

Estudio del proceso de deshidratación osmótica de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara)

Study of the umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) osmotic dehydration process

Catiana Freitas Pinto de Oliveira^{1*}; Sílvia Maria Almeida de Souza²;
Ernesto Acosta Martinez²; Ana Luiza da Silva Rezende Guanais³;
Cristina Maria Rodrigues da Silva²

Resumen

El umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) es un fruto nativo del semiárido Nordeste que tiene elevada capacidad productiva y excelentes características nutricionales, las cuales no son aprovechadas en la agricultura familiar de esa región. El presente trabajo tiene como objetivo el estudio del proceso de deshidratación osmótica de umbu a través de un diseño experimental factorial 2². Los efectos de las variables independientes tiempo de inmersión (1 a 3 h) y concentración de la solución osmótica (35 a 45 °Brix) fueron analizados sobre las respuestas acidez (A), contenido de vitamina C (Vc), pérdida de peso (PP), pérdida de humedad (PU), ganancia de sólidos (GS) e índice de eficiencia de la deshidratación (IED). Los mejores resultados correspondientes a mayores contenidos de vitamina C, PU e IED y menor GS fueron observados en las condiciones de mayor tiempo de inmersión (3 h) y menor concentración de la solución (35 °Brix) en condiciones de temperatura ambiente.

Palabras-clave: Superficie de respuesta, secado, vitamina C

Abstract

The umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) is a fruit native of Northeastern semi-arid with large productive capacity and excellent nutritional characteristics that have been underused in the family farming of the region. Aiming to minimize post-harvest losses and add value to the fruit, this research has the objective of studying the osmotic dehydration process of umbu through a 2² factorial design, with independent variables: time of immersion (1-3 hours) and osmotic solution concentration (35-45 °Brix). The dependent variables were: acidity (A), vitamin C (Vc), weight loss (PP), moisture loss (PU), solid gain (GS) and dehydration efficiency index (IED). The highest values for vitamin C, PU and FDI and lower GS were observed under conditions of higher immersion time (3 h) and lower concentration of the solution (35 °Brix), associated with the fact that the process had been performed at room temperature.

Key words: Response surface, drying, vitamin C

¹ Bolsista de Inovação Tecnológica da FAPESB, Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, BA. E-mail: catianafreitas@gmail.com

² Profs. do Deptº de Tecnologia, Colegiado de Engenharia de Alimentos, UEFS, Feira de Santana, BA. E-mail: ss_almeida@yahoo.com.br; ernesto.amartinez@yahoo.com.br; cri.cristina@gmail.com

³ Discente de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UEFS, Feira de Santana, BA. E-mail: luaeng@gmail.com

* Autor para correspondência

Introducción

El umbuzero (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) es un árbol fructífero nativo de la región semiárida del nordeste de Brasil. En 2009, fueron colectadas 9,43 t de fruta con una mayor contribución de los estados de Bahía (89%), Pernambuco (4%) y Rio Grande do Norte (2%) (CONAB, 2012). El restante de la producción proviene de los estados de Paraíba, Ceará, Minas Gerais y Piauí.

Hay una gran variedad de especies de umbu que se diferencian en función del color, sabor, tamaño y características químicas tales como acidez, sólidos solubles y contenido de vitaminas. Estas frutas pueden ser consumidas “*in natura*” o como ingrediente de productos industrializados tales como pulpa, jugos, jalea, entre otros. El aprovechamiento del fruto en la forma de productos industrializados contribuye para el aumento de la rentabilidad de las familias productoras con rendimientos de 1,5 a 5 USD/ 60 kg de fruta “*in natura*” en dependencia de la zafra. Esa misma cantidad de fruta transformada en dulce puede ser vendida por aproximadamente 60 USD (EMBRAPA, 2012).

El umbu es una fruta relativamente rica en vitamina C, y tiene en su composición otras sustancias biológicamente activas como la clorofila, carotenoides y flavonoides. Además de otros compuestos fenólicos que pueden contribuir para una dieta más saludable (DANTAS JUNIOR, 2008).

El ácido ascórbico es importante por su acción antioxidante y como estimulante del sistema inmunológico, entre otros beneficios a la salud que se encuentran en fase de estudio (ANDRADE; DINIZ; NEVES, 2002). Con relación al procesamiento del alimento, este ácido y sus sales neutras y otros derivados son los principales antioxidantes usados en frutas, hortalizas y en jugos con el objetivo de prevenir el oscurecimiento y otras reacciones oxidativas (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

De acuerdo con Neves y Carvalho (2005) el umbu es un fruto climatérico, por lo que debe ser

cosechado después de bien formado y estar en estadio próximo de la maduración fisiológica. En otras palabras, cuando el color de la cáscara comienza a cambiar de verde oscura para verde clara brillante a ligeramente amarilleada. En este punto, la textura de la cáscara se presenta más lisa cuando comparado con el fruto inmaduro.

