

EFFECTO DE LA PRESIÓN DE VACÍO, SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES Y TIEMPO DE PROCESAMIENTO SOBRE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE REBANADAS DE MELÓN

Luis Chaparro¹, Naudy Soto¹, Tonny García¹, Julio Gutiérrez¹ y Jhonny Palmero¹

RESUMEN

Se estudió la deshidratación osmótica de rebanadas de melón (*Cucumis melo* L.) como alternativa para la obtención de productos secos con características similares a los frescos, y que demanden menos energía para su estabilización, almacenamiento y distribución. Las muestras fueron deshidratadas mediante su inmersión en soluciones de sacarosa de diferentes concentraciones, por diferentes tiempos y bajo diferentes presiones de vacío. Se utilizaron soluciones de 30, 40 y 50 °Brix, tiempos de aplicación de 10, 20 y 30 minutos y presiones de vacío de 200, 300 y 400 mm Hg, evaluados bajo un arreglo factorial 3³ con dos repeticiones (54 ejecuciones). Los resultados se analizaron según la metodología de superficie de respuesta. Se encontró un efecto significativo ($P \leq 0,05$) sobre las variables de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de solutos a diferentes niveles. Al utilizar presiones de vacío de 300 mm Hg por 30 minutos se observó un efecto de impregnación, en el cual la ganancia de sólidos es mayor que la pérdida de agua. Por otra parte, altas presiones de vacío, combinadas con altas concentraciones de la solución osmótica, redujeron la velocidad de pérdida de agua, lo cual se atribuyó a posibles taponamientos de la membrana celular por efecto del exceso de sacarosa que habría afectado la difusión del fluido a través del fruto.

Palabras clave adicionales: Impregnación, pérdida de peso, sacarosa, superficie de respuesta

ABSTRACT

Effect of the pressure of vacuum, total soluble solids and processing time on the osmotic dehydration of slices of melon

The osmotic dehydration of slices of melon (*Cucumis melo* L.) as an alternative to obtain dried products with characteristics similar to the fresh material, which require less energy for stabilization, storage and distribution, was studied. The samples were dehydrated by immersion in sucrose solutions of different concentrations, for different times, and under different vacuum pressures. Sucrose solutions of 30, 40 or 50 °Brix, application times of 10, 20 or 30 minutes, and vacuum pressures of 200, 300 or 400 mm Hg were used. The experiments were conducted under a 3³ factorial arrangement of treatments with two replications (54 runs). The results were analyzed by the response surfaces methodology. A significant effect ($P \leq 0.05$) on the weight loss, water loss and solute gain at different levels of the factors were found. By using vacuum pressure of 300 mm Hg for 30 minutes there was an effect of impregnation, in which the solid gain was greater than the loss of water. High vacuum pressures, combined with high concentrations of osmotic solution, reduced the rate of water loss, which was attributed to probable clogging of the cell membrane by the excess of sucrose which would have hindered the diffusion of fluid through the fruit samples.

Additional key words: Impregnation, weight loss, sucrose, response surfaces

INTRODUCCIÓN

Un tema de relevancia actual en el campo de la agroindustria trata sobre las alternativas de aprovechamiento y preservación de alimentos, en especial de frutas tropicales, aplicando tecnologías relativamente sencillas y con bajos montos de inversión. La deshidratación osmótica ha cobrado

gran interés debido a que, aplicada como un pre-tratamiento en los procesos tradicionales de conservación, mejora la calidad organoléptica del producto final con un bajo consumo de energía (Fito et al., 2004). Debido al potencial frutícola que posee Venezuela, en especial en frutos con alto potencial de exportación, se plantea la aplicación de esta tecnología en frutos de melón

Recibido: Abril 27, 2009

Aceptado: Julio 30, 2010

¹ Programa de Ingeniería Agroindustrial, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. email: luischaparro@ucla.edu.ve; naudysoto@ucla.edu.ve; garciatonny@ucla.edu.ve; juliogutierrezch@hotmail.com

como alternativa de conservación.

