

Aplicación de secado osmótico para la obtención de un producto de humedad intermedia de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

Alexia Torres*, Julieta Guinand y Emilio Ineichen

Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Miranda. Venezuela

RESUMEN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es un fruto tropical considerado buena fuente de fibra dietética, ácido ascórbico, minerales y compuestos fenólicos. Una alternativa para la preservación de frutas y diversificación de su consumo es aplicar técnicas como el secado osmótico, por lo que se planteó como objetivo en esta investigación, osmodeshidratar rodajas de frutos maduros de tomate de árbol para obtener un producto de humedad intermedia. En las rodajas del fruto se evaluó el efecto de la temperatura (25, 35 y 45°C) y concentración de sólidos solubles (solución de sacarosa a 40, 50 y 60°Brix) en ganancia de sólidos, pérdida de agua e índice de eficiencia de deshidratación del fruto, aplicando un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 3×3. Los tomates osmodeshidratados fueron secados y evaluados sensorialmente por 50 evaluadores (pruebas de “valor justo” y escala no estructurada para medir la aceptabilidad). El tratamiento que presentó el mayor nivel de agrado fue escogido para elaborar la curva de secado y análisis de la composición. La combinación 45°C/50°Brix obtuvo más del 70% en “valor justo” para los atributos: color 90%, acidez 82%, dulzor 86% y textura 78% con buena aceptabilidad. La mayor velocidad de deshidratación en la curva de secado fue durante los primeros 20 min haciéndose constante a partir de los 100 min donde la ganancia de sólidos tuvo un comportamiento acorde con la pérdida de agua. El tomate deshidratado obtenido es un producto con humedad 12,16%; a_w 0,44; acidez 1,60 mg de ácido cítrico/100 g; pH 3,9; polifenoles totales 181,4 mg EAG/100 g; eficiencia antiradical 1,9 x 10⁻³ y poder reductor 89,6 mmol Fe²⁺ / 100 g.

Palabras clave: deshidratación osmótica, evaluación sensorial, frutas, procesamiento.

Application of osmotic dehydration in tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) to obtain a product of intermediate moisture

ABSTRACT

Tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) is a tropical fruit and a good source of dietary fiber, ascorbic acid, minerals and phenolic compounds. Techniques such as osmotic dehydration can be used in fruits for their preservation and for consumption diversification. In this research osmotic drying was applied to tomato tree fruits to develop intermediate moisture products. In ripe fruits, the effect of temperature (25, 35, and 45°C) and soluble solids concentration (sucrose solution 40, 50, and 60°Brix) in the solid gain, water loss rate and efficiency of dehydration (DE) index were assessed using a 3×3 factorial arrangement of treatments applying a completely randomized design. The osmodehydrated tomatoes were dried and sensory evaluated (50 evaluators) using tests “just about right” and an unstructured scale which determined the acceptability. The treatment that presented the higher level of satisfaction was chosen for the development of the drying curve and compositional analysis. The combination 45°C/50°Brix was rated with more than

*Autor de correspondencia: Alexia Torres

E-mail: aitorres@usb.ve.

70% in the “just about right” for color 90%, acidity 82%, sweetness 86%, and texture 78% with good acceptability. The greatest speed of osmotic dehydration on the drying curve was during the first 20 min becoming constant from the 100 min to the end, where solid gain behavior was consistent with water loss. The dehydrated tomato obtained is an intermediate moisture product that contains 12.16% moisture; a_w 0.44; acidity 1.60 mg of citric acid/100 g; pH 3.9; 181.4 mg polyphenols; antiradical efficiency 1.9×10^{-3} and power reduction 89.6 mmol Fe^{2+} / 100 g.

Key words: osmotic dehydration, sensorial evaluation, fruits, processing.

INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado a lo largo de los años la importancia que tiene para la salud el consumo de una adecuada cantidad de frutas y vegetales (Hollman y Arts, 2000; WHO/FAO, 2003). La diversificación del consumo de estos productos permite captar nuevos consumidores, lo que se hace imprescindible en países en vías de desarrollo. El tomate de árbol, *Solanum betaceum* Cav., es un fruto tropical que presenta un bajo valor calórico (30 kcal/100 g), fibra dietética (4,10 g/100 g) y minerales como fósforo, calcio, magnesio, potasio y hierro (Torres, 2012). Además, se ha señalado (Rodríguez-Amaya *et al.*, 1983) que el tomate de árbol aporta compuestos con potencial antioxidante como la vitamina A (2475 IU/100 g) y vitamina C (23,32 mg/100 g), y también se ha encontrado (Torres, 2012) la presencia de compuestos fenólicos (1,39 mg EAG/g), antocianinas (0,29 mg cianidina/g) y taninos (0,40 mg catequina/100 g).