El umbu es estacional (Enero/Abril) y una vez cosechado, en condiciones ambientales de temperatura e sin embalaje, se preserva durante dos o tres días como máximo. Existe un alto índice de pérdida después de la cosecha durante el período de producción máxima debido a la falta de infraestructura así como de prácticas adecuadas de manipulación (MAIA; OLIVEIRA; FIGUEIREDO, 1998).

La cultura de umbu carece de investigaciones relacionadas a la adecuación de procesos existentes e innovaciones en el procesamiento de la fruta con el objetivo de garantizar un aprovechamiento más rentable y sostenible.

Folegatti et al. (2003) elaboraron jalea y compota de umbu con buena aceptación sensorial. Cavalcanti, Resende y Brito (2000) produjeron dulces de umbu en diferentes etapas de maduración y verificaron mayor aceptación para el dulce elaborado con frutos maduros. Por otro lado, Martins et al. (2007), en estudios relacionados con el análisis sensorial de dulce en pasta de umbu, no observaron diferencias significativas entre las formulaciones de los dulces a partir de umbu verde o maduro. Estos autores reportaron que en la región de Rio de Janeiro, solamente 30% de los probadores conocían la fruta y 56% nunca o casi nunca consumían productos de umbu.

La fruta seca es un producto obtenido mediante la pérdida parcial del agua presente en la fruta madura, entera o en pedazos, a través de procesos tecnológicos adecuados (BRASIL, 2005). La deshidratación osmótica es utilizada actualmente como etapa de pre-tratamiento durante el secado convencional de frutas secas. El proceso de

deshidratación osmótica ha sido señalado como una alternativa viable para la conservación de frutas, principalmente del tipo estacional, haciéndolas disponibles para el consumo durante todo el año. El método consiste en la inmersión de productos con alto contenido de agua en soluciones azucaradas o salinas concentradas, mediante la transferencia simultánea de materia en contracorriente entre el producto y la solución. (ORDÓÑEZ, 2005). A través de la incorporación de soluto en la fruta, es posible, de cierto modo, alterar sus propiedades sensoriales (sabor, color, aroma y textura) obteniendo una formulación específica del producto sin modificar su integridad (TORREGGIANI, 1993). La eficiencia del proceso osmótico es determinada por la relación entre la pérdida de humedad y la incorporación de sólidos, lo cual indica que el producto tendrá mejores características cuanto mayor sea la pérdida de agua y menor la incorporación de sólidos (VASCONCELOS, 2010).

La evaluación de las condiciones de procesamiento de frutas deshidratadas es necesaria para obtener productos de buena calidad así como optimizar el proceso de deshidratación osmótica. El presente trabajo tiene como objetivo el estudio del efecto del tiempo de inmersión y de la concentración de la solución osmótica en el proceso de deshidratación de los frutos del umbuzero.

Materiales y Métodos

Materias primas

Los frutos fueron adquiridos en el *Centro de Abastecimento* de la ciudad de Feira de Santana, estado de Bahia. Los umbus fueron seleccionados de acuerdo con el grado de madurez (contenido de sólidos solubles entre 9 y 10 °Brix) y tamaño (mayor mesocarpio) siendo higienizados, embalados y colocados en refrigerador. Posteriormente, los frutos fueron descascados y cortados manualmente en tiras de 2 cm de ancho aproximadamente, siendo realizado cada ensayo con 300g de umbu procesado.

Diseño experimental

Los experimentos fueron realizados a partir de un diseño experimental factorial 2², analizando el efecto de las variables independientes tiempo de inmersión y concentración de la solución osmótica. Los niveles de estas variables fueron definidos con base en la literatura (ARAÚJO et al., 2010; GONÇALVES; BLUME, 2008; MARTINS; CUNHA; SILVA, 2008; SOUZA NETO et al., 2005) y en ensayos preliminares (Tabla 1). Por medio del Análisis de Variancia (ANOVA) fue determinada la influencia de estos parámetros sobre las respuestas acidez (A), contenido de vitamina C (Vc), pérdida de peso (PP), pérdida de humedad (PU), ganancia de sólidos (GS) y sobre el índice de eficiencia de la deshidratación (IED). Fueron realizadas repeticiones (tres) apenas no punto central. La matriz del diseño experimental está presentada en la Tabla 2.

Tabla 1. Niveles de las variables utilizadas en el diseño experimental.

Variable independientes	Niveles codificados		
	-1	0	+1
Tiempo de inmersión (h)	1	2	3
Solución osmótica (°Brix)	35	40	45

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 2. Niveles codificados y descodificados de las variables independientes del diseño factorial 2² del proceso de deshidratación osmótica de umbu.

