

Superficies de respuesta de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto)

OTONIEL CORZO Y ANGEL E. CENTENO.

Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Departamento de Tecnología de Alimentos. Telf. 0295-2631230. e-mail: otocorzo@cantv.net

RESUMEN

El objetivo fue obtener las superficies de respuesta de la pérdida de agua, ganancia de soluto y pérdida de peso que ocurren durante la deshidratación osmótica de melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto) cortado en forma cilíndrica. Para ello, se utilizó un diseño experimental compuesto central rotatable de tres factores (concentración, temperatura y tiempo) con tres niveles, dos puntos estrella y seis repeticiones del punto central. Los modelos ajustados por regresión lineal múltiple explicaban la variabilidad de las variables respuesta entre un 80,7 - 98,54 % con un nivel de confianza del 95%. Para visualizar el efecto de los factores y tomar decisiones sobre las condiciones de deshidratación, se obtuvieron las superficies de respuesta correspondientes.

ABSTRACT

The objective was to obtain the response surfaces of the water loss, solute gain and weight loss that happens during the osmotic dehydration of cantaloupe (*Cucumis melo*, Edisto variety) cut in cylindrical form. For it an experimental compound central rotatable design was used with three factors (concentration, temperature and time) with three levels, two star points and six repetitions of the central point. The models fit by multiple linear regression explained 80.7 - 98.54 % of the variability in the response variables at the 95% confidence level. In order to visualize the effect of the factors and to make decisions on the conditions of dehydration, the corresponding response surfaces were obtained.

PALABRAS CLAVE

Superficie de respuesta, deshidratación osmótica, melón.

INTRODUCCIÓN

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión de un alimento, generalmente una fruta, ya sea entero ó en piezas, en una solución acuosa de alta concentración de soluto (Torreggiani, 1993; Fito, 1994). Esto provoca al menos dos flujos en contra corriente: un flujo de agua del alimento a la solución y una transferencia de soluto desde la solución hacia el alimento. 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 (Raoult-Wack *et al.*, 1989; Argai *et al.*, 1994; Raoult-Wack, 1994; Rastogi y Raghavarao, 1997; Rastogi y Niranjana, 1998; Rastogi *et al.*, 1999; Simal *et al.*, 1998). Con el fin de lograr una respuesta del proceso que tenga las características deseadas es necesario disponer de una herramienta que permita tomar decisiones respecto a los factores inherentes, y la superficie de respuesta es una de ellas (Floros y Chinnan, 1988; Draper y Lin, 1990; Fichtati *et al.*, 1990; Myers y Montgomery, 2002). El objetivo de este trabajo fue obtener las superficies de respuesta de la pérdida de agua, ganancia de soluto y pérdida de peso que ocurren durante la deshidratación osmótica de melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto) cortado en forma cilíndrica, y así suministrar una herramienta que permita tomar decisiones sobre las condiciones para efectuar una adecuada deshidratación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las Muestras:

Se utilizaron melones (*Cucumis melo*, variedad Edisto) adquiridos 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 cilindros de igual diámetro y longitud; se midió por triplicado la concentración de soluto (°Brix) utilizando un refractómetro Abbe ATAGO, modelo HRS-500 para preparar una solución isotónica que fue colocada en un desecador, y los cilindros se colocaron sobre la placa perforada de éste. Se formaron grupos experimentales formados por cuatro cilindros tomados al azar, pesados individualmente, y colocados 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 efectuar la deshidratación osmótica un grupo experimental se sumergió en la solución osmótica de concentración y temperatura dadas, por un tiempo determinado. Transcurrido este tiempo se retiró la rejilla, se escurrió por 5 min., se secaron superficialmente 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 (DP), pérdida de agua (X), y ganancia de soluto (S) aplicando las siguientes ecuaciones:

$$DP = \frac{m_i - m_o}{m_o} \quad (1)$$

$$X = \frac{(m_i \cdot x_w) - (m_o \cdot x_{w0})}{m_o} \quad (2)$$

$$S = \frac{(m_i \cdot x_{sst}) - (m_o \cdot x_{ss0})}{m_o} \quad (3)$$

siendo m es la masa total en el tiempo, m_o la masa total inicial; la fracción másica de agua en el tiempo t e inicial, respectivamente; la fracción másica del soluto en el tiempo t e inicial, respectivamente.

