

Deshidratación osmótica óptima del melón cortado en forma cilíndrica

EDDIE R. GÓMEZ⁽¹⁾ Y OTONIEL CORZO⁽²⁾

⁽¹⁾Departamento de Matemáticas.
Universidad de Oriente. Núcleo de Nueva Esparta

⁽²⁾Departamento de Tecnología de Alimentos.
Universidad de Oriente. Núcleo de Nueva Esparta
Venezuela

Resumen

El objetivo de este trabajo fue optimizar la deshidratación osmótica del melón. Para ello se cortaron cilindros de melón y se midieron peso, humedad y °Brix iniciales; luego cuatro cilindros se sometieron a deshidratación osmótica en soluciones de sacarosa de concentración y temperatura dadas por un tiempo estipulado. Las condiciones de cada deshidratación fueron establecidas mediante un diseño compuesto central rotatable para temperaturas, concentraciones y tiempos entre 40-50 °C, 45-55 °Brix y 60-120 min. Después de cada deshidratación los cilindros se pesaron y se les determinó la humedad y °Brix para calcular la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de soluto, variables respuesta que se ajustaron a modelos predictivos aplicando la regresión lineal múltiple. Los modelos se validaron mediante la metodología de la validación cruzada, aplicando el método de la función deseada con las restricciones de pérdida de peso igual a 0,11g/g, pérdida de agua de 0,33 g/g y ganancia de soluto de 12,3° Brix/g, se optimizó la deshidratación en 37,95 °C, 41,60 °Brix y 132,30 min.

Palabras clave: melón, deshidratación, optimización, modelación, función deseada.

Abstract

The objective of this work was to optimize the osmotic dehydration of the cantaloupe. For it, melon cylinders were cut and weight, initial humidity and °Brix were measured then four cylinders were osmotic dehydrated in solutions of sucrose of concentration and temperature given by a stipulated time. The conditions of each dehydration were established by means of a central compound rotatable design for temperatures, concentrations and times between 40-50 °C, 45-55 °Brix and 60-120 min. After each dehydration weight, humidity and °Brix were determined to them to calculate the loss of weight, loss of water and gain of solute, response variables that were adjusted to predictive models applying the multiple

otocorzo@cantv.net y eddiegom01@cantv.net

linear regressions. The models were validated by means of the methodology of the crossed validation, Applying the method of the desired function with the restrictions of loss of equal weight 0,11g/g, loss of water of 0.33 g/g and 12.3 gain of solute of °Brix/g, the dehydration was optimised in 37.95 °C, 41.6 °Brix and 132.30 min.

Keywords: cantaloupe, dehydration, optimization, modeling, desired function

Introducción

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión de un alimento, generalmente una fruta, ya sea entero o en piezas en una solución acuosa de alta concentración de soluto. Esto provoca al menos dos flujos en contracorriente: un flujo de agua del alimento a la solución y una transferencia de soluto desde la solución hacia el alimento (1). De manera general en función de los mecanismos de transporte de materia, las variables que afectan el proceso de deshidratación osmótica y que pueden manejarse operativamente son: temperatura del proceso, concentración de la solución osmótica, naturaleza del agente osmótico utilizado, presión, relación masa producto a volumen de solución osmótica y agitación (2,3,4).

La deshidratación osmótica, al igual que cualquier proceso, requiere que se optimice con el fin de minimizar costos y efectos indeseados en el producto resultante. Optimizar es seleccionar la mejor alternativa de un grupo específico de alternativas para un proceso determinado, y para ello se requiere, primero, un método que describa las alternativas potenciales del proceso, y segundo, un criterio para decidir cuál de las alternativas es la mejor (7). Los métodos de optimización dependen de la relación o modelo entre los factores y la respuesta; si es una relación definida en forma mecánica se tienen métodos analíticos, si está definida casuísticamente se tienen métodos estadísticos. En el caso que la función sea casuística (aproximada) se aplican los métodos de optimización estadística tales como el gráfico convencional, el gráfico mejorado, la función deseada y el procedimiento de respuesta de superficie extendida.