Ensayos	Variables independientes			
	Variables codificadas		Variables reales	
	X ₁	X ₂	Tiempo (h)	Solución osmótica (°Brix)
1	-1	-1	1	35
2	1	-1	3	35
3	-1	1	1	45
4	1	1	3	45
5	0	0	2	40
6	0	0	2	40
7	0	0	2	40

Fuente: Elaboración de los autores.

Proceso de deshidratación osmótica

La solución osmótica fue preparada utilizando agua destilada, sacarosa (C₁₂H₂₂O₁₁), cloruro de sodio (NaCl 1%) y ácido cítrico (C₆H₈O₇ 0,5%). El proceso de deshidratación osmótica de las tiras de umbu fue realizada utilizando la relación fruto: solución igual a 1:2 en condiciones ambientales de temperatura (en media 32 °C) y presión, sin agitación mecánica. El tiempo de inmersión y la concentración de la solución osmótica de cada ensayo fueron estudiados de acuerdo con el diseño experimental (Tabla 2). Los umbus deshidratados fueron lavados y colocados en tamiz para drenar el exceso de solución osmótica durante un período de 10 min.

Análisis físico-químicas

Los frutos “*in natura*” y los obtenidos en cada experimento fueron analizados en cuanto a su

actividad de agua (Aqualab-Decagon Modelo Séries 3TE); humedad en estufa al vacío a 70°C hasta peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005 con modificaciones); contenido de vitamina C, expresado en mg de ácido ascórbico/ 100 g de muestra titulada con yodato de potasio (KIO₃) 0,01 M (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005); acidez, expresada en porcentaje (%) de ácido cítrico por medio de la titulación con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 M (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005); contenido de sólidos solubles totales (refractómetro ABBE) y la masa del producto en balanza digital (Bioprecisa Modelo FA2104N). Estos análisis fueron realizados en duplicado y calculados en base húmeda.

Los valores de los parámetros anteriores fueron utilizados para calcular la pérdida de peso (PP), pérdida de humedad (PU), ganancia de sólidos (GS), índice de eficiencia de la deshidratación (IED), según las ecuaciones propuestas por Araújo et al. (2010).

-Pérdida de Peso: calculada por la Ecuación 1:

$$PP (\%) = 100 \frac{(M_i - M_f)}{(M_f)} \quad (1)$$

donde: PP (%) = pérdida porcentual de peso del material deshidratado; M_i y M_f = masa total inicial e final del material (g), respectivamente.

- Pérdida de Humedad: dada por la diferencia, en términos porcentuales, entre el peso del material antes y después de la deshidratación (Ecuación 2):

$$PU (\%) = \frac{(U_i.M_i) - (U_f.M_f)}{M_f} \quad (2)$$

donde: PU (%) = pérdida de humedad en función de la masa inicial del material; U_i y U_f = humedad inicial y final del material (%), respectivamente; M_i y M_f = masa total inicial e final del material (g), respectivamente.

-Ganancia de Sólidos, calculado utilizando el balance de masa de sólidos durante la deshidratación osmótica (Ecuación 3):

$$GS = \frac{(S_i.M_i) - (S_f.M_f)}{M_i} \quad (3)$$

donde: GS (%) = ganancia de sólidos con base en la masa inicial del material; S_i y S_f = contenido inicial y final de sólidos totales del material (%), respectivamente; M_i y M_f = masa total inicial e final del material (g), respectivamente

-Índice de Eficiencia de Deshidratación (IED): dado por la relación entre la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos (Ecuación 4):

$$IED = \frac{PU}{GS} \quad (4)$$

donde: IED = Índice de eficiencia de la deshidratación; PU (%) = pérdida de humedad en función de la masa inicial del material; GS (%) = ganancia de sólidos con base en la masa inicial del material;

Análisis estadística

Las respuestas obtenidas para todos los ensayos fueron analizadas en relación a los efectos principales y a las interacciones entre los factores a través del programa computacional *Statistica*® 7.0 (STATSOFT, 2004).

Resultados y Discusión

Caracterización de los frutos "in natura"

El umbu *in natura* presentó las siguientes características: $87,43 \pm 0,14$ % de humedad, $0,991 \pm 0,100$ de actividad de agua, $10,1 \pm 0,1$ °Brix; $0,79 \pm 0,03$ g de ácido cítrico/100 g y $16,73 \pm 1,14$ mg de ácido ascórbico/100 g.

Estos valores están de acuerdo con los reportados en la literatura. Santos et al. (2010), en estudios relacionados con la caracterización físico-química de pulpas de umbu-cajá, reportaron productos con 10 °Brix, 1,32% de ácido cítrico y 8 mg de ácido ascórbico /100 g. Souza y Catão (1970), en experimentos con umbu recién colectados reportaron productos con valores de 87,8% de humedad, 31,2 mg de vitamina C en 100 g; 1,57% de acidez (expresado en ácido tartárico) y 8,34% de azúcares totales. Bispo (1989) en análisis de la pulpa de umbu, reporto valores de 89,9% de humedad, 1,23% de acidez total titulable (expresado en ácido cítrico), 9,61 mg de ácido ascórbico/100 g, 7,95% de azúcares totales, 0,52% de proteínas, 0,35% de ácidos grasos, 0,37% de fibras, pH de 2,45, 0,35% de cenizas, 0,82% de pectina y 126,27 mg de taninos/100 g de pulpa.