Al someter un alimento a inmersión en una solución saturada a una determinada presión de vacío durante un tiempo dado y restaurar posteriormente la presión atmosférica, se induce la difusión de la solución hipertónica dentro del fruto, favoreciendo su conservación (Ganina y Altamirano, 2005). Por medio de esta técnica se pretende reducir el contenido de humedad del fruto e incrementar el contenido de sólidos solubles, mediante el diferencial de presiones osmóticas generado. La deshidratación ocurre debido a que el agua se traslada de la solución menos concentrada en soluto (alimento) hacia la más concentrada (solución hipertónica), de manera que las concentraciones tienden a igualarse. Un rápido proceso de deshidratación osmótica lo haría más eficiente y práctico, por lo que muchos investigadores se han planteado, determinar el efecto del contenido de sólidos solubles totales, presión de vacío y tiempo de exposición sobre la pérdida de agua, con lo cual se pretende definir los rangos de trabajo que faciliten la deshidratación (Farkas y Lazar, 2004).

Tomando en cuenta las consideraciones señaladas, se plantea evaluar del efecto de la concentración de sacarosa en solución, tiempo de exposición y presión de vacío sobre la pérdida de peso, la pérdida de agua y ganancia de solutos en rebanadas de melón (*Cucumis melo* L.) durante el proceso de deshidratación osmótica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon 27 melones (*Cucumis melo* L.) variedad Edisto, provenientes del mercado local de la población de Bobare, estado Lara. Se seleccionaron al azar materiales de igual tamaño, sanos de acuerdo a un grado de madurez comercial o de consumo ($10 \pm 0,5$ °Brix), sin ningún tipo de daño apreciable para asegurar su uniformidad. Posteriormente fueron lavados con agua clorada y cortados de forma longitudinal en trozos de $1 \text{ cm} \pm 0,5$ de grosor y $20 \text{ cm} \pm 0,5$ de longitud, formando semicírculos de igual tamaño con un peso promedio de 25 g.

El material fue sometido a experimentos de deshidratación osmótica bajo tres factores diferentes a tres niveles cada uno, mediante un arreglo factorial 3^3 . Se consideraron presiones de vacío de 200, 300 y 400 mm Hg, tiempos de

exposición de 10, 20 y 30 minutos y soluciones de sacarosa de 30, 40 y 50 °Brix, generando un modelo de 27 corridas experimentales. Se consideraron dos repeticiones, lo que resultó en un total de 54 corridas, y en cada una se utilizaron tres trozos de melón (extraídos al azar de cada fruto muestreado) colocados dentro de desecadores plásticos con 0,5 L de la solución de sacarosa. Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de Procesos Agroindustriales del Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA).

Al finalizar cada tratamiento, las muestras fueron removidas de la solución y escurridas sobre un papel absorbente para luego hacer las determinaciones del peso, contenido de humedad y sólidos solubles totales (SST).

La humedad se determinó por gravimetría luego de secar la muestra en estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, antes y después de cada tratamiento. Los SST fueron medidos a partir de la extracción de una fracción del jugo de cada muestra y lectura directa en un refractómetro portátil E-Line ATC.

Las pérdidas de peso se determinaron por la diferencia, antes y después de cada tratamiento, empleando una balanza Ohaus con apreciación de 0,1 g. Asimismo, la pérdida de agua y ganancia de sólidos se determinaron mediante el cálculo según las siguientes ecuaciones:

$$\Delta M_w = \frac{M_0 X_{w0} - M_t X_{wt}}{M_0}$$

$$\Delta M_s = \frac{M_t X_{st} - M_0 X_{s0}}{M_0}$$

donde: ΔM_w = Pérdida de agua ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fruto)

ΔM_s = Ganancia de sólidos ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fruto)

M_0 = Masa inicial del fruto (g)

M_t = Masa del fruto deshidratado (g)

X_{s0} = Sólidos solubles iniciales del fruto ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

X_{st} = Sólidos solubles del fruto deshidratado ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

X_{w0} = Humedad inicial del fruto ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

X_{wt} = Humedad del fruto deshidratado ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Los efectos combinados o individuales de los tres factores (presión de vacío, tiempo de exposición y concentración de sacarosa) sobre la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos se analizaron según la metodología de superficie de respuesta o diseño de Box-Behnken, utilizando el programa Statgraphics Plus 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso

La Figura 1 muestra el efecto del factor tiempo (T), presión de vacío (Pv) y SST sobre la pérdida de peso de los frutos. El eje X muestra el efecto normalizado de los factores y refleja la importancia de cada uno de ellos sobre el modelo de predicción de la respuesta. La línea vertical en la figura representa el límite que establece la significancia estadística ($P \leq 0,05$) para cada factor.