El proceso descrito se realizó para cada una de las corridas experimentales de acuerdo a un diseño compuesto central rotatable (Tabla 1) de tres factores con tres niveles, dos puntos estrellas, y seis repeticiones del punto central.

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

Corrida	Concentración (°Brix)		Tiempo (min)		Temperatura (°C)	
	Real	Codificado	Real	Codificado	Real	Codificado
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

Tratamiento Estadístico:

Los datos obtenidos se dividieron en dos bases estadísticamente iguales, una se utilizó para ajustar los modelos y la otra para validarlos. El ajuste de los datos a modelos explicativos de la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de soluto, se realizó utilizando la metodología de la regresión lineal múltiple. La validación se efectuó mediante un algoritmo escrito en Matlab que calculó el coeficiente de determinación y el error estándar de los datos de la segunda base cuando se aplicaron a los modelos ajustados. Se generaron las superficies de respuesta y las gráficas de contorno para cada variable respuesta de acuerdo a los modelos. El paquete estadístico utilizado fue el Statgraphics 5.0.

Validación de los Modelos

En la tabla 2 se puede ver que los coeficientes de determinación (R²) de predicción (90,45; 90,23; 86,78) están en acuerdo razonable con los del ajuste (91,05; 91,30; 87,46), al igual que los errores estándar de predicción (0,032; 0,023; 0,089) con los de 1 ajuste (0,023; 0,019; 0,085). Por lo tanto se puede considerar que los modelos obtenidos sirven para predecir.

Tabla 3. Validación de los modelos de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de soluto.

Modelo	Error de Ajuste	Error de Predicción	R ² del ajuste	R ² de Predicción
Pérdida de Peso	0,023	0,032	91,05	90,45
Pérdida de agua	0,019	0,023	91,30	90,23
Ganancia de Soluto	0,085	0,089	87,46	86,78

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ajuste de los Modelos.

En la tabla 2 se tienen los análisis de varianza de los modelos explicativos en función de los factores temperatura (X₁), concentración (X₂) y tiempo de deshidratación (X₃). Los modelos ajustados con los factores codificados corresponden a:

$$DP = 0.15 + 0.21X_1 + 0.006X_2 + 0.042X_3 + 0.024X_3^2 - 0.25X_1X_2 + 0.23X_1X_3; \quad (4)$$

el cual explica el 87.06 % de la variabilidad de la pérdida de peso con al menos 95% de nivel de confianza

$$X = 0.18 + 0.020X_1 + 0.002X_2 + 0.057X_3 + 0.007X_2^2 + 0.030X_3^2 - 0.010X_1X_2 - 0.17X_2X_3; \quad (5)$$

el cual explica el 93.97% de la variabilidad de la pérdida de agua con al menos un 95% de nivel de confianza

$$S = 11.58 + 1.39X_1 + 1.05X_2 + 1.72X_3 + 1.37X_1^2 + 0.50X_3^2 + 0.38X_1X_2 + 0.40X_1X_3; \quad (6)$$

el cual explica el 93.52% de la variabilidad de la ganancia de soluto con al menos 95% de nivel de confianza.

Superficies de Respuesta y Gráficas de Contorno Para la Pérdida de Peso:

En las figuras 1, 2 y 3 se tienen la superficie de respuesta y la gráfica de contorno para la pérdida de peso cuando se mantiene constante la concentración, el tiempo y la temperatura respectivamente en un valor codificado igual a cero.