Deshidratación osmótica

Los umbus deshidratados presentaron características físicas tales como forma y tamaño similares al umbu natural, destacándose por presentar una apariencia de superficie más brillante como consecuencia del contacto con la solución azucarada.

El efecto de las condiciones del proceso de deshidratación osmótica sobre las respuestas acidez (A), contenido de vitamina C (Vc), pérdida de peso

(PP), pérdida de humedad (PU), ganancia de sólidos (GS) e índice de eficiencia de la deshidratación (IED) son presentados en la Tabla 3. Los parámetros utilizados para determinar las mejores condiciones de deshidratación fueron la maximización de los valores del contenido de vitamina C, pérdidas de peso y de humedad y minimización de la ganancia de sólidos y de acidez. Estas características son necesarias para la obtención de productos de buena calidad tecnológica y nutricional.

Tabla 3. Respuestas de las variables dependientes en la deshidratación osmótica del umbu.

ENSAYO	Variables independientes reales		Variables dependientes					
	Tiempo de inmersión (h)	Solución osmótica (°Brix)	A	Vc	PP	PU	GS	IED
1	1	35	0,88	15,60	10,87	14,44	3,57	4,04
2	3	35	0,89	16,23	10,31	18,90	2,51	7,54
3	1	45	0,65	10,23	11,89	15,03	3,14	4,79
4	3	45	1,07	15,39	17,28	21,71	4,43	4,90
5	2	40	0,76	13,69	18,00	22,81	4,03	4,75
6	2	40	0,76	13,40	17,22	21,41	4,19	5,11
7	2	40	0,74	12,41	17,39	21,04	3,65	5,77

A- Acidez; Vc- Vitamina C; PP- Pérdida de peso; PU- Pérdida de Humedad; GS- Ganancia de Sólidos; IED- Índice de eficiencia de la deshidratación.

Fuente: Elaboración de los autores.

Análisis estadística

La Tabla 4 presenta los resultados del Análisis de Variancia (ANOVA) y los coeficientes de correlación (R^2) para cada respuesta estudiada. Los coeficientes de regresión son presentados en la Tabla 5.

El grado de significancia de la regresión y la falta de ajuste fueron evaluados a través del Análisis de Variancia (ANOVA) y del teste F, considerando un 95% de confianza ($p < 0,05$).

Los modelos para las respuestas GS e IED fueron considerados predictivos porque presentaron valores

de coeficiente de correlación (R^2) superiores a 85%, la regresión fue significativa ($F \text{ cal.} > F \text{ tab.}$) y la falta de ajuste no fue significativa ($F \text{ cal.} < F \text{ tab.}$). Para la respuesta Vc la regresión no fue significativa ($F \text{ cal.} < F \text{ tab.}$), sin embargo el modelo presentó buen ajuste con un coeficiente de correlación igual a 87,4%. Por eso, todas estas respuestas fueron sometidas al análisis de superficie de respuesta. Por otro lado, para las respuestas A e PP los modelos no fueron validados porque presentaron coeficientes de correlación iguales a 78% y 42%, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del Análisis de Variancia (ANOVA) para las respuestas: A, Vc, PP, PU, GS e IED.

Fuentes de variación	SQ	GL	MQ	F calc.	F tab.
A					
Regresión	0,09	3	0,03	3,56	9,28
Residuo	0,03	3	0,01		
Falta de ajuste	0,03	1	0,03	143,99	18,51
Error puro	0,00	2	0,00		
Total	0,12	6			R ² =78,0
Vc					
Regresión	23,12	3	7,71	6,92	9,28
Residuo	3,34	3	1,11		
Falta de ajuste	2,45	1	2,45	5,49	18,51
Error puro	0,89	2	0,45		
Total	26,46	6			R ² =87,4
PP					
Regresión	30,64	3	10,21	0,72	9,28
Residuo	42,37	3	14,12		
Falta de ajuste	42,03	1	42,03	248,26	18,51
Error puro	0,34	2	0,17		
Total	73,01	6			R ² =41,9
PU					
Regresión	35,13	3	11,71	1,08	9,28
Residuo	32,43	3	10,81		
Falta de ajuste	30,70	1	30,70	4,97	18,51
Error puro	1,73	2	0,87		
Total	67,57	6			R ² =51,9
IED					
Regresión	7,02	3	2,34	22,56	9,28
Residuo	0,31	3	0,10		
Falta de ajuste	0,06	1	0,06	10,29	18,51
Error puro	0,27	2	0,12		
Total	7,33	6			R ² =95,8
GS					
Regresión	6,36	3	2,12	39,08	9,28
Residuo	0,16	3	0,05		
Falta de ajuste	0,01	1	0,01	0,11	18,51
Error puro	0,15	2	0,08		
Total	6,52	6			R ² =96,3