El método de la función deseada es una técnica analítica desarrollada para la optimización de sistemas de múltiples factores y múltiples respuestas (9, 10). Cada respuesta (y_n) se estandariza en funciones deseadas d_n del tipo

$$d_n = h_n (y_n) \quad (1)$$

y el valor de d_n incrementa de 0 (mínimo) a 1 (máximo) cuando la respuesta asociada se aumenta. Derringer y Suich (11) usaron la siguiente función deseada:

$$d_n = \begin{cases} 0 & \text{si } y_n < a \\ \left(\frac{y_n - a}{b - a}\right)^s & \text{si } a \leq y_n \leq b \\ 1 & \text{si } y_n > b \end{cases} \quad (2)$$

donde a y b son valores constantes (las restricciones de las respuestas) y s una constante positiva. Para todas las funciones deseadas se define una función deseada total siendo

$$D = F(d_1, d_2, \dots, d_n) \quad (3)$$

y definida como la media geométrica de las funciones deseadas individuales

$$D = F(d_1, d_2, \dots, d_n)^{1/2} \quad (4)$$

Un alto valor de D indica las mejores funciones deseadas del sistema, lo que se traduce en soluciones óptimas de dicho sistema.

El programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), capítulo Venezuela, inició en 1994 un estudio sobre el proceso de deshidratación osmótica de las diferentes frutas del país, que potencialmente pudieran someterse a esta forma de conservación. Una de estas frutas, el melón, fue objeto de una serie de investigaciones (12, 13, 14, 15) que hizo notoria la necesidad de encontrar las condiciones más adecuadas de su proceso.

El objetivo de este trabajo fue optimizar, mediante la aplicación de la metodología de la función deseada, la deshidratación osmótica del melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto) a presión atmosférica, cortado en forma cilíndrica.

Materiales y métodos

Preparación de las Muestras

La materia prima, melones, (*Cucumis melo*, variedad Edisto) fue adquirida en el mercado de Los Conejeros de la ciudad de Porlamar y en su escogencia se consideró igual grado de madurez para todos. De cada melón, sin corteza, se obtuvieron cinco cilindros de igual diámetro y en uno de ellos se midió por triplicado la concentración de soluto (°Brix) utilizando un refractómetro Abbe ATAGGO,

modelo HRS-500. Conocidos los °Brix, se preparó una solución isotónica con esta misma concentración, utilizando sacarosa como soluto, y los cuatro cilindros restantes se colocaron sobre la placa perforada de un desecador que la contenía. La solución osmótica de la concentración utilizada en cada experiencia se preparó en un volumen determinado, tomando en cuenta que se debía mantener la proporción de 20: 1 (líquido a masa de melón) para evitar el cambio de concentración durante el tiempo de deshidratación.

Los cilindros se cortaron en otros más pequeños que tenían la misma longitud y diámetro, y los restos se utilizaron para medir los °Brix y la humedad del melón antes del tratamiento. Cada grupo experimental estaba formado por cuatro cilindros tomados al azar, los cuales se pesaron individualmente, y se colocaron en una rejilla con cuatro compartimientos para así una vez sumergidos en la solución osmótica, lograr que ésta los rodeara completamente, no interfiriera el uno con el otro, y luego del proceso poder retirarlos simultáneamente.

Deshidratación Osmótica

Para la obtención de los datos se utilizó un diseño compuesto central rotatable (tabla 1) de tres factores con tres niveles, dos puntos estrellas, y seis repeticiones del punto central (6). Los grupos experimentales se sumergieron en la solución osmótica de concentración determinada colocada dentro de un desecador; y mantenida a una temperatura constante por un tiempo determinado. Transcurrido este tiempo se retiró la rejilla, se secaron los cilindros con un papel absorbente, se midió el peso, la cantidad de agua y los °Brix en cada uno de ellos, y luego se determinó la pérdida de peso (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w), y ganancia de soluto (ΔM_s) aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\Delta M = \frac{m_t - m_0}{m_0} \quad (5)$$

$$\Delta M_w = \frac{(m_t \cdot x_w) - (m_0 \cdot x_{w0})}{m_0} \quad (6)$$

$$\Delta M_s = \frac{(m_t \cdot x_{ss t}) - (m_0 \cdot x_{ss 0})}{m_0} \quad (7)$$

donde m_t es la masa total en el tiempo t , m_0 la masa total inicial; x_w y x_{w0} la fracción másica de agua en el tiempo t e inicial, respectivamente; x_{ss} y x_{ss0} la fracción másica del soluto en el tiempo t e inicial, respectivamente.

Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos se ajustaron a modelos explicativos utilizando la metodología de la Superficie de Respuesta y para lograr la optimización del proceso se aplicó la metodología de la función deseada. El paquete estadístico utilizado fue el Design-Expert 6.04.

Tabla 1. Diseño compuesto central rotatable con niveles reales y codificados

1	45	-1	60	-1	40	-1
2	55	1	60	-1	40	-1
3	55	1	120	1	40	-1
4	45	-1	120	1	40	-1
5	45	-1	120	1	50	1
6	55	1	120	1	50	1
7	45	-1	60	-1	50	1
8	55	1	60	-1	50	1
9	41,6	-1,682	90	0	45	0
10	58,4	1,682	90	0	45	0
11	50	0	39,5	-1,682	45	0
12	50	0	140,5	1,682	45	0
13	50	0	90	0	36,6	-1,682
14	50	0	90	0	53,4	1,682
15	50	0	90	0	45	0
16	50	0	90	0	45	0
17	50	0	90	0	45	0
18	50	0	90	0	45	0
19	50	0	90	0	45	0
20	50	0	90	0	45	0

Resultados y discusión

Ajuste de los Modelos

Para el ajuste correspondiente de los modelos explicativos de la variación de la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de soluto, se analizó la suma de cuadrados secuenciales del modelo, considerando: 1) la media de la respuesta, 2) la media más los efectos lineales, 3) la media más los efectos lineales y las interacciones, y 4) la media más los efectos lineales, las interacciones y los efectos cuadráticos de los factores temperatura (A), concentración (B) y tiempo de deshidratación (C). Los modelos ajustados correspondieron a:

$$\Delta M = 0.15 + 0.21 A + 0.006 B + 0.042 C + 0.024 C^2 - 0.25 A B + 0.23 A C \quad (8)$$

el cual explica el 87,06% de la variabilidad de la pérdida de peso con al menos 95% de nivel de confianza

$$\Delta M_w = 0.18 + 0.020 A + 0.002 B + 0.057 C + 0.007 B^2 + 0.030 C^2$$

$$- 0.010 A B - 0.17 B C \quad (9)$$

el cual explica el 93,97% de la variabilidad de la pérdida de agua con al menos un 95% de nivel de confianza

$$\Delta M_s = 11.58 + 1.39 B + 1.05 B + 1.72 C + 1.37 A^2 + 0.50 C^2 + 0.38 A C + 0.40 A C. \quad (10)$$

el cual explica el 93,52% de la variabilidad de la ganancia de soluto con al menos 95% de nivel de confianza.

Validación cruzada. Con el fin de determinar, si los modelos son buenos predictores para la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de soluto, se utilizó la validación cruzada analizando los estadísticos de adecuación presentados en la tabla 2. En ella se puede ver que los R^2 de predicción (0,6290; 0,7307; 0,7497) están en acuerdo razonable con los R^2 ajustados (0,8108; 0,8928; 0,8898), y además el estadístico Press es bajo, lo cual permite considerar en primera instancia los modelos como buenos predictores.

Diagnóstico estadístico de los modelos. Con el fin de analizar la influencia de cada punto experimental sobre los modelos, se realizaron los diagnósticos estadísticos de Leverage, residual estudentizado y la distancia de Cook en cada una de las variables respuesta encontrándose que éstos estaban dentro de los rangos normales, por lo cual se puede decir que los modelos son estables en el rango estudiado.

Tabla 2. Suma de cuadrados secuenciales del modelo de ganancia de soluto con efectos lineales, de interacción y cuadráticos.

Fuente de cuadrados	Suma medio	gl	Cuadrado	F	Probabilidad	R^2
Media	3070.09	1	3070.09			
Lineal	75.24	3	25.08	9.68	0.0010	0.6746
Interacción	3.61	3	1.20	0.40	0.7527	0.7069
Cuadrático	26.81	3	8.94	12.18	0.0024	0.9474
Residual	3.08	5	0.62			
Total	3178.83	15	212.11			

Análisis de perturbación. Con el objeto de observar los efectos de los factores, en el intervalo definido, sobre las diferentes variables respuestas se obtuvieron las gráficas de perturbación; para ello se mantuvieron constantes dos

factores, variándose el otro factor dentro del rango del diseño, y se determinó el valor de la variable respuesta. En la figura 1 se observa que la pérdida de peso tiene poca sensibilidad al cambio cuando los factores A (temperatura) y C (tiempo) permanecen constantes en determinado valor y se varía el factor B (concentración) dentro del rango experimental. De manera similar se constata el mismo comportamiento para la pérdida de agua y ganancia de soluto (figuras 2 y 3).