En las gráficas de la Figura 1 se observa que la pérdida de peso cuando la concentración es constante, presenta la forma de parte de una silla, y que: a) aumenta al incrementar la temperatura desde -1,68 hasta -0,50 para tiempos entre -1,68 y -1,10; b) no varía para temperaturas entre -0,50 y 0,30 y tiempos entre -1,68 y -0,10, c) disminuye al aumentar la temperatura desde 0,30 hasta 1,68 para tiempos entre -1,68 y -1,10, d) aumenta al incrementar la temperatura desde -1,68 hasta 0,50 para tiempos entre -0,7 y 1,68, e) disminuye al aumentar la temperatura desde -0,30

Tabla 2. Análisis de varianza para los modelos de pérdida de peso(DP), pérdida de agua (X) y ganancia de soluto (S)

Fuente	Suma de Cuadrados			gl	Valor p		
	DP	X	S		DP	X	S
X ₁ = Temperatura	0,0058	0,0083	10,6097	1	0,0021	0,0026	0,0089
X ₂ = Concentración	0,0004	0,0009	3,8734	1	0,1716	0,1230	0,541
X ₃ = Tiempo	0,0236	0,0353	41,1408	1	0,0001	0,0001	0,0003
X ₁ ²	0,0011	0,0019	35,9135	1	0,0499	0,0495	0,0006
X ₂ ²	0,0004	0,0006	2,8881	1	0,1745	0,1973	0,0828
X ₃ ²	0,0083	0,0126	7,2544	1	0,0009	0,0010	0,0186
X ₁ X ₂	0,0049	0,0007	3,7041	1	0,0030	0,0039	0,0479
X ₁ X ₃	0,0041	0,0056	0,2645	1	0,0045	0,0600	0,0415
X ₂ X ₃	0,0004	0,0004	0,3415	1	0,1790	0,0257	0,4903
Falta de ajuste	0,0040	0,0011	2,4226	5	0,0571	0,0693	0,0798
Error puro	0,0009	0,0003	0,6168	5			
R ²	91,05	91,3	87,46				

Valores p menores de 0,05 indican efectos significativos.

hasta 1,68 para tiempos entre $-0,70$ y $1,68$, y f) aumenta al aumentar la temperatura desde $-1,68$ hasta $-0,70$ para tiempos mayores de $0,30$.

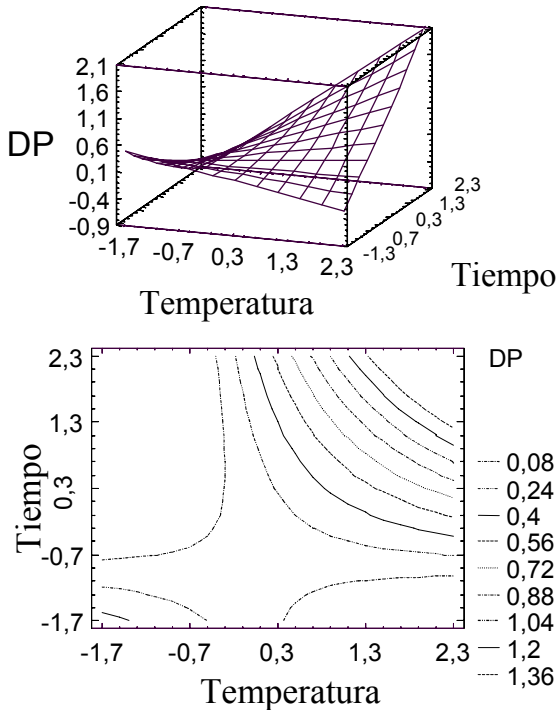


Figura 1. Superficie de respuesta y gráfica de contorno para la pérdida de peso durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo constante la concentración en valor codificado igual a cero.