SQ= Suma cuadrática; GL= grados de libertad; MQ= media cuadrática; A- Acidez; Vc- Vitamina C; PP- Pérdida de peso; PU- Pérdida de Humedad; IED- Índice de eficiencia de la deshidratación; GS- Ganancia de Sólidos; F calc.= distribución de los valores de F calculado ($p < 0,05$); F tab. = valores tabulados de F en $p < 0,05$ y R²= coeficiente de correlación.

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 5. Coeficientes de regresión de los modelos para las variables dependientes: A, Vc, PP, PU, GS e IED.

Coeficientes	Variables Dependientes					
	A	Vc	PP	PU	GS	IED
β_0	0,823	13,849	14,710	19,335	3,916	5,402
β_1	0,109	1,447	1,208	2,784	1,035	0,904
β_2	-0,014 ^(NS)	-1,551	1,998	0,849 ^(NS)	-0,595 ^(NS)	-0,472 ^(NS)
β_{12}	0,103	1,132 ^(NS)	1,488	0,556 ^(NS)	-0,405 ^(NS)	-0,846

NS= no significativo; A- Acidez; Vc- Vitamina C; PP- Pérdida de peso; PU- Pérdida de Humedad; GS- Ganancia de Sólidos; IED- Índice de eficiencia de la deshidratación; β_0 = Coeficiente de la media; β_1 = Coeficiente del tiempo de inmersión; β_2 = Coeficiente de la concentración de la solución osmótica; β_{12} = coeficiente de la interacción entre el tiempo y la concentración.

Fuente: Elaboración de los autores.

En la Tabla 5 se verifica que todas las respuestas fueron influenciadas positivamente por el efecto individual del tiempo de inmersión lo que indica una relación directa entre ellas. La concentración de la solución osmótica no tuvo un efecto significativo sobre las variables A, PU, GS e IED.

A continuación se presenta el análisis del efecto del tiempo de inmersión y de la concentración de la solución sobre cada una de las respuestas estudiadas.

Acidez

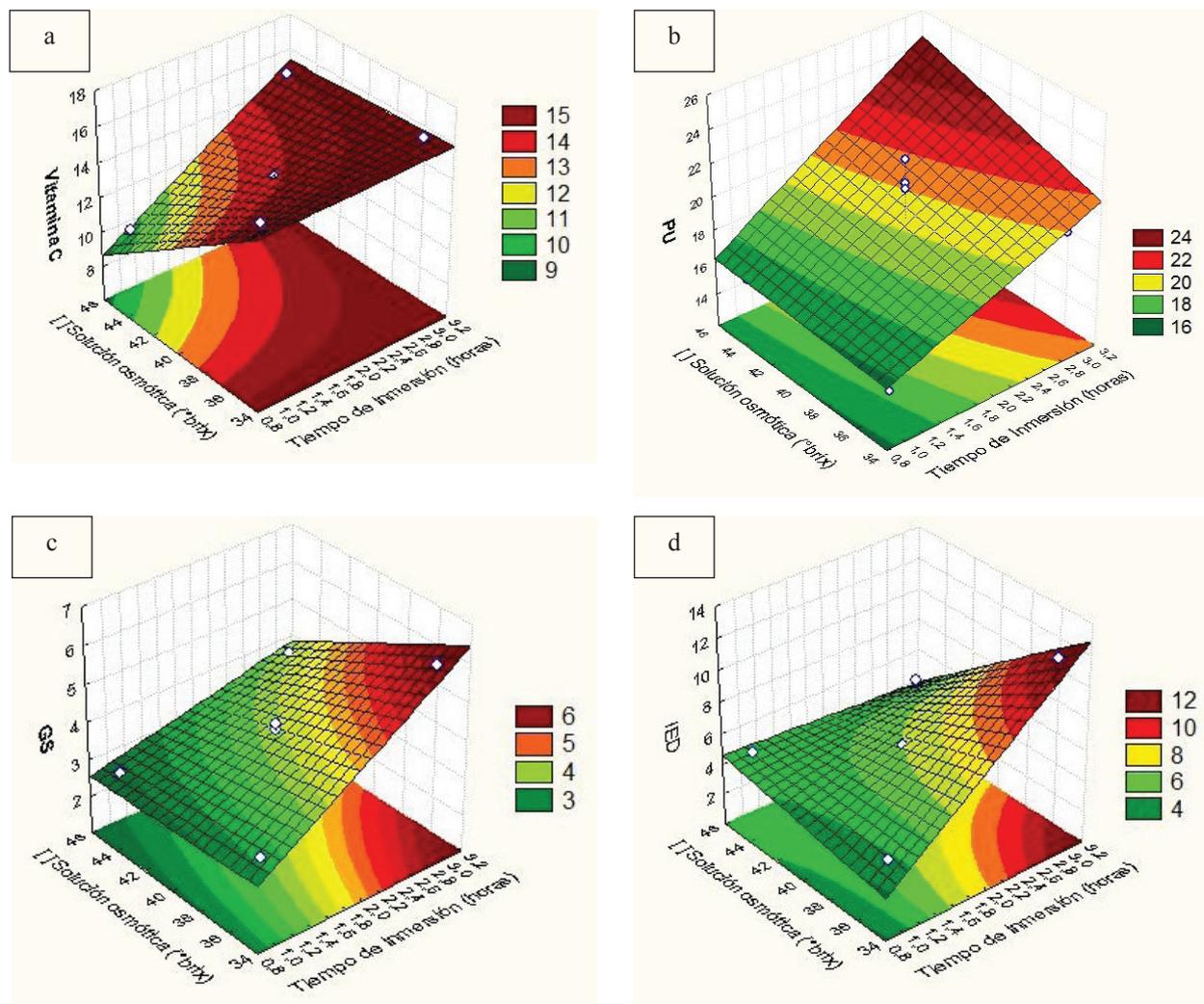
El efecto del tiempo de inmersión y de la interacción del tiempo con la concentración sobre el contenido de acidez fue significativo a un nivel de 95% de significancia (Tabla 5). Se observa que el aumento en el tiempo de inmersión incrementa los valores de acidez de los frutos (Tablas 3 y 5). Sin embargo, el efecto de la concentración no fue significativo sobre esta respuesta, lo que se debe, posiblemente, a la pequeña variación realizada en esta variable (35 a 45 °Brix). Debemos destacar que el límite superior de concentración de la solución utilizado fue definido con el objetivo de obtener un fruto deshidratado con características sensoriales próximas de la fruta “*in natura*”, preservando el sabor levemente ácido y la textura no pegajosa, lo que no ocurre en procesos utilizando soluciones más