Las pérdidas postcosecha de frutas en los países subdesarrollados son considerablemente altas. Diversas técnicas de procesamiento pueden ser empleadas para su preservación y comercialización, siendo la deshidratación osmótica una de ellas. Esta técnica utiliza soluciones concentradas de azúcar, sal u otros solutos cuyo diferencial osmótico permite reducir el contenido de agua de la materia procesada siendo su principal ventaja la reducción de peso y volumen; así como, la retención de características organolépticas y nutricionales (Andrade *et al.*, 2007; Chavan y Amarowicz, 2012). La aplicación de estos procesos incentiva el desarrollo de nuevos productos osmodeshidratados y nuevas metodologías que sirven para investigaciones posteriores en el campo agroindustrial local.

En el presente trabajo se evaluó la aplicación de la técnica de secado osmótico en el tomate de árbol conducente al desarrollo de nuevos productos de humedad intermedia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se emplearon 20 kg de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) adquiridos de un productor local en El Jarillo, Aragua, Venezuela. Los tomates de árbol seleccionados presentaron un grado de madurez

apropiado (10-12°Brix; según la NTC-4105 (Norma Técnica Colombiana, 1997). El fruto fue lavado y desinfectado por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio de 200 ppm por 10 min. Posteriormente, los tomates fueron escaldados a 95°C/8 min en solución al 0,5% de ácido cítrico. Una vez enfriados, fueron pelados, picados y las semillas removidas de forma manual.

Diseño experimental

Se partió de un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 3×3 con dos factores (solución osmótica y temperatura) a tres niveles cada uno (Cuadro 1) y tres réplicas por tratamiento.

Solución osmótica

Se prepararon tres soluciones de 1 L a 40, 50 y 60°Brix. Se adicionó ácido cítrico y ascórbico en una concentración de 0,5% y sulfito de sodio a una concentración de 150 ppm.

Deshidratación osmótica

Los frutos se picaron en cuatro partes, se pesaron y se colocaron en envases de vidrio con tapa en una proporción 1:20 (1 parte de fruto por 20 partes de solución de sacarosa). Se sumergieron en la solución osmótica para cada tratamiento hasta 48 h. Se midió el contenido de humedad de acuerdo al procedimiento descrito en el método 940.25 de la AOAC (2005) al inicio y a las 48 h y el contenido de sólidos solubles (°Brix) de los frutos al inicio y a las 48 h, empleando un refractómetro Abbe a 25°C de acuerdo al método 932.12 (AOAC, 2005). Con los datos obtenidos se calculó la ganancia

Cuadro 1. Factores y niveles evaluados

Solución osmótica, °Brix	Temperatura, °C
40	25
50	35
60	45

de sólidos, la pérdida de agua y el índice de eficiencia de deshidratación (IED; ecuaciones 1, 2 y 3). Una vez finalizado el proceso, los frutos fueron secados en estufa de convección forzada (marca Memmert) a 45°C /18 h para su caracterización sensorial.

$$\text{Ecuación 1: GS} = \frac{[M_t(1-X_t) - M_o(1-X_o)]}{M_o} * 100$$

$$\text{Ecuación 2: PA} = \frac{(M_o X_o - M_t X_t)}{M_o} * 100$$

$$\text{Ecuación 3: IED} = \frac{PA}{GS}$$

donde:

GS = Ganancia de sólidos de la fruta (g/100g MSi)

PA = Pérdida de agua de la fruta (g/100 g MSi)

IED = Índice de eficiencia de deshidratación

MSi = Contenido inicial de materia seca

M_o = Peso inicial del material (g), al tiempo t=0

M_t = Peso del material (g), al tiempo t

X_o = Fracción del peso del agua (g), en el material al tiempo t=0

X_t = Fracción del peso del agua (g), en el material al tiempo t

S_o = Peso de la materia seca (g), en el material al tiempo t=0

S_t = Peso de la materia seca (g), en el material al tiempo t

Evaluación sensorial

Para la selección del mejor tratamiento se realizó una prueba de "valor justo" (Gacula *et al.*, 2007) a los frutos osmodeshidratados producto de los distintos tratamientos del diseño aplicado, para determinar los niveles adecuados de color, acidez, dulzor y textura de los tomates deshidratados. Igualmente se realizó una prueba escalar no estructurada (10) donde los extremos fueron el punto inicial "disgusta" y el punto final "gusta" para determinar la aceptabilidad del producto (Meilgaard *et al.*, 1999). Las evaluaciones se realizaron con 50 evaluadores. El tratamiento con el mejor puntaje fue seleccionado para la elaboración de la curva de secado.