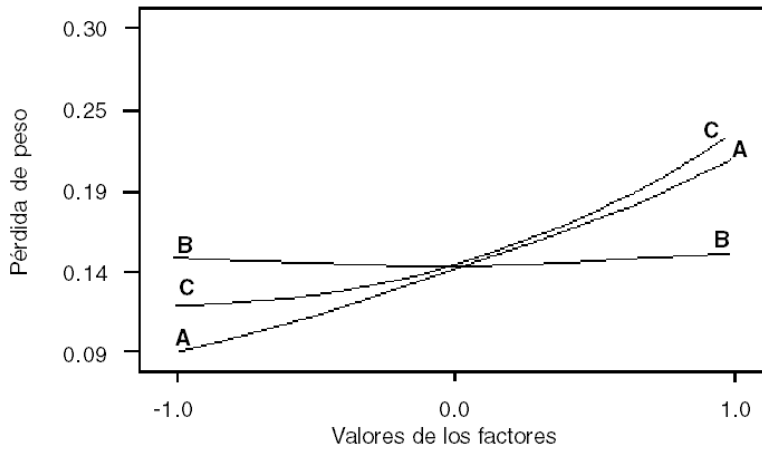


Figura 1. Análisis de la perturbación de cada uno de los factores en la variable respuesta pérdida de peso.

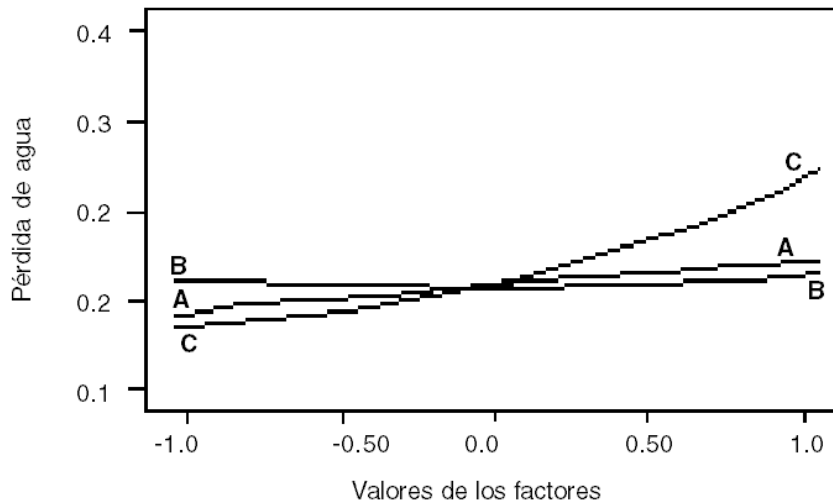


Figura 2. Análisis de la perturbación de cada uno de los factores en la variable respuesta pérdida de agua

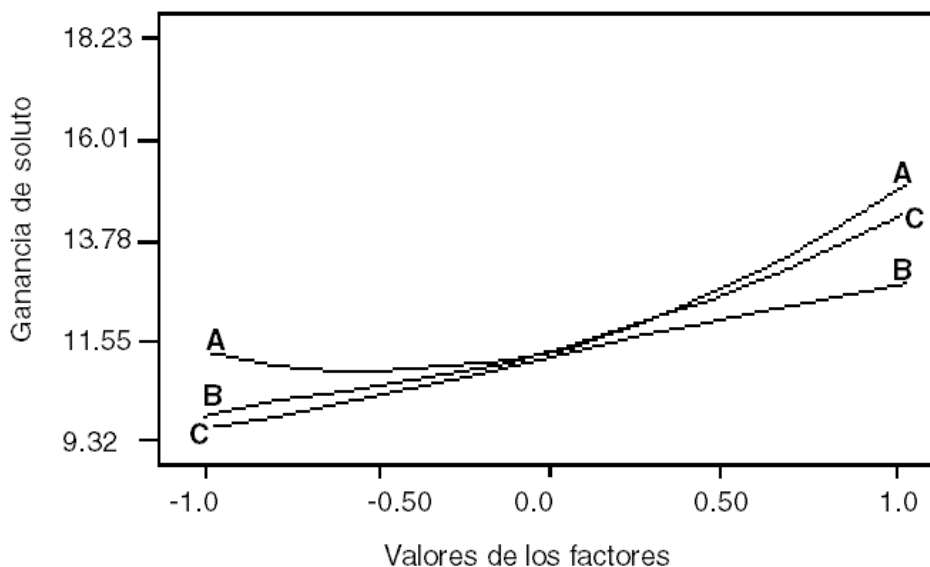


Figura 3. Análisis de la perturbación de cada uno de los factores en la variable respuesta ganancia de soluto.