En las gráficas de la Figura 2 se observa que la pérdida de peso cuando el tiempo es constante, presenta la forma de una silla y que: a) aumenta al incrementar la concentración desde $-1,68$ hasta $0,70$ para temperaturas entre $0,1$ y $1,68$; b) disminuye al aumentar la concentración desde $0,70$ hasta $1,68$ para temperaturas entre $-1,68$ y $-0,1$; c) aumenta al incrementar la concentración desde $-1,68$ hasta $0,7$ para temperaturas entre $-1,68$ y $0,1$; d) disminuye al aumentar la concentración desde $0,9$ hasta $1,68$ para temperaturas entre $-0,1$ y $1,68$.; y e) permanece constante para concentraciones entre $-1,68$ y $1,68$ y temperaturas entre $-0,1$ y $0,1$.

En las gráficas de la Figura 3 se observa que la pérdida de peso cuando la temperatura es constante, presenta la forma de una loma ascendente y que: a) aumenta al incrementar el tiempo desde $0,7$ hasta $1,68$ para concentraciones entre $-1,68$ y $1,68$; b) permanece constante al aumentar el tiempo desde $-1,68$ hasta $0,7$ para concentraciones entre $-1,68$ y $1,68$; y c) aumenta al incrementar la concentración desde $-1,68$ hasta $1,68$ para tiempos entre $0,7$ y $1,68$.

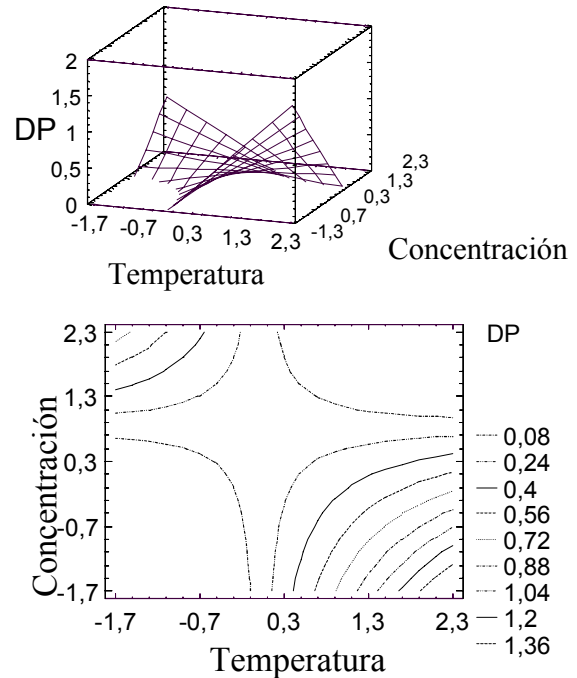


Figura 2. Superficie de respuesta y gráfica de contorno para la pérdida de peso durante la deshidratación osmótica de melón, manteniendo constante el tiempo en un valor codificado igual a cero.

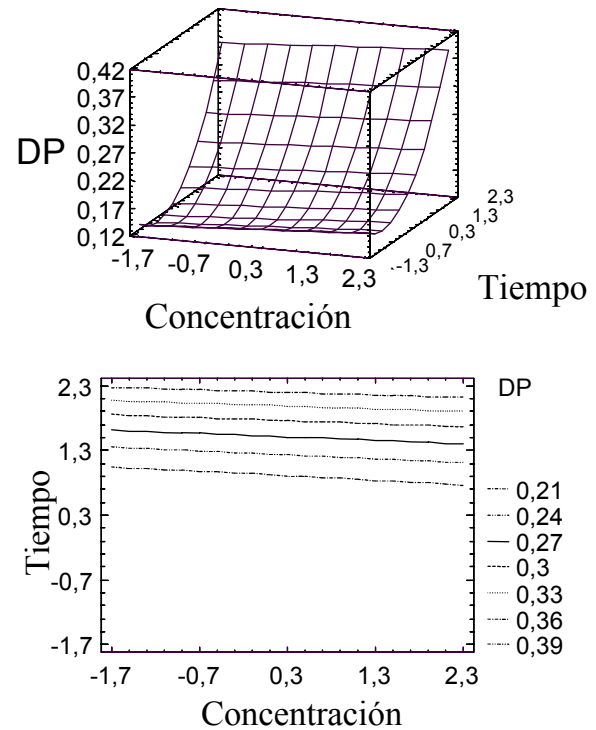


Figura 3. Superficie de respuesta y gráfica de contorno de la pérdida de peso durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo constante la temperatura en un valor codificado igual a cero.