Curva de secado

Partiendo de la fruta previamente escaldada, se tomaron trozos de 5 a 8 mm, los cuales fueron pesados y sumergidos en la solución osmótica del tratamiento seleccionado previamente, para la elaboración de la curva de secado. A una muestra de la fruta se le determinó el contenido de humedad (AOAC, 2005) y materia seca inicial. Se tomaron porciones de fruta a intervalos de 20 min durante un tiempo de 2 h y 20 min. Se eliminó el exceso de solución de la muestra con papel absorbente por 30 seg y se registró el peso para estimar su reducción durante el proceso. Se determinó el porcentaje de humedad mediante el método 940.25 (AOAC, 2005). Se realizaron gráficas de humedad, pérdida de agua, reducción de peso, ganancia de sólidos y variación de grados Brix de acuerdo a las ecuaciones 4 y 5. Para el cálculo de la PA y GS se emplearon las ecuaciones 2 y 3, previamente descritas, expresados en g/100 g MSi.

$$\text{Ecuación 4: H} = \frac{(M_t - M_o)}{M_o} * 100$$

$$\text{Ecuación 5: RP} = \frac{(M_o - M_t)}{S_o} * 100$$

donde:

H = Humedad (g/100 g)

RP = Reducción total del peso de la fruta (g/100 g MSi)

M_o = Peso inicial del material (g), al tiempo t=0

M_t = Peso del material (g), al tiempo t

S_o = Peso inicial de la materia seca (g), en el material al tiempo t=0

Caracterización física y química del producto deshidratado con mejor aceptación

El producto seleccionado fue secado en estufa de convección forzada (marca Memmert) a 45°C /18 h para su caracterización física y química. La humedad y los sólidos solubles se determinaron de acuerdo a los procedimientos descritos anteriormente (AOAC, 2005), mientras que la actividad de agua (a_w) se determinó a 25°C utilizando el Decagon CX2. Para medir acidez y pH, se hizo una dilución de la fruta deshidratada con agua destilada, de acuerdo al procedimiento descrito en los métodos 942.15 y 945.10 de la AOAC (2005).

Los compuestos polifenoles fueron determinados por el método que emplea el reactivo Folin-Ciocalteu (Wrolstad *et al.*, 2005), utilizando una alícuota de la

fruta deshidratada extraída previamente con metanol al 80% acidificado, luego se midió absorbancia a $\lambda=765$ nm empleando ácido gálico (Sigma®) como patrón. Se expresó el contenido como equivalentes de ácido gálico (EAG/g).

La actividad antioxidante se midió en el extracto de fruta obtenido para la determinación de polifenoles, empleando el método de actividad atrapadora de radicales libres (DPPH; Sigma®) sugerida por Sánchez-Moreno *et al.* (1998), el cual se basa en la reducción de la absorbancia por el anión radical DPPH por los antioxidantes presentes en la matriz analizada. Se calculó el porcentaje de actividad de radical libre y se obtuvo el valor de EC_{50} (concentración de fruta necesaria para atrapar 50% de los radicales libres DPPH expresada en g DPPH/g fruta), TEC_{50} y la eficiencia antiradical.

El poder reductor férrico se realizó de acuerdo al procedimiento que emplea $FeCl_3$ (Merck®) y $K_3Fe(CN)_6$ (Merck®) a pH 3,6 (Valcarcel y Basulto, 2004). Se leyó la absorbancia de las muestras a $\lambda=720$ nm. El poder reductor férrico se expresó para cada muestra como la cantidad de Fe que aparece reducido (mmol Fe^{2+} /100 g), empleando los datos de la curva de calibración con $FeSO_4$ (Riedel de Haen). Para los métodos colorimétricos se midió la absorbancia en un equipo espectrofotómetro (Genesys 6 ThermoScientific, EUA).

Análisis estadístico

Las variables estudiadas se presentan como media y desviación estándar de tres réplicas. Los valores obtenidos del diseño factorial para la deshidratación osmótica fueron analizados con un análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%. Para la prueba sensorial de escala hedónica se empleó un análisis de comparación múltiple. En la combinación de tratamientos donde se encontró efecto de alguna de las variables o interacción de los factores, se evaluó el contraste de las medias empleando la prueba de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de $P<0,05$. Para los cálculos se empleó el programa estadístico Statgraphics Centurion XV (Statpoint, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del diseño experimental en cuanto a ganancia de sólidos, pérdida de humedad e índice de eficiencia de deshidratación de las piezas de tomate de árbol sometidas a los diferentes tratamientos de secado osmótico. Se aprecia que el factor temperatura del proceso ejerció un efecto significativo ($P<0,05$) para la variable ganancia de sólidos, la cual fue mayor a $45^\circ C$ (20,75 g/100 g),

mientras que el menor valor se obtuvo a $35^\circ C$ (9,49 g/100 g). Los valores obtenidos de ganancia de sólidos solubles muestran una variación comparable con lo reportado por Villa *et al.* (2009) en frutos de tomate de árbol, kiwi, piña y toronja, luego de aplicación del secado osmótico a $25^\circ C$ en jarabes de 55 y $65^\circ Brix$.