Superficies de Respuesta y Gráficas de Contorno

De acuerdo al análisis de perturbación el factor que tiene menor influencia sobre las variables respuesta: pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de soluto, es el factor B (concentración); por lo tanto, se representaron las superficies de respuesta y las gráficas de contorno correspondientes para cada una de las variables respuestas en función de los factores temperatura y tiempo, manteniendo la concentración constante.

En la figura 4 se tiene que para la pérdida de peso cuando se mantiene constante la concentración en un valor codificado igual a cero, la superficie de respuesta presenta la forma de parte de una silla para los valores de los factores dentro del rango experimental. En la gráfica de contorno se observa que la pérdida de peso: 1) disminuye para incrementos en los valores codificados de la temperatura entre -1,68 y 0,20 y del tiempo entre -1,68 y -1,29; 2) aumenta al hacerlo el tiempo dentro del mismo rango anterior y la temperatura entre 0,84 y 1,68; y 3) aumenta al hacerlo el tiempo para valores superiores a -0,84 y la temperatura entre -1,68 y 1,68.

La superficie de respuesta para la pérdida de agua (figura 5) cuando se mantiene la concentración en un valor codificado constante e igual cero, presenta la forma de una loma ascendente para el rango experimental de los factores tiempo y temperatura. La gráfica de contorno muestra la de pérdida de agua;

1) tiene un valor mínimo igual a 0,17 el cual se obtiene para combinaciones de la temperatura entre $-1,68$ y $0,6$ y del tiempo entre $-1,68$ y $0,27$; 2) aumenta al hacerlo la temperatura a valores superiores de $-0,26$ y el tiempo a valores mayores que $0,27$.

La superficie de respuesta de la ganancia de soluto manteniendo la concentración codificada constante e igual a cero (figura 6) presenta la forma de una loma ascendente y en la gráfica de contorno se observa que la ganancia de soluto: 1) tiene un mínimo igual a 11,2956 el cual se obtiene para la combinación de la temperatura entre $-1,2$ y $0,7$ y tiempo entre $-1,68$ y 0 ; 2) disminuye al aumentar la temperatura desde $-1,68$ hasta $-1,2$ para valores del tiempo entre $-1,68$ y $1,68$; 3) aumenta al hacerlo la temperatura desde $0,7$ hasta $1,68$ y el tiempo desde $0,2$ hasta $1,68$.

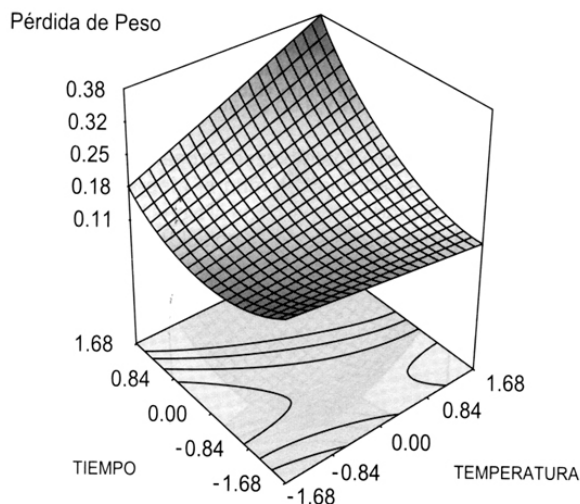


Figura 4. Superficie de respuesta para la pérdida de peso, manteniendo la concentración constante en un valor codificado igual a cero.