concentradas de sacarosa. Martins, Cunha y Silva (2008) estudiaron el proceso de deshidratación osmótica de caju del cerrado utilizando soluciones de sacarosa con concentraciones superiores a 45 °Brix. Estos autores constataron una disminución de la acidez con el aumento del tiempo de inmersión y la reducción de la concentración de la solución osmótica.

Vitamina C

El efecto individual de los factores tiempo de inmersión y concentración de la solución osmótica fue significativo ($p < 0,05$) sobre la respuesta contenido de vitamina C. El coeficiente negativo de la concentración de la solución osmótica (-1,551) indica que el aumento de la concentración produce la disminución del contenido de vitamina C en la fruta. A través del ANOVA se constató que la falta de ajuste no fue significativa ($p < 0,05$), con un coeficiente de correlación (R^2) de 87,4%, siendo posible considerar el modelo predictivo (Tablas 4 y 5). En todos los ensayos se constató una pérdida moderada de vitamina C (3 – 39%) en relación al umbu “*in natura*” que contiene 16,73 mg de vitamina C/100 g (Tabla 4). En el ensayo 2, correspondiente al mayor tiempo de inmersión (3 h) en solución con menor concentración (35 °Brix) hubo menor pérdida de vitamina (Figura 1a).

Figura 1. Superficies de respuesta del efecto del tiempo de inmersión y de la concentración osmótica sobre (a) contenido de vitamina C; (b) pérdida de humedad (PU); (c) ganancia de sólidos (GS) y (d) índice de eficiencia de la deshidratación (IED) de umbu.



Fuente: Elaboración de los autores.

El proceso de deshidratación fue realizado en condiciones de temperatura ambiente (alrededor de 32 °C) por estar en una región donde las temperaturas son elevadas durante el verano y también debido a que la fruta tiene una pulpa de consistencia frágil y bastante sensible al efecto del calor. Estas condiciones favorecen la conservación

de vitamina C y del valor nutricional en el producto final. De acuerdo con Martins Cunha y Silva (2008), el empleo durante la deshidratación de caju del cerrado de condiciones de temperaturas superiores a 40°C y tiempo de inmersión máximo de 4 h tuvo una influencia significativa sobre las pérdidas de vitamina (86 – 95%).

Pérdida de peso

El efecto individual del tiempo de inmersión y de la concentración de la solución osmótica así como la interacción entre estas variables tuvo un efecto significativo sobre la pérdida de peso, a un nivel de 95% de confianza (Tabla 5). El aumento de estas variables favoreció la pérdida de peso del umbu siendo verificado que la concentración de la solución osmótica tuvo una influencia 60% mayor que el tiempo de inmersión, basado en la relación entre los coeficientes de regresión de los parámetros. Resultados similares fueron reportados por Lima (2004) en estudio del proceso de deshidratación osmótica de pedúnculos de caju. Según Mizrahi et al. (2001) el aumento de la concentración de la solución osmótica provocó mayor pérdida de peso debido a la mayor presión osmótica en el exterior de la fruta, lo que produjo la migración de agua del interior de la fruta para la solución.