La concentración de la solución afectó ($P<0,05$) la pérdida de agua de la fruta (Cuadro 2), siendo la condición de $60^\circ Brix$ la que ocasionó el mayor efecto (37,23 g/100 g), mientras que la menor pérdida ocurrió a $40^\circ Brix$ (23,20 g/100 g). La interacción de los factores ($^\circ Brix$ y temperatura) ejerció un efecto significativo ($P<0,05$) sobre el índice de eficiencia de deshidratación. En el Cuadro 3 se presenta el efecto de la interacción de los factores evaluados sobre la variable en estudio y se evidencia que el tratamiento que permitió obtener el mayor índice de deshidratación ($P<0,05$), fue de $25^\circ C \times 60^\circ Brix$. Este índice se emplea para evaluar la efectividad del proceso de deshidratación y se le considera como parámetro de calidad (Matuska *et al.*, 2006).

De acuerdo a lo expuesto por Pinto de Oliveira *et al.* (2013), los estudios de deshidratación en su mayoría, utilizan soluciones de azúcar mayores que $40^\circ Brix$ favoreciendo las pérdidas de agua y la mayor relación entre las variables concentración y pérdida de agua. Así mismo, las características de la fruta como su porosidad y estado de maduración son otros factores que controlan el proceso de deshidratación. La tendencia de emplear la deshidratación osmótica en tratamientos preliminares no solamente sirve para remover el agua y disminuir el tiempo de secado, sino que además permite mejorar la calidad del producto (Lenart, 1996). En la osmodeshidratación se presenta un equilibrio osmótico que se determina mediante las velocidades de pérdida de agua, ganancia de sólidos y pérdida de peso del alimento (Melo, 1999).

Los resultados de la evaluación sensorial para la prueba de “valor justo” y de la escala hedónica no estructurada, se presentan en los Cuadros 4 y 5.

De acuerdo a los resultados del Cuadro 4 se observa que el tratamiento evaluado con más del 70% en el “valor justo” para todos los atributos medidos fue el de la condición de $45^\circ C/50^\circ Brix$ (color: 90%, acidez: 82%, dulzor: 86% y textura: 78%). El porcentaje de juicios en una categoría es la forma más común de analizar los resultados. Algunas investigaciones establecen un mínimo de 70% de las respuestas en la categoría “valor justo” para determinar si el atributo del producto es considerado aceptable (ASTM, 1996). Otros autores (Rothman y Parker, 2009) han determinado que un 80% de las respuestas en la categoría “valor justo” es

Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables ganancia de sólidos, pérdida de agua e índice de eficiencia por deshidratación

Variable dependiente	Fuente de Variación	gl ²	SC ¹	MC ³	F-ratio	P-valor
Ganancia de sólidos (g/100 g MSi)	Temp	2	537,42	537,42	38,53	0,0000
	°Brix	2	1,26	1,26	0,09	0,7663
	°Brix×Temp	4	0,59	0,59	0,04	0,8381
Pérdida de agua (g/100 g MSi)	Temp	2	140,75	140,75	3,22	0,0834
	°Brix	2	216,78	216,78	4,95	0,0340
	°Brix×Temp	4	34,08	34,08	0,78	0,3849
Índice de eficiencia de deshidratación	Temp	2	7,66	7,66	41,35	0,0000
	°Brix	2	1,20	1,20	6,49	0,0164
	°Brix×Temp	4	1,35	1,35	7,26	0,0116

¹SC: Suma de cuadrados; ²gl: grados de libertad; ³MC: media de cuadrados.

Cuadro 3. Índice de eficiencia del secado luego de aplicación de deshidratación osmótica en frutos de tomate de árbol¹

Concentración solución osmótica (°Brix)	Temperatura (°C)		
	25	35	45
40	2,45 ± 0,20 ^{cd}	2,43 ± 0,05 ^{cd}	1,65 ± 0,03 ^f
50	2,51 ± 0,35 ^c	2,98 ± 0,18 ^b	1,86 ± 0,11 ^{ef}
60	3,88 ± 0,49 ^a	2,07 ± 0,12 ^{de}	1,91 ± 0,06 ^{ef}

¹ Resultados son el promedio de tres réplicas ± desviación estándar.

^{abcdef} Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (P<0,05).

Cuadro 4. Evaluación sensorial (%) de los diferentes tratamientos de secado osmótico en frutos de tomate de árbol¹

Escala	Temperatura (°C)								
	25			35			45		
	Concentración (°Brix)								
	40	50	60	40	50	60	40	50	60
	Color								
Muy claro	0	4	14	6	22	2	2	0	0
Lo justo	76	86	72	86	74	72	68	90	72
Muy oscuro	24	10	14	8	4	26	30	10	28
	Acidez								
Poco ácido	10	14	20	26	26	8	16	16	12
Lo justo	82	78	66	66	72	88	80	82	84
Muy ácido	8	8	14	8	2	4	4	2	4
	Dulzor								
Poco dulce	12	14	22	10	8	10	10	14	16
Lo justo	86	80	72	84	90	84	84	86	74
Muy dulce	2	6	6	6	2	6	6	0	10
	Textura								
Muy suave	0	0	2	0	2	2	4	0	2
Lo justo	20	40	26	80	74	42	64	78	62
Muy dura	80	60	72	20	24	56	32	22	36

¹ Los resultados son expresados en porcentaje de respuestas (%) para n= 50 evaluadores. Escala de 3 puntos.

Cuadro 5. Análisis de varianza de la prueba de evaluación sensorial de escala hedónica de los diferentes tratamientos de secado osmótico en frutos de tomate de árbol

Variable dependiente	Fuentes de variación	gl ²	SC ¹	MC ³	F	P
Color	Temp	2	71,44	35,72	7,32	0,0007
	° Brix	2	84,11	42,06	8,62	0,0002
	°Brix×Temp	4	92,22	23,06	4,72	0,001
Acidez	Temp	2	21,78	10,89	2,04	0,1309
	° Brix	2	14,11	7,06	1,32	0,2672
	°Brix×Temp	4	3,97	3,97	0,75	0,5616
Dulzor	Temp	2	8,33	4,17	0,96	0,3825
	° Brix	2	2,33	1,17	0,27	0,7638
	°Brix×Temp	4	9,33	2,33	0,54	0,7069
Textura	Temp	2	403,0	201,5	35,06	0,0000
	° Brix	2	61,00	30,50	5,31	0,0053
	°Brix×Temp	4	64,00	16,00	2,78	0,0263
Aceptabilidad	Temp	2	92,67	46,33	6,82	0,0012
	°Brix	2	44,02	22,01	3,24	0,0401
	°Brix×Temp	4	57,51	14,38	2,12	0,0778

¹SC: Suma de cuadrados; ²gl: grados de libertad; ³MC: media de cuadrados.

lo ideal.

Del Cuadro 5 se puede inferir que para los atributos de color y textura, la interacción de los factores (temperatura × concentración solución) tuvo efecto ($P < 0,05$) sobre la respuesta observada, mientras que no se detectó diferencia entre los tratamientos para la respuesta de los consumidores a los atributos de acidez y dulzura.

La aceptabilidad del producto osmodeshidratado (Cuadro 5) fue afectada de manera independiente por los factores temperatura y concentración del jarabe. Del contraste de medias se obtuvo que los frutos deshidratados a 35 y 45°C y a la condición de 50°Brix fueron los más aceptados (puntaje de 6,05 y 6,17, respectivamente).

Si se combinan los resultados de las pruebas de valor justo (JAR) y aceptabilidad, se observa que los frutos deshidratados osmóticamente a 45°C/50°Brix, fueron los que obtuvieron la mayor puntuación, por lo que posteriormente se seleccionaron para la elaboración de la curva de secado y caracterización física y química.

En los Cuadros 6 y 7 se presentan los contrastes de las medias de los tratamientos para la evaluación de los atributos color y textura del producto.

En la Figura 1 se presenta la pérdida de humedad del tomate de árbol durante el secado osmótico. Al tiempo cero la humedad del producto fue de 87,69%.

Se observó la mayor velocidad de osmodeshidratación durante los primeros 20 min del proceso (22%), obteniéndose una pérdida de 37% a los 100 min, siendo la misma constante a partir de este momento hasta el tiempo final de estudio (250 min). En la literatura (Ríos *et al.*, 2005), se discute que valores de humedad inferiores al 40% en productos osmodeshidratados influyen en la pérdida de sus propiedades sensoriales.

En la Figura 2 se presenta la pérdida de agua de la fruta. La mayor pérdida ocurrió en los primeros 20 min (68%) y se evidenció una desaceleración a medida que pasó el tiempo, haciéndose constante a partir de los 100 min de experimentación hasta el final (250 min).