Superficies de Respuesta y Gráficas de Contorno Para la Pérdida de Agua

En las figuras 4, 5 y 6 se tiene la superficie de respuesta y la gráfica de contorno para la pérdida de

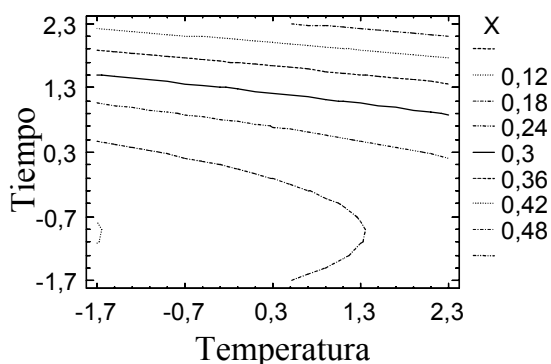
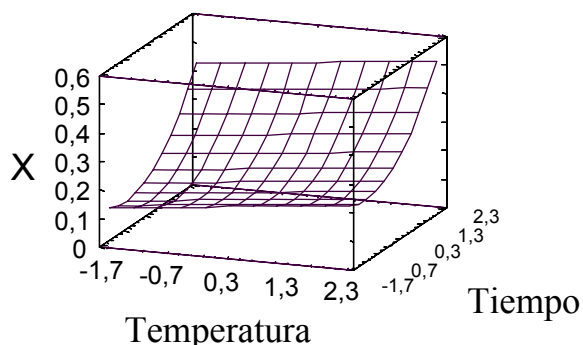


Figura 4. Superficie de respuesta y gráfica de contorno para la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo constante la concentración en un valor codificado igual a cero

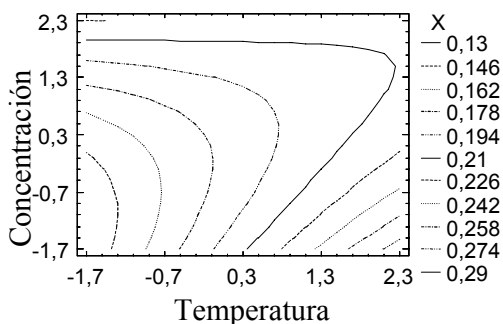
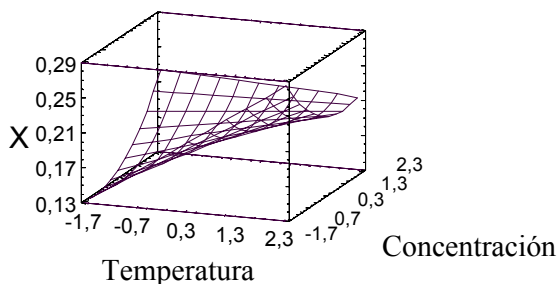


Figura 5. Superficie de respuesta y gráfica de contorno para la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo el tiempo constante en un valor codificado igual a cero.

agua cuando se mantiene la concentración, el tiempo y la temperatura respectivamente en un valor codificado igual a cero.

En las gráficas de la Figura 4 se observa que la pérdida de agua cuando la concentración es constante, presenta la forma de una loma ascendente y que: a) aumenta al incrementar la temperatura desde $-1,68$ hasta $1,68$ para tiempos entre $-1,68$ y $1,68$; y b) aumenta al incrementar el tiempo desde $-1,68$ hasta $1,68$ para temperaturas entre $-1,68$ y $1,68$.