Pérdida de humedad

El efecto del tiempo de inmersión fue significativo ($p < 0,05$) sobre la respuesta pérdida de humedad del fruto. El coeficiente de regresión positivo (2,78) así como el análisis de la superficie de respuesta (Figura 1b) indicaron que mayores pérdidas de humedad son producidas con mayores tiempos de inmersión. Por otro lado el efecto de la concentración de la solución osmótica en el rango estudiado (35-45 °Brix) no fue significativo a 95% de confianza, aunque el coeficiente de regresión positivo indica que el aumento de la concentración osmótica provoca un incremento en la pérdida de humedad. Estos resultados pueden ser constatados en estudios reportados por Figueiredo et al. (2004), Martins Cunha y Silva (2008) y Araújo et al. (2010) sobre los procesos de deshidratación de melón, caju y yambo rojo, respectivamente, utilizando soluciones más concentradas de azúcar. Mercali et al. (2010) estudiaron la cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación del arándano y verificaron que la concentración osmótica (45 a 60

°Brix) no fue significativa en la pérdida de agua de la fruta.

Los estudios de deshidratación, en su mayoría, utilizan soluciones de azúcar mayores que 40° Brix favoreciendo las pérdidas de agua y la mayor relación entre las variables concentración y pérdida de agua. Sin embargo, las características de la fruta son otros factores que controlan el proceso de deshidratación. Para el umbu, en ensayos preliminares con el uso de concentraciones superiores a 45 °Brix se observó que la penetración del soluto era mayor tornando la fruta demasiado dulce y pegajosa.

En todas las condiciones experimentales estudiadas la pérdida de humedad fue mayor que el aumento del contenido de sólidos en los frutos (Tabla 4). Souza Neto et al. (2005), Antonio et al. (2006) y Araújo et al. (2010), presentaron resultados similares en los estudios de deshidratación osmótica de mango, boniato y yambo-rojo, respectivamente.

Ganancia de sólidos

El tiempo de inmersión tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la respuesta ganancia de sólidos (Tabla 3). El valor positivo del coeficiente de regresión indicó que menor tiempo de inmersión produce menor ganancia de sólidos en la fruta (Tabla 5). Menores incorporaciones de sólido ocurren en las primeras dos horas de deshidratación, como puede ser verificado en la Figura 1c. Este comportamiento fue observado también por Martins Cunha y Silva (2008) en el estudio de la deshidratación osmótica de caju del cerrado.

Índice de eficiencia de la deshidratación (IED)

El efecto individual del tiempo de inmersión y la interacción entre el tiempo de inmersión y la concentración fue significativo sobre este índice, en un nivel de 95% de confianza. Los mayores tiempos de inmersión favorecieron el aumento del índice IED. Por otro lado, la concentración osmótica

no fue significativa e interfirió de modo inverso, o sea, un aumento de esta variable provocó la disminución del IED (Tabla 4). Mayores valores del IED son obtenidos en la región donde son utilizadas soluciones menos concentradas y mayores tiempos de inmersión (Figura 1d).

El índice IED es determinado mediante la relación entre la pérdida de humedad (PU) y la ganancia de sólidos (GS), por lo que para obtener valores mayores de IED se debe maximizar la PU y minimizar el valor de GS. El mayor valor para este índice (7,54) fue obtenido en las condiciones de mayor tiempo de inmersión (3 h) y de menor concentración de la solución azucarada (35°Brix).

Conclusiones

Las condiciones de mayor tiempo de inmersión (3 h) y menor concentración de la solución osmótica (35°Brix) condujeron a la obtención de productos con mayores contenidos de vitamina C, pérdida de humedad e índice de eficiencia da la deshidratación, así como menor ganancia de sólidos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) de Brasil por el apoyo financiero.

Referencias

ANDRADE, R. S. G. de; DINIZ, M. C. T.; NEVES, E. A. Determinação e distribuição de ácido ascórbico em três frutos tropicais. *Eclética Química, Araraquara*, v. 27, p. 393-401, 2002. Suplemento especial.

ANTONIO, G. C.; KUROSZAWA, L. E.; XIDIEH MURR, F. E.; PARK, K. J. Otimização da desidratação osmótica de batata doce (*Ipomoea batatas*) utilizando metodologia de superficie de resposta. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 9, n. 2, p. 135-141, 2006.