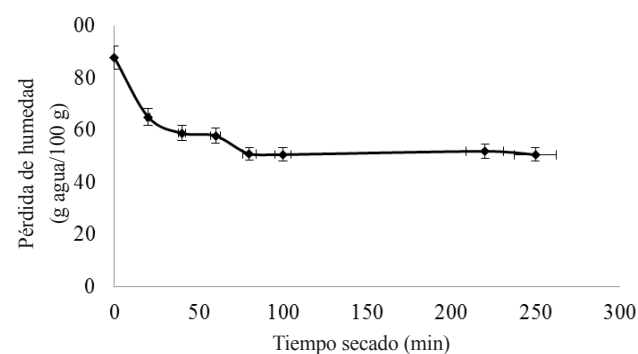


Figura 1. Pérdida de humedad durante el secado osmótico (45°C/50°Brix)

Cuadro 6. Atributo color evaluado en la prueba de escala hedónica no estructurada de los diferentes tratamientos de los tomates de árbol deshidratados¹.

Concentración solución osmótica (°Brix)	Temperatura (°C)		
	25	35	45
40	6,20 ± 2,16 ^{ab}	5,10 ± 1,89 ^c	6,40 ± 2,48 ^a
50	5,30 ± 1,87 ^{bc}	4,10 ± 2,41 ^d	5,50 ± 1,52 ^{abc}
60	5,00 ± 2,67 ^c	6,20 ± 2,38 ^{ab}	6,40 ± 2,27 ^a

¹ Resultados son el promedio de tres réplicas ± desviación estándar.

^{abcd} Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (P<0,05).

Cuadro 7. Atributo textura evaluado en la prueba de escala hedónica no estructurada de los diferentes tratamientos de los tomates de árbol deshidratados¹.

Concentración solución osmótica (°Brix)	Temperatura (°C)		
	25	35	45
40	9,00 ± 2,02 ^a	6,00 ± 2,02 ^c	6,40 ± 2,68 ^c
50	8,00 ± 2,47 ^b	6,10 ± 2,32 ^c	6,10 ± 2,09 ^c
60	8,50 ± 2,53 ^{ab}	7,70 ± 2,71 ^b	6,70 ± 2,69 ^c

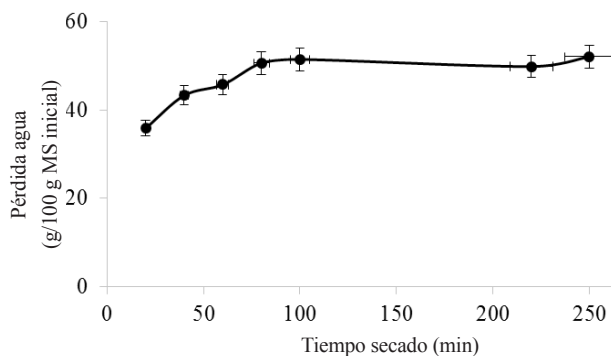
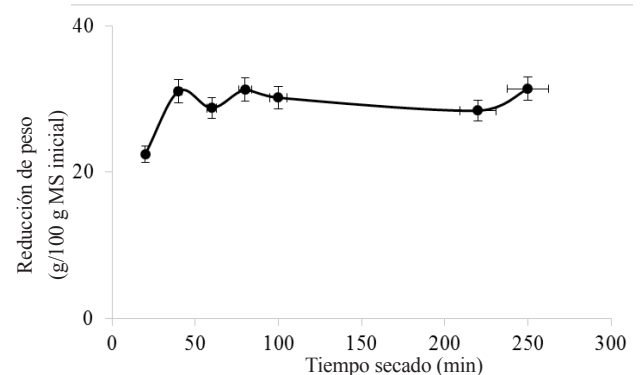
¹ Resultados son el promedio de tres réplicas ± desviación estándar.

^{abc} Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (P<0,05).

En la Figura 3 se muestra la reducción de peso del tomate de árbol durante el secado osmótico (45°C/50°Brix). Como era de esperarse, la mayor pérdida de peso ocurrió en los primeros 20 min (20,5%), tal como se reportó anteriormente. Al tiempo final se observó una pérdida de peso de 30% (250 min). El fenómeno más importante que se presenta en los procesos de secado osmótico es la salida de agua, pero paralelo a esto se puede presentar un ingreso de sólidos del jarabe al interior de la fruta lo que refleja que la pérdida de humedad es mayor. Los niveles de pérdida de peso promedio en las frutas más estudiadas como

piña, mango, guayaba o papaya son alrededor del 40% al cabo de cerca de seis horas de inmersión en jarabe con agitación a 20 - 25°C (Levi *et al.*, 1983). Según trabajos realizados por López *et al.* (2002), la deshidratación osmótica para el tomate de árbol presentó una cinética en la cual se observó que los mayores cambios en la pérdida de agua y de peso ocurrieron durante la primera hora de proceso, estabilizándose hacia la cuarta hora.