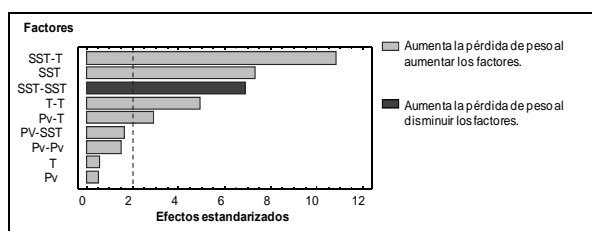


Figura 1. Tratamientos estadísticamente significativos sobre la pérdida de peso en rebanadas de melón

Se observa que cinco de los factores o sus combinaciones (SST, SST-T, T-T, SST-SST, y Pv-T) fueron significativamente diferentes de cero. A medida que aumentan los SST (manteniendo constantes los demás factores considerados), aumenta la pérdida de peso de la muestra. Tal como lo señala Sharma (2003), el aumento en la concentración de solutos resulta en una mayor pérdida de agua, y por consiguiente de peso del producto.

Los efectos combinados con significancia estadística fueron SST-T y Pv-T. Para el primer caso se observa un efecto directo de los factores, ya que se produjo un aumento en la pérdida de peso a medida que aumentaron tanto los SST como el tiempo del tratamiento T. Estos resultados coinciden con los reportados por Farkas y Lazar (2004) y Ponting et al. (2006) quienes señalan que un incremento en la concentración de sacarosa causa un aumento en la fuerza impulsora que favorece la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica, debido al alto gradiente de concentración entre la savia diluida del material vegetal y la solución. En cuanto al efecto que posee la aplicación de altas presiones de vacío por prolongados tiempos de procesamiento, se observa en la figura un efecto inverso, es decir, se produjo un aumento de la pérdida de peso a

medida que disminuyó la magnitud de este factor. Lo anterior se atribuye al hecho de que las moléculas de sacarosa saturan rápidamente la superficie de los tejidos vegetales evitando la libre difusión a través de toda la membrana celular (Moreno et al., 2004). Los factores combinados de SST-SST y T-T muestran un efecto de curvatura en el modelo, lo cual significa que la variable puede aumentar bajo unas condiciones, pero puede disminuir en un rango determinado.

En cuanto al efecto de la variación de los SST por diferentes tiempos, aplicando una presión de vacío constante de 300 mm Hg (Figura 2), se observa una tendencia hacia el aumento en la pérdida de peso en los rangos estudiados. La presión de vacío permite retirar el aire contenido en la matriz del fruto, de manera que facilita el contacto de la solución hipertónica con el fruto (Saputra, 2001), favoreciendo la salida de agua por efecto de ósmosis. El menor valor de pérdida de peso se obtuvo a la menor concentración de SST (30 °Brix) por el tiempo de 10 minutos, condiciones en las cuales era de esperarse una mínima transferencia de agua hacia el exterior debido a la baja fuerza impulsora y escaso tiempo para el proceso. Tal como lo señalan Fito et al. (2004), en las primeras etapas del proceso de deshidratación, la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos. Lo anterior podría estar asociado con el tipo y grado de madurez del fruto, ya que las características de permeabilidad de las células parenquimáticas pudieron afectar de forma directa la difusión del soluto en la matriz del fruto (Raoult-Wack et al., 2001).

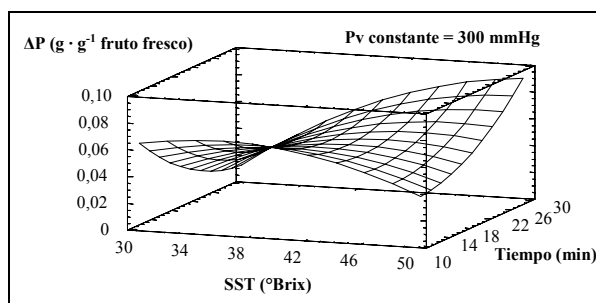


Figura 2. Superficie de respuesta para la pérdida de peso (ΔP) de rebanadas de melón en función al tiempo de proceso y SST de la solución