ARAÚJO, L. C. de; GUERRA, N. B.; VASCONCELOS, M. A. S.; SHINOHARA, N. K. S.; ALBUQUERQUE, S. S. M. C. de; ANDRADE, S. A. C. Otimização da

desidratação osmótica do jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*). *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 98-106, 2010.

BISPO, E. S. *Estudo de produtos industrializáveis do umbu (Spondias tuberosa, Arr. Câmara)*. 1989. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. *Introdução à química de alimentos*. 3. ed. São Paulo: Varela, 2003. 238 p.

BRASIL. Resolução ANVISA/MS nº 272, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. *Diário Oficial [da] União*, Brasília, DF, 23 de set. 2005, Seção 1, p. 3.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. L. Processamento do fruto do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). *Ciência Agrotecnologia*, Lavras, v. 24, n. 1, p. 252-259, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Conjuntura mensal-umbu*. 2012. Disponible en: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/43a36d5212768ca7a4767fa07570eaaad.pdf>>. Acceso en: 04 feb. 2013.

DANTAS JÚNIOR, O. R. *Qualidade e capacidade antioxidante total de frutos de genótipos de imbuzeiro oriundos do Semi-Árido nordestino*. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Pesquisa investiga produção de fermentado de umbu. 2012. Disponible en: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2011/marco/1a-semana/pesquisa-investiga-producao-de-fermentado-de-umbu/?searchterm=umbu>>. Acceso en: 04 feb. 2013.

FIGUEIREDO, R. W.; LIMA, A. S.; MAIA, G. A.; LIMAS, J. R.; SOUZA NETO, M. A.; SOUZA, A. C. R. Estudo das variáveis de processo sobre a cinética de desidratación osmótica de melão. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 24, n. 2, p. 282-286, 2004.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U.; CARDOSO, R. L.; MACHADO, S. S.; ROCHA, A. S.; LIMA, R. R. Aproveitamento industrial do umbu: processamento de geléia e compota. *Ciência Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1308-1314, 2003.

GONÇALVES, A. A.; BLUME, A. R. Efeito da desidratación osmótica como tratamento preliminar na secagem do abacaxi. *Estudos tecnológicos*, São Leopoldo, v. 4, n. 2, p. 124-134, 2008.

- INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. *Métodos químicos e físicos de análise de alimentos*. 4. ed. Brasília: IAL, 2005. 1018 p. (Série A – Normas e Manuais Técnicos).
- LIMA, A. C. *Estudo para agregação de valor aos produtos do caju: elaboração de formulações de fruta e castanha em barras*. 2004. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F. de O.; FIGUEIREDO, R. W. Curso de especialização em tecnologia de processamento de sucos e polpa tropicais: matérias-primas. In: MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F.; GUIMARAES, A. C. L. (Ed.). *Curso de especialização por tutoria à distância*. Brasília: ABEAS, v. 2, cap. 22, 1998. p. 219-224.
- MARTINS, M. L. A.; BORGES, S. V.; DELIZA, R.; CASTRO, F. T.; CAVALCANTI, N. B. Características de doce em massa de umbu verde e maduro e aceitação pelos consumidores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1329-1333, 2007.
- MARTINS, M. C. P.; CUNHA, T. L.; SILVA, M. R. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, n. 28, p. 158-165, 2008. Suplemento.
- MERCALI, G. D.; KECHINSKI, C. P.; COELHO, J. A.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Estudo da transferência de massa durante a desidratação osmótica de mirtilo. *Brazilian Journal Food Technology*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 91-97, 2010.
- MIZRAHI, S.; EICHLER, S.; RAMON, O. Osmotic dehydration phenomena in gel systems. *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 49, n. 1, p. 87-96, 2001.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de. *Tecnologia da produção do umbuzeiro (Spondias tuberosa Arr. Cam.)*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. (Pró-Reitoria de Extensão, n. 127).
- ORDÓÑEZ, J. A. *Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos*. São Paulo: Artmed, 2005. v. 1, 294 p.
- SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. O.; CONCEIÇÃO, M. N. Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (spondias tuberosa x s. Mombin) provenientes do recôncavo sul da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1089-1097, 2010.
- SOUZA NETO, M. A.; LIMA, J. R.; SOUZA FILHO, M. S. M.; MAIA, G. A. *Processo agroindustrial: obtenção de um produto de manga por desidratação osmótica e complementação de secagem em estufa*. Embrapa, 2005. 3 p. (Comunicado técnico, 99).
- SOUZA, A. H. de; CATÃO, D. D. Umbu e seu suco. *Revista Brasileira de Farmácia*, Rio de Janeiro, v. 51, p. 335-353, 1970.
- STATSOFT. *Computer program manual*. Tulsa: Statsoft, 2004. (Statsoft Statistica for Windows 6.0).
- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, Oxford, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.
- VASCONCELOS, J. L. L. A. *Desidratação osmótica de figo da Índia (Opuntia ficus indica)*. 2010. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.