En la Figura 4 se observa la ganancia de sólidos durante el secado osmótico. Se aprecia un comportamiento acorde con la pérdida de agua. La

**Figura 2.** Pérdida de agua del tomate de árbol durante el secado osmótico (45°C/50°Brix)**Figura 3.** Reducción de peso del tomate de árbol durante el secado osmótico (45°C/50°Brix)

mayor ganancia ocurrió durante los primeros 20 min del proceso donde se evidenció un incremento de tres veces más al valor inicial de sólidos, haciéndose constante a los 100 min.

La pérdida de °Brix en la solución osmótica durante el proceso de osmodeshidratación se muestra en la Figura 5. En los primeros 20 min es donde se evidencia la mayor pérdida de la concentración (6,2%) siendo constante la misma a partir de los 100 min (9,2%). Estos resultados complementan los presentados en las figuras anteriores.

Los resultados de las características físicas y químicas evaluadas en el tomate de árbol osmodeshidratado

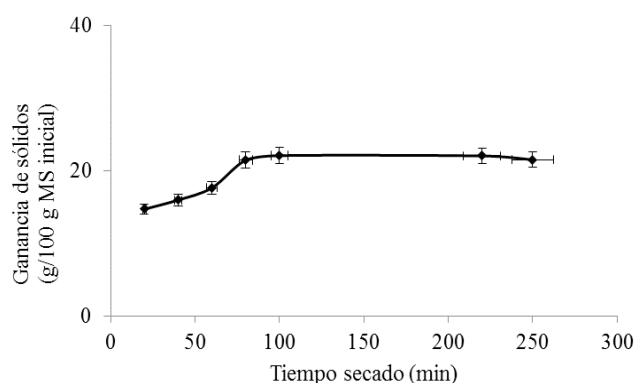


Figura 4. Ganancia de sólidos en el tomate de árbol durante el secado osmótico (45°C/50°Brix)

y posterior secado por convección se presentan en el Cuadro 8. La fruta parcialmente deshidratada a niveles del 40-50% de pérdida de agua no es completamente estable a condiciones ambientales, por lo que luego se justifica un proceso de secado (López *et al.*, 2002). En esta investigación, se alcanzó un valor final de humedad de 12,16% similar al obtenido en productos hortícolas bajo las mismas condiciones de proceso (León, 2007).

De acuerdo a los parámetros de humedad y a_w obtenidos, se puede acotar que se está en presencia de un producto de humedad intermedia. Así mismo, se puede considerar que el producto es ácido y tiene un aporte considerable de polifenoles los cuales inciden en la capacidad antioxidante encontrada.

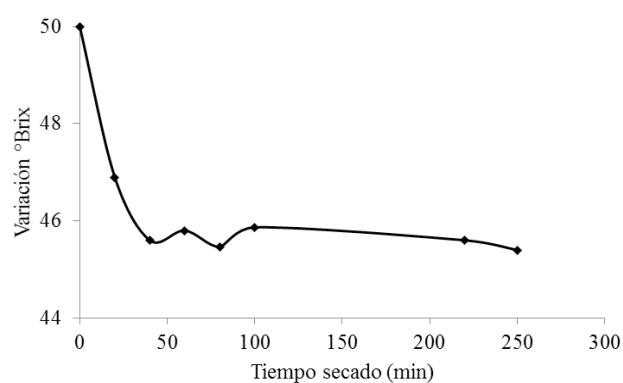


Figura 5. Pérdida de °Brix en la solución osmótica durante el proceso aplicado a los frutos de tomate de árbol a 45°C

Cuadro 8. Parámetros físicos y químicos determinados en tomate de árbol deshidratado osmóticamente (45°C/50°Brix) con posterior secado en convección.

Parámetro	Valor ³
Humedad (g/100 g)	12,16± 0,58
Actividad de agua (a_w)	0,44 ± 0,01
Acidez (mg de ácido cítrico/100 g)	1,60 ± 0,10
pH	3,92 ± 0,01
Polifenoles totales (mg EAG/100 g) ¹	181,40 ± 8,70
EC ₅₀ (g/g DPPH) ²	31,40 ± 0,40
T _{EC50} (min)	15,41 ± 0,03
Eficiencia antiradical	1,90 × 10 ⁻³ ± 0,30
Poder reductor férrico (mmol Fe ²⁺ /100 g)	89,60 ± 3,60

¹EAG: Equivalentes de ácido gálico.

²EC₅₀: concentración de fruta necesaria para atrapar 50% de los radicales libres (DPPH).

³Los resultados son el promedio ± la desviación estándar de n=3

CONCLUSIONES

El tomate de árbol es una fruta apta para ser procesada empleando osmodeshidratación, lo que contribuiría a una diversificación en su consumo.