Pérdida de agua

El tiempo de procesamiento y la presión de vacío fueron los factores individuales más

significativos que explicaron la pérdida de agua en los frutos de melón (Figura 3). El tratamiento combinado más significativo fue el de presión de vacío-tiempo, el cual se relacionó en forma inversa con la pérdida de agua (Figura 3), lo cual se atribuye al mecanismo hidrodinámico que se presenta justo en el momento que se reestablece la presión atmosférica al sistema. Torreggiani (2003) señaló que es en ese momento en el que se produce el mayor volumen de transferencia de la solución osmótica al alimento, favoreciendo así la sustitución del agua contenida en la matriz del fruto, por la solución hipertónica de menor actividad de agua.

La tendencia descrita por la variable pérdida de agua durante la variación de cada uno de los factores considerados de forma individual exhibió un efecto de curvatura dentro de los rangos de cada factor (Figura 4). En el caso de la presión de vacío, el máximo valor de pérdida de agua ocurrió al máximo nivel de vacío, atribuido a que el desalojo del aire de los poros incrementa el potencial de transferencia de masa entre el medio externo y el seno del fruto. El descenso de la pérdida de agua entre 200 y 300 mm Hg de presión de vacío podría explicarse por el posible efecto de deformación en las células parenquimáticas del fruto (Fito et al., 2004) lo cual habría dificultado la libre difusión de la solución de sacarosa.

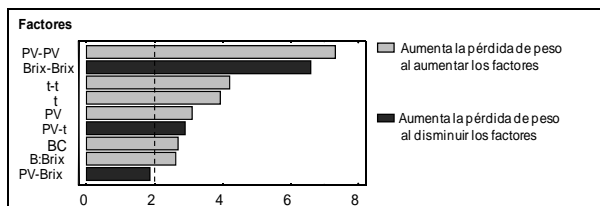


Figura 3. Tratamientos estadísticamente significativos sobre la pérdida de agua en rebanadas de melón

En cuanto a los niveles de SST se observa una tendencia de incremento en la pérdida de agua del fruto desde 30 hasta aproximadamente 40 °Brix para luego descender cuando se utilizan concentraciones de 50 °Brix. Esta condición ha sido reportada por Torreggiani (2003), quien señala que la molécula de sacarosa por poseer un tamaño mucho mayor que las moléculas de agua, no difunde tan fácilmente a través de la

membrana celular a altas concentraciones, pudiendo provocar taponamientos que dificultan el intercambio de fluidos.

El efecto generado por la variación de la presión de vacío y el tiempo sobre la pérdida de agua del fruto utilizando una concentración fija de SST de 40 °Brix se presenta en la Figura 5. Los valores que tuvieron un mayor efecto se presentaron a succiones de 200 mmHg aplicados por periodos de 30 minutos, aunque también hubo un alto efecto a presiones de 400 mmHg por tiempos de 10 o 30 minutos. En el primer caso, con aplicación de bajos niveles de presión (200 mmHg), la pérdida de agua debió estar influenciada principalmente por el diferencial de concentración entre el fruto y la solución externa aunado a que el amplio tiempo de exposición favoreció la salida de agua del fruto hacia el medio hipertónico. Ponting et al. (2006) encontraron que un incremento en la concentración de la solución hipertónica causó un aumento en la fuerza impulsora que auspició la pérdida de agua del tejido vegetal. En el segundo caso, el alto nivel de vacío (400 mmHg) habría provocado un fuerte desalojo de aire de los espacios porosos del fruto, lo que habría inducido una mayor pérdida de agua. Estos dos procesos representan una situación muy interesante ya que en ambos casos la pérdida de agua fue bastante similar pero atribuida a diferentes tiempos y diferentes mecanismos de transferencia de masa.