En las gráficas de la Figura 5 se observa que la pérdida de agua cuando el tiempo es constante, presenta la forma de una loma ascendente y que: a) aumenta al incrementar la temperatura desde $-1,68$ hasta $1,68$ para tiempos entre $-1,68$ y $1,68$; y b) aumenta al incrementar la concentración desde $-1,68$ hasta $1,68$ para temperaturas entre $-1,68$ y $1,68$.

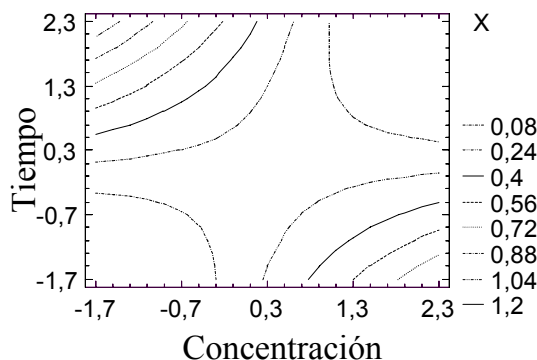
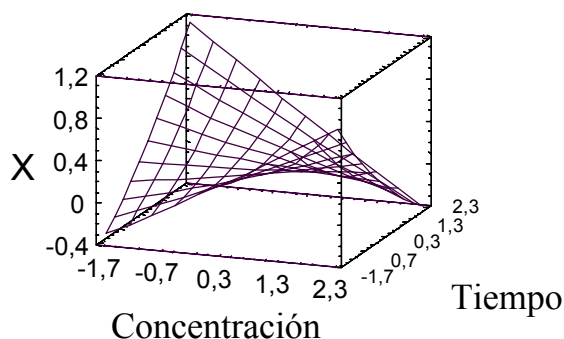


Figura 6. Superficie de respuesta y gráfica de control para la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo constante la temperatura en un valor codificado igual a cero

En las gráficas de la Figura 6 se observa que la pérdida de agua cuando la temperatura es constante, presenta la forma de una silla y que: a) aumenta al incrementar la concentración desde $-1,68$ hasta $-0,3$ para tiempos entre $-1,68$ y $-0,3$; b) permanece constante al aumentar la concentración desde $-0,5$ hasta $0,3$ para tiempos entre $-1,68$ y $-0,3$, al aumentar la concentración desde $0,1$ hasta $0,9$ para tiempos entre $0,3$ y $1,68$, y al

aumentar la concentración desde $-1,68$ hasta $1,68$ para tiempos entre $0,0$ y $0,1$; c) aumenta al incrementar la concentración desde $0,3$ hasta $1,68$ para tiempos entre $-1,68$ y $-0,1$; d) disminuye al aumentar la concentración desde $-1,68$ hasta $0,1$ para tiempos entre $0,1$ y $1,68$; e) disminuye al aumentar la concentración desde $0,9$ hasta $1,68$ para tiempos entre $0,4$ y $1,68$.

Superficies de Respuesta y Gráficas de Contorno Para la Ganancia de Soluto

En las figuras 7, 8 y 9 se tiene la superficie de respuesta y la gráfica de contorno para la ganancia de soluto cuando se mantiene la concentración, el tiempo y la temperatura respectivamente en un valor codificado igual a cero.

En las gráficas de la Figura 7 se observa que la ganancia de soluto cuando la concentración es constante, presenta la forma de una loma ascendente y que: a) disminuye al aumentar la temperatura desde $-1,68$ hasta $-0,7$ para todos los tiempos; b) aumenta al

incrementar la temperatura desde $-0,7$ hasta $1,68$ para tiempos entre $-1,68$ y $1,68$; y c) aumenta al incrementar el tiempo desde $-1,68$ hasta $1,68$ para temperaturas entre $-1,68$ y $1,68$.