El tratamiento de deshidratación osmótica seleccionado ejerció un efecto importante sobre la pérdida de agua y la ganancia de sólidos de los tomates de árbol en un corto período de tiempo, obteniéndose un producto osmodeshidratado de buen sabor, de humedad intermedia y con capacidad antioxidante.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación ha sido financiada por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (Fonacit) a través del Proyecto N° 2012000668.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, S.; B. Barros; A. Nóbrega; P. Azouble; N. Guerra. 2007. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana* L.). *J. Food Eng.* 78: 551-555.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18^{va} ed. AOAC International. Maryland, EUA.
- ASTM. 1996. *Sensory Testing Methods*. 2^{da} ed. Manual series MNL 26. ASTM International. Conshohocken, EUA. 38 p.
- Chavan, U. D.; R. Amarowicz. 2012. Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *J. Food Res.* 1: 202-209.
- Gacula, M. Jr.; S. Rutenbeck; L. Pollack; A. Resurreccion; H. Moskowitz. 2007. The just-about-right intensity scale: functional analyses and relation to hedonics. *J. Sens. Stud.* 22: 194-211.
- Hollman, P. C.; I. C. Arts. 2000. Flavonols, flavones and flavanols: Nature, occurrence and dietary burden. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1081-1093.
- Lenart, A. 1996. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Dry. Technol.* 14: 391-413
- León, L. 2007. Determinación de las mejores condiciones en la técnica de osmodeshidratación de zanahoria variedad Royal chantenay y remolacha variedad Early Gonder, cultivadas en la granja Tesorito de la Universidad de Caldas. *Vector* 2: 85 - 102.
- Levi, A.; S. Gaget.; B. J. Juven. 1983. Intermediate-moisture tropical fruit products for developing countries. I-Technological data on papaya. *Food Technol.* 18: 667-685.
- López, O.; L. Montes.; L. Serna.; G. Franco. 2002. Conservación del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) mínimamente procesado por deshidratación osmótica. IV Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Medellín, Colombia.
- Matuska, M.; A. Lenart; H.N. Lazarides. 2006. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *J. Food Eng.* 72: 85-91.
- Meilgaard, M.C.; T. Carr; G. Civille. 1999. *Sensory Evaluation Techniques*. 3ra ed. CRC Press. Boca Ratón, EUA. 242 p.
- Melo, L. 1999. Deshidratación osmótica del mango (*Tommy atkins*) efecto de diferentes regímenes de presión y diferentes medios. Trabajo de grado Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Norma Técnica Colombiana. 1997. Frutas frescas. Tomate de árbol. Especificaciones. NTC-4105. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, Colombia.
- Pinto de Oliveira, C.; S. Almeida de Souza; E. Acosta; A.L. da Silva; C.M. Rodrigues da Silva. 2013. Estudio del proceso de deshidratación osmótica de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara). *Semina. Ciências Agrárias* 34: 729-740.
- Ríos, M.; C.J. Márquez; H.J. Ciro. 2005. Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes. *Rev. Fac. Nal. Agr.* 58: 2989-3002.
- Rodríguez-Amaya, D. B.; P. A Bobbio; F. O. Bobbio. 1983. Carotenoid composition and vitamin A value of the Brazilian fruit *Cyphomandra betacea*. *Food Chem.* 12: 61-65.
- Rothman, L.; M. J. Parker. 2009. Just-About-Right Scales: Design, Usage, Benefits, and Risks. ASTM Manual MNL63, ASTM International, Conshohocken, EUA. 29 p.
- Sánchez-Moreno, C.; J. Larraruri; F. Saura-Calixto. 1998. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Sci. Food Agric.* 76: 270-276.
- Statpoint. 2005. *Statgraphics centurion XV*. Ver. 15.0.04. Statpoint Technologies. Warrenton, EUA.

- Torres, A. 2012. Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendtn. Arch. Lat. Nutr. 4:381-388.
- Válcarcel, P.B.; Y.L. Basulto. 2004. El potencial reductor férrico (FRP). Un ensayo para evaluar la capacidad antioxidante en suero. Correo Científico Médico de Holguín 8. Disponible en <http://www.cocmed.sld.cu/no84/n84ori4.htm>. [Consultado: 20/07/2013].
- Villa, C.C.; J.A. Nieto; M.I. Pinzón. 2009. Cambios composicionales y microbiológicos asociados a ciclos sucesivos de deshidratación osmótica de tomate de árbol. Biotec Sector Agropec. Agroin. 7: 29-35.
- WHO/FAO. 2003. Diet Nutrition and the Prevention of Chronic Disease. WHO Technical Report Series 916. Génova, Suiza.
- Wrolstad, R.; T. Acree; A.A. Decker; M.H. Penner; D.S. Reid; S.J. Schwartz; C.F. Shoemaker; D. Smith; P. Sporns (Eds). 2005. Handbook of Food Analytical Chemistry. John Wiley & Sons. New York, EUA.