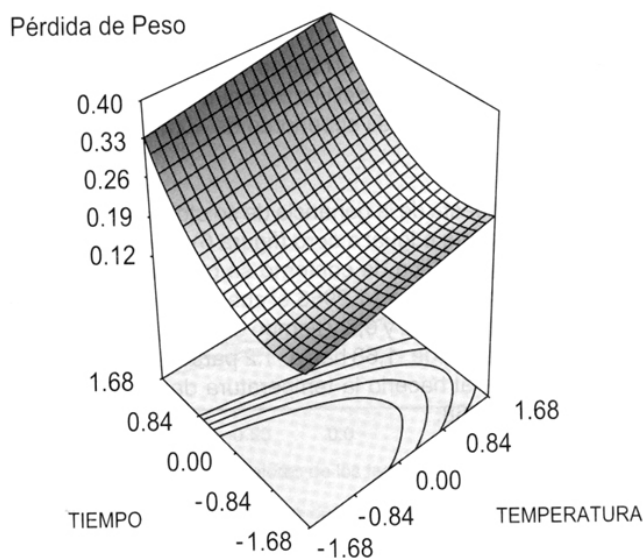


Figura 5. Superficie de respuesta para la pérdida de agua, manteniendo la concentración constante en un valor codificado igual a cero.

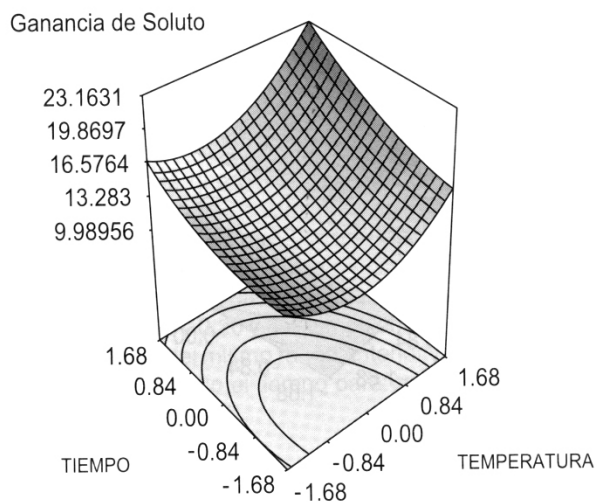


Figura 5. Superficie de respuesta para la ganancia de soluto,, manteniendo la concentración constante en un valor codificado igual a cero.

Optimización mediante la metodología de la función deseada

Para la optimización se tomaron las siguientes restricciones:

1. Factores: temperatura, tiempo y concentración con valores entre -1,682 y 1,682.

2. Variables respuestas: pérdida de peso y ganancia de soluto con los mínimos valores y pérdida de agua con el máximo valor.

Aplicando la metodología de la función deseada mediante el paquete estadístico Design-Expert 6.04 se obtuvieron dos soluciones (ver figuras 7 y 8) cuyos valores son:

1. Primera solución: temperatura de $-1,41$ ($37,95$ °C), concentración de $-1,68$ ($41,6$ °Brix) y tiempo de $1,41$ ($132,3$ min.) para obtener pérdida de peso de $0,1100$ g/g, pérdida de agua de $0,3282$ g/g y ganancia de soluto de $12,3$ °Brix/g. El valor de la función deseada es de $0,827$.

2. Segunda solución: temperatura de $-1,50$ ($37,50$ °C), concentración de $-1,68$ ($41,6$ °Brix) y tiempo de $1,45$ ($133,5$ min.) para obtener pérdida de peso de $0,1051$ g/g, pérdida de agua de $0,3325$ g/g y ganancia de soluto de $12,56$ °Brix/g. El valor de la función deseada es de $0,740$.

El óptimo para el proceso de deshidratación osmótica de melón bajo presión atmosférica corresponde a la primera solución ya que el valor de la función deseada es el más cercano a la unidad. Sin embargo, se puede observar que la diferencia entre las dos soluciones es en el tiempo de deshidratación, y por lo tanto la decisión final del óptimo depende de consideraciones de costos y de efectos en las características sensoriales del producto.