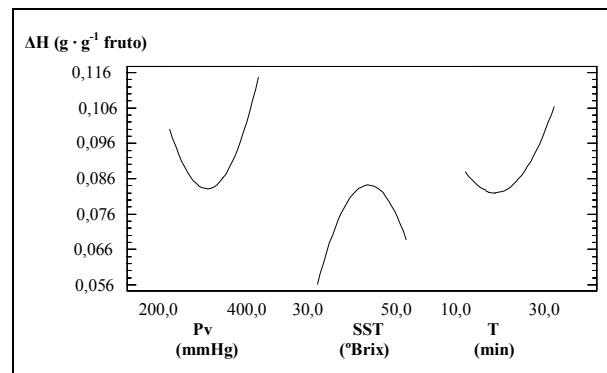


Figura 4. Efectos individuales de la presión de vacío (Pv), SST y tiempo (T) sobre la pérdida de agua (ΔH) en rebanadas de melón

En cuanto al efecto de la variación de los niveles de SST y del tiempo a niveles de presión de vacío constantes de 300 mm Hg (Figura 6) se

observó que a partir de aproximadamente 34 °Brix la pérdida de agua aumentó con el tiempo. La mayor pérdida se produjo aproximadamente con 42-46 °Brix y tiempo de alrededor de 30 minutos. Estos resultados coinciden con los reportados por Saputra (2006), referidas a que en los primeros 30 minutos del proceso de deshidratación osmótica predomina el mecanismo hidrodinámico, en el cual la diferencia de presión que se presenta en el sistema provoca la expansión del gas ocluido en los espacios porosos y la salida de un considerable volumen de agua de la estructura interna del fruto.

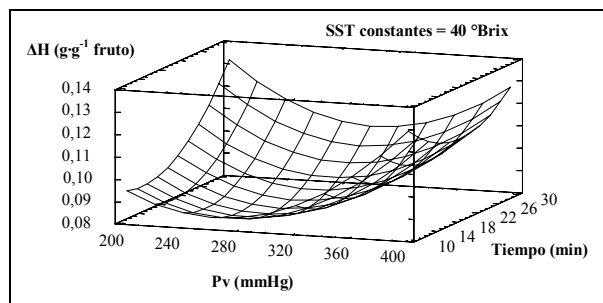


Figura 5. Superficie de respuesta para la pérdida de agua (ΔH) de rebanadas de melón en función al tiempo de proceso y la presión de vacío (P_v)

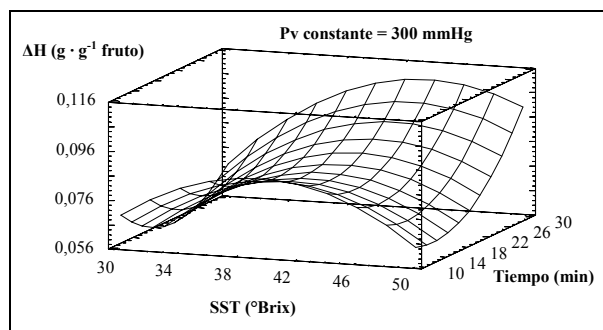


Figura 6. Superficie de respuesta para la pérdida de agua (ΔH) de rebanadas de melón en función al tiempo de proceso y SST de la solución

Ganancia de solutos

La Figura 7 muestra la tendencia de la ganancia de solutos del fruto en función del tiempo y la presión de vacío, para un valor constante de 40 °Brix. Se observa que la mayor ganancia de sólidos en el fruto se manifestó en las etapas finales del proceso de deshidratación (a los 30 minutos de procesamiento) con presiones de

vacío de 300 mmHg, debido a que la ganancia de solutos en la matriz del fruto forma parte de la segunda etapa en el proceso de deshidratación (Torreggiani, 2003). Este autor explica que la salida de fluidos desde la matriz del fruto se lleva a cabo en las etapas iniciales del proceso, para luego dar paso a una segunda etapa o etapa de impregnación, en la cual la ganancia de sólidos es mayor que la pérdida de agua. Inicialmente, el potencial químico del agua es más alto en el tejido vegetal, y el potencial químico de la sacarosa es mayor en la solución osmótica, pero luego de anulado el potencial químico del agua y quedando la solución hipertónica aún rica en sacarosa, comienza a manifestarse el potencial químico del soluto lo cual le permite penetrar la matriz del fruto. La menor ganancia de solutos bajo estas condiciones se presentó a presiones de 400 mmHg por 30 minutos. Fito et al. (2004) señalan que las altas presiones ejercen un efecto de deformación de las células parenquimáticas del fruto, evitando el intercambio de fluidos entre el fