioro de los compuestos bioactivos y hay pérdida del carácter crujiente de la muestra disminuyendo su calidad, por lo que es necesario mantener el producto por debajo de este contenido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda recibida por parte del Centro de Cooperación al Desarrollo (Universidad Politécnica de Valencia) a través del proyecto ADSIDEO 2010.

REFERENCIAS

- Acevedo, N., Schebor, C., Buera, M.P. 2006. Water-solids interactions, matrix structural properties and the rate of non-enzymatic browning. *Journal of Food Engineering*. 77: 1108-1115.
- Benzie, I.F.F., Strain, J.J. 1999. The ferric reducing ability of plasma as a power: The FRAP assay. *Anal. Bio. Chem.* 239, 70-76.
- Blomhoff, R., Carlsen, M.H., Andersen, L.F., Jacobs Jr., D.R. 2006. Health benefits of nuts: potential role of antioxidants. *Brit. J. Nutr.* 96: 552-560
- Brunauer, S., Deming, L. S., Deming, W. E., & Teller, E. 1940. On a theory of the van de Waals adsorption of gases. *Journal of American Chemistry Society*, 62, 1723-1732.

- Cardona Jaramillo, Juliana. 2011. Estudio de metabolitos fijos y volátiles en tres morfotipos de cocona (*Solanum sessilliflorum* Dunal) procedentes del departamento del Guaviare. Tesis de grado para optar al título de Master en Ciencias-Química. UNAL. Colombia.
- Cardoso. Pollyanna C, B. Tomazini, Ana Paula, Stringheta. Paulo C, Ribeiro. Sônia M.R y Pinheiro-Sant'Ana. Helena M. 2011. Vitamin C and carotenoids in organic and conventional fruits grown in Brazil. *Food chemistry* 126: 411-416.
- Contreras. C, Martín-Esparza. M. E., Martínez-Navarrete. N, Chiralt. A. 2006. Influence of osmotic pre-treatment and microwave application on properties of air dried strawberry related to structural changes. *Eur Food Res Technol*, 224: 499-504.
- Cen, H., Bao, Y., He, Y., Sun, D.W., 2007. Visible and near infrared spectroscopy for rapid detection of citric and tartaric acids in orange juice. *J Food Eng.* 82, 253–260.
- 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.
- Contreras Monzón, Carolina. 2006. Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y color de manzana y fresas deshidratadas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España.
- Contreras-Calderón. J, Calderón-Jaimes. L, Guerra-Hernández. E, y García-Villanova. B. 2011. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*. 44: 2047-2053.
- Deepa, N., Kaura, C., George, B., Singh, B., & Kapoor, H. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes during maturity. *LWT: Food Science and Technology*, 40(1), 121–129
- Djendoubi Mrad. Nadia, Bonazzi. Catherine, Boudhrioua. Nourhène, Kechaou. Nabil, Courtois. Francis. 2012. Influence of sugar composition on water sorption isotherms and on glass transition in apricots. *Journal of Food Engineering*. 111: 403-411.
- De la Rosa, L., Alvarez-Parrilla, E., González-Aguilar, G., 2010. Fruit and vegetable phytochemicals chemistry, nutritional value, and stability. Blackwell Publishing, Iowa.
- Díaz Correa. Jennifer y Cancino Chávez. Keidy. 2007. Estudio de la cinética de degradación térmica de textura y su aplicación en el tratamiento térmico de la cocona (*Solanum sessilliflorum* Dunal) en almíbar. *Ingeniería UC*. 14: 57-67.
- Falade. Kolawole. Igbeka. Joseph, Ayanwuyi. Funke. 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*. 80: 979-985.
- García. Carolina, Mauro. María y Kimura, Mieko. 2007. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita mostacha*). *Journal of Food Engineering*. 82: 284-291.
- Gordon, M., & Taylor, J. S. 1952. *Ideal copolymers and second-order transitions of synthetic rubbers. I. Non-crystalline copolymers*. *Journal of Applied Chemistry*, 2, 493–500.
- Hutchings, J.B. 1999. Food color appearance. Chapter 11, food color mechanisms. *Aspen Publishers, Inc*, pp. 453-592.
- Igual. M, Castelló. M^a Luisa, Roda. Eva, Ortolá. Maria Dolores. 2011. Development of Hot-Air Dried Cut Persimmon. *International Journal of Food Engineering*. 7: Iss. 5, Article 9.
- Igual. M, García-Martínez, M.E. Martín-Esparza, N. Martínez-Navarrete. 2012. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. *Food Research International*. 47, 284-290.
- Khalloufi, S., Giasson, J. and Ratti, C. 2000. Water activity of freeze dried mushrooms and berries. *Canadian Agricultural Engineering* 42:1-7
- Krokida, Magdalini y Maroulis Zacharidas. 2000. Quality changes during drying of food materials. *Drying technology in agriculture and food*. Chapter 7.
- Krokida M.K, Karathanos. V.T, Maroulis. Z.B, y Marinos-Kouris. D. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering* 59: 391-403.
- Labuza, T. P. 1975. Oxidative changes in foods at low and intermediate moisture levels. In R. B. Duckworth (Ed.), *Water relations of foods* (pp. 455–474). London: Academic Press.
- Liao, Ying Sun, Yuanying Ni, Xiaojun Liao, Xiaosong Hu, Jihong Wu and Fang Chen. 2007. The effect of enzymatic mash treatment, pressing, centrifugation, homogenization, desaeration, sterilization and storage on carrot juice. *Journal of Food Process Engineering*. 30: 421–435.

- Maltini, E, Torreggiani, D, Venir, E, Bertolo. 2003. Water activity and the preservation of plant foods. *Food Chemistry*. 82: 79-86.
- Mandala, I.G, Anagnostaras, E.F, Oikonomou, C.K. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 69: 307-316.
- Miranda, Margarita, Vega-Galvez, Antonio, Lopez, Jessica, Parada, Gloria, Sanders, Mariela, Aranda, Mario, Uribe, Elsa, Di Scalad, Karina. 2010. Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Industrial Crops and Products*. 32: 258-263.
- Moraga, G, Talens, P, Moraga, M.G, Martínez-Navarrete, N. 2011. Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*. 106: 212-219.
- Moraga, G, Igual, M, García-Martínez, Eva, Mosquera, L.H., Martínez-Navarrete, N. 2012. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. *Journal of Food Engineering*. 112: 191-199.
- Mosquera, L.H, Moraga, G, Fernández de Córdoba, Pedro, Martínez-Navarrete, Nuria. 2011. Water Content–Water Activity–Glass Transition Temperature Relationships of Spray-Dried Borojó as Related to Changes in Color and Mechanical Properties. *Food biophysics*. 6: 397-406.
- Mosquera, L.H, Moraga, G, Martínez-Navarrete, N. 2012. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and Arabic gum. *Food Research International*. 47: 201-206.
- Munzuroglu, Omer, Karatas, Fikret, and Geckil, Hickmet. 2003. The vitamin and selenium contents of apricot fruit of different varieties cultivated in different geographical regions. *Food Chemistry*. 83: 205-212.
- Murillo, Enrique, Meléndez-Martínez, Antonio y Portugal, Falcón. 2010. Screening of vegetables and fruits from Panama for rich sources of lutein and zeaxanthin. *Food Chemistry* 122: 167-172.
- Nguyen, Minh-Hue y Price, William E. 2007. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering* 79: 200-207.
- Olives Barba A, Hutado M, Sanchez Mata M, Fernandez Ruiz V & Lopez Saenz de Tejada M. 2006. Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. *Food Chemistry* 95, 328–336.
- Paredes, Damián Felipe. 2010. Evaluación nutricional de Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal.) deshidratada por método de bandejas a tres temperaturas. Tesis de grado para la obtención del título Bioquímico Farmacéutico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Bioquímica y Farmacia. Ecuador.
- Pereira da Silva, Danielle Fabíola, Railene Héric, Rocha, Carlos y Chamhum Salomão. Luiz Carlos. 2011. Postharvest quality of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) stored under ambient condition. *Rev. Ceres, Viçosa*, 58: 476-480.
- Puupponen-Pimiä R., Hakkinen S.T., Aarni M., Suortti T., Lampi A.M., Euroala M., Piironen V., Nuutila A.M., Oksman-Kaldentey K.M., 2003. Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *J. Sci. Food Agric*. 83, 1398-1402.
- Quijano, Clara y Pino, Jorge. 2006. Changes in volatile constituents during the ripening of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) fruit. *CENIC*, Vol 37, No. 3, 133-136.
- Ratti, C. 2001. Hot air freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*. 49, 311-319.
- Roos, Y.H., 1995. Phase Transitions in Food. *Academic Press*, San Diego, CA.
- Roos Y. y Karel M. 1991. Plasticizing Effect of Water on Thermal Behavior and Crystallization of Amorphous Food Models. *Journal of Food Science*, 56, 38-43.
- Rózek, Aleksandra, García-Pérez, José V., López, Francisco, Montserrat Ferrando, Carme Güell. 2010. Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*. 99: 142-150
- Saltamarch, M., Labuza, T.M. 1980. Influence of relative humidity on the physicochemical state of lactose in spray-dried sweet whey powder. *Journal of Food Science* 45, 113–115.

- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., Cano, M, P., 2003. Quantitative bioactive compounds assessment and their relative contribution to the antioxidant capacity of commercial orange juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 430–439.
- Silva Filho, Danilo. 1998. Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal), cultivo y utilización. Tratado de Cooperación Amazónica.
- Silva Filho, Danilo, Yuyama, Lucía, Aguiar, Jaime, Oliveira, Maslova y Martins, Lúcia. 2005. Caracterização e avaliação do potencial agrônomico e nutricional de etnoviedades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da amazônia. *Acta Amazónica*. 35: 399-406.
- Stahl, W., y Sies, H. 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1740,101–107.
- Telis, V. R. N., Sobral, P. J. A., & Telis-Romero, J. 2006. Sorption isotherm, glass transitions and state diagram for freeze-dried plum skin and pulp. *Food Science and Technology International*. 12: 181–187.
- Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I., Cremin, P., Waterhouse, A.L., Hess- Pierce, B., Kader, A.A., 2001. HPLC-DAD-ESIMS Analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 4748–4760.
- Torreggiani, Danila, y Bertolo, Gianni. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering* 49: 247-253.
- Torres, Verónica. 2010. Determinación del potencial nutritivo y funcional de Guayaba (*Psidium guajava* L.), cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y camu (*Myrciaria dubia* Vaugh). Proyecto para la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito.
- Thuwapanichayanan. Ratiya. Prachayawarakorn. Somkiat, Kunwisawa. Jaruwan, Soponronnarit. Somchart. 2011. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *Food Science and Technology*. 44: 1502-1510.
- USDA. 2010. National Nutrient Data base for Standard Reference, Release18. Nutrient Data Laboratory Home Page. www.nal.usda.gov (accessed 2012).
- Van den Berg, C., & Bruin, S. 1981. Water activity and its estimation in food systems: Theoretical aspects. In L. B. Rockland & G. F. Stewart (Eds.), *Water activity: Influences on food quality* (pp. 1–43). New York: Academic Press.
- Vasco, Catalina, Ruales, Jenny y Kamal-Eldin. Afat. 2008. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry* 111:816-823.
- Vega-Gálvez, A, Palacios, M, Boglio, F, Pássaro, C, Jeréz, C, Lemus-moncada, R. 2007. Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Cienc. Tecnol. Alimenet*. 27: 470-477.
- Woo, K. S., Hwang, I. G., Kim, T. M., Kim, D. J., Hong, A. T., & Jeong, H. S. 2007. Changes in the antioxidant activity of onion (Allium cepa) extracts with heat treatment. *Food Science and Biotechnology*. 16: 828–831
- Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y., Shi, J., 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chemistry* 106, 545–551.
- Yuyama, Lucía, Macedo, Sonja, Aguiar, Jaime, Filho, Danilo, Yuyama, Karou, Fávoro, Déborah, y Vasconcellos, Marina. 2007. Quantificação de macro e micro nutrientes em algumas etnoviedades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). *Acta Amazónica*. Vol 37 (3) 425-430.
- Zou, Kejian, Teng, Jiawen, Huang, Dai, Xinwei, Wei, Baoyao. 2013. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *Food Science and Technology*. 5: 253-259.