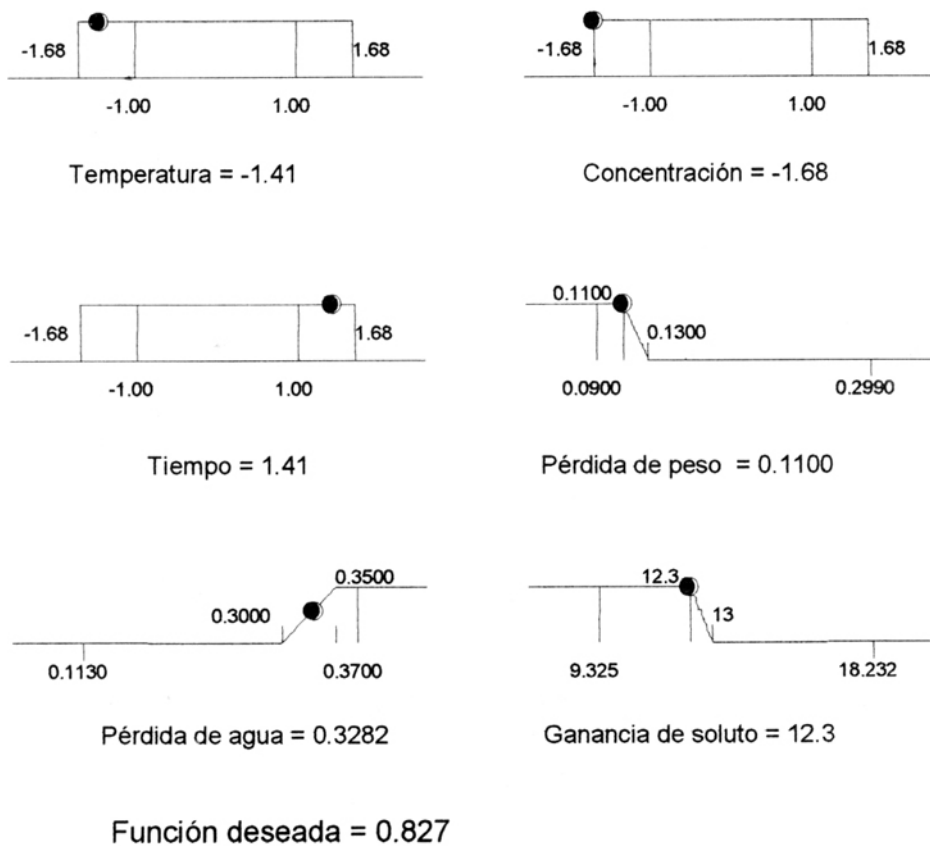


Figura 7. Optimización por la metodología de la función deseada de la deshidratación osmótica del melón a presión atmosférica. Solución 1