En las gráficas de la Figura 8 se observa que la ganancia de soluto cuando el tiempo es constante, presenta la forma de una loma ascendente y que: a) disminuye al aumentar la temperatura desde $-1,68$ hasta $0,7$ para concentraciones entre $-1,68$ y $1,68$; b) aumenta al aumentar la temperatura desde $0,7$ hasta $1,68$ para concentraciones entre $-1,68$ y $1,68$; y c) aumenta al incrementar la concentración para todas las temperaturas.

En las gráficas de la Figura 9 se observa que la ganancia de soluto cuando la temperatura es constante, presenta la forma de una loma ascendente y que: a) aumenta al incrementar la concentración desde $-1,68$ hasta $1,68$ para tiempos entre $-1,68$ y $1,68$; b) aumenta al aumentar el tiempo desde $-1,68$ a $1,68$ para concentraciones entre $-1,68$ y $1,68$.

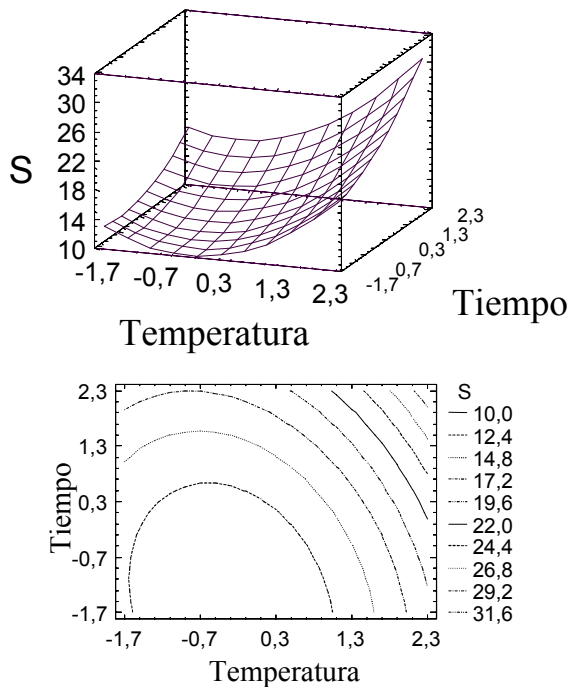


Figura 7. Superficie de respuesta y gráfica de contorno para la ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo constante la concentración en un valor codificado igual a cero.

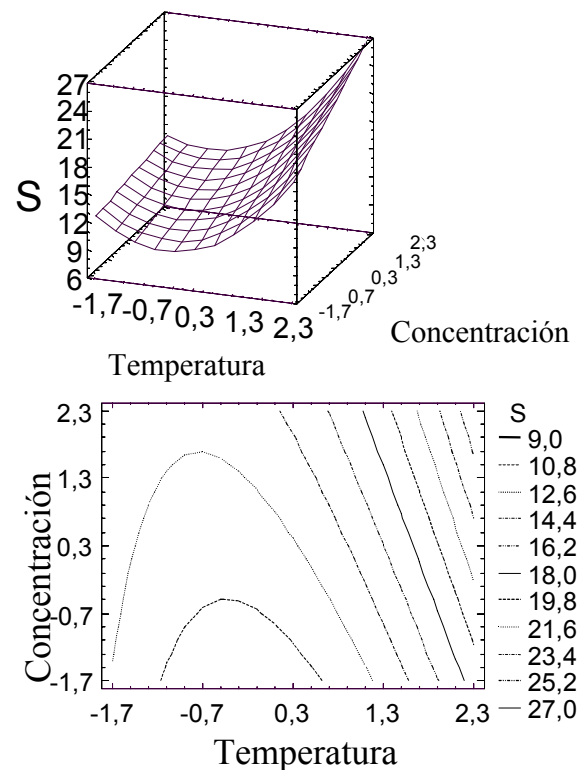


Figura 8. Superficie de respuesta y gráfica de contorno para la ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo constante el tiempo en un valor codificado igual a cero.