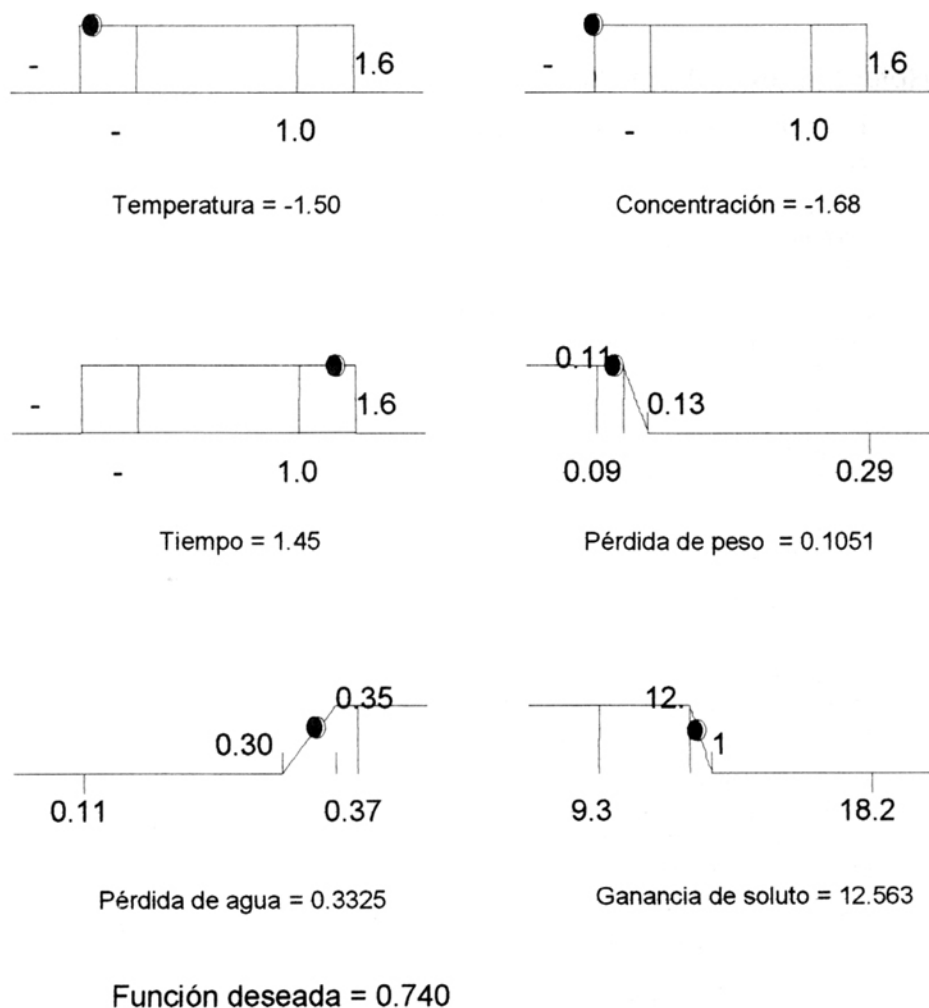


Figura 8. Optimización por la metodología de la función deseada de la deshidratación osmótica del melón a presión atmosférica. Solución 2

Conclusión

Las condiciones óptimas para la deshidratación osmótica del melón a presión atmosférica, según el método de la función deseada corresponden a: una temperatura de 37,95 °C (-1,41), una concentración de 41,60 °Brix (-1,68), un tiempo de 132,30 min.(1,41); obteniéndose una pérdida de peso de 0,11 g/g, una pérdida de agua de 0,3282 g/g y una ganancia de soluto de 12,3 °Brix/g.

Referencias bibliográficas

1. TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables. Proc. Food. Intl. 26.3 (1993): 59-68.
2. FARKAS, D. y Lazar, M. 1969. Osmotic dehydration of apple pieces effect of temperature and syrup concentration on rates. Food Technol. 23, 8 (1969): 90-93.
3. LERICE, C. R., Pepe, M. y Pinnavaia, G. Desidratazione della frutta mediante osmosi il resultati di sperienze efectúate in labortorio. Ind. Cons. 52,2 (1977): 125-129.
4. POLEO, L. Deshidratación osmótica de lechosa. Trabajo especial de grado. Departamento de Tecnología de Alimentos. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. (1978). Caracas.
5. BOX, G. E. P y Wilson, K. On the experimental attainment of optimum conditions J. Royal Stat. Soc (series B) 13 (1951): 1-45.
6. MYERS, R. H. Response surface Methodology. Primera edición Boston. Allyn and Bacon. (1971)
7. LAWSON, J., Madrigal, J. L. y Erjavec, J. Estrategias Experimentales para el Mejoramiento de la Calidad en la Industria. Primera edición. México. Grupo Editorial Iberoamérica. (1992).
8. ROULT-WACK, A. L., Petitdemange, F y Giroux, F., Ríos, G., Guilbert, J. y Lebert, A. Simultaneous water and solute transport in shrinking media.-Part 2: a compartmental model for control of dewatering and impregnation soaking process. Dry. Technol. 9,3 (1991): 613-630.
9. SUNDARAM, R. A First Course in Optimization Theory. Primera edicion. London. (1996). Cambridge University Press.
10. HARRINGTON, E. C. The experimental design for quadratic response surfaces. Biometrics. 15,2 (1965): 611-624.
11. DERRINGER, G. y Suich, R. Simultaneous Optimization of several response variables. J. Pha. Sci. 66,4 (1980):1070-1073.
12. MARULANDA, R. Predicción de la cinética del secado osmótico del melón cortado en forma cilíndrica, a diferentes temperaturas y concentraciones de la solución osmótica. Trabajo de grado. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Oriente. (1998). Boca del Río.
13. MATA, C. y Rojas, J. Modelación del proceso pseudodifusional de la deshidratación osmótica con pulso de vacío, del melón cortado en forma cilíndrica. Trabajo de grado. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Oriente. (1999). Boca del Río.

14. CASTRO, A. Variación del color y la textura del melón cortado en forma cilíndrica, durante la deshidratación osmótica. Trabajo de grado. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Oriente. (2000). Boca del Río.

15. CENTENO, A. Modelación de la deshidratación osmótica del melón a presión atmosférica. Trabajo de grado. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Oriente. (2002). Boca del Río.