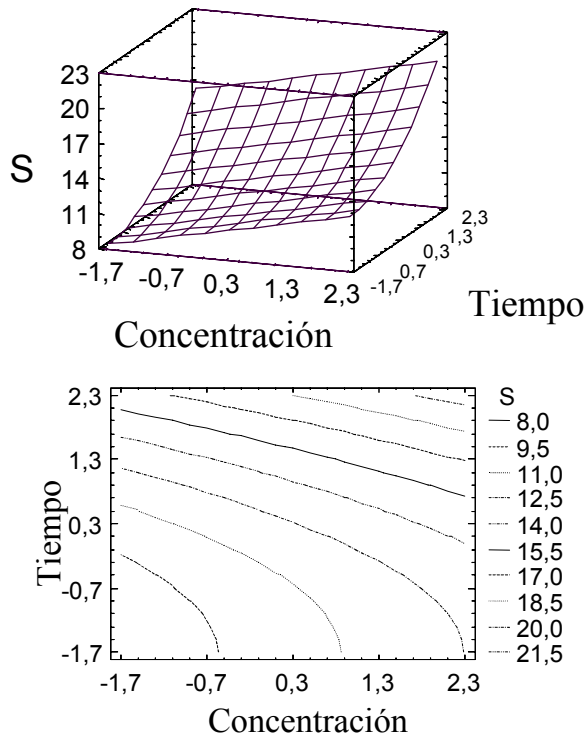


Figura 9. Superficie de respuesta y gráfica de contorno para la ganancia de soluto durante la deshidratación osmótica del melón, manteniendo constante la temperatura en un valor codificado igual.

CONCLUSIÓN

Las superficies de respuesta y las gráficas de contorno permiten analizar los efectos de la concentración y temperatura de la solución osmótica y el tiempo de secado en la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de soluto en la deshidratación osmótica del melón cortado en forma cilíndrica, y en consecuencia tomar decisiones para lograr los valores deseados de las respuestas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argaiz, A., López, A., Palou, E. y Wetti, J. 1994. **Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids.** *Drying Technol.* 12 (7): 1709-1725
- Draper, N. R., y Lin, D. 1990. **Small response-surface designs.** *Technometrics.* 32 (2): 187-194.
- Fichtati, J., Van De Voort, F. R, y Khury, A. I. 1990. **Multiresponse optimization of acid casein production.** *J. Food Proc. Eng.* 12 (4): 247-258
- Fito, P. 1994. **Modeling of vacuum osmotic dehydration of food.** *J. Food Eng.* 22: 313-328.
- Floros, J. y Chinnan, M. 1988. **Seven factors response surface optimization of a double-stage lye (NaOH) peeling process of pimiento peppers.** *J. Food Sci.* 53: 631-638
- Torreggiani, D. 1993. **Osmotic dehydration in fruit and vegetables.** *Proc. Food. Intl.* 26 (3): 59-68.
- Myers, R. H., y Montgomery, D. C. 2002. **Response Surface Methodology. Process and Product Optimization Using Designed Experiments.** 2th edition. John Wiley and Sons, Inc. New York 678 pp.
- Raoult-Wack, A. L. 1994. **Advances in osmotic dehydration.** *Trends Food Sci. Technol.* 5: 255-260
- Raoult-Wack, A. L., Lafont, F., Rios, G. y Guilbert, S. 1989. **Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties.** In: *Drying '89*, eds A. S. Mujumdar y M. Roques. Hemisphere. 487-495 pp
- Rastogi, N. K., Eshtisghi, M. N., y Knorr, D. 1999. **Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots.** *J. Food Sci.* 64: 1020-1023
- Rastogi, N. K., y Niranjana, K. 1998. **Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple.** *J. Food Sci.* 63: 508-511.
- Rastogi, N. K., y Raghavarao, K. S. 1997. **Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration.** *J. Food Eng.* 34: 429-440
- Simal, S., Benedito, J., Sánchez, E. S., y Rosello, C. 1998. **Use of ultrasound to increase mass transport rate during osmotic dehydration.** *J. Food Eng.* 36: 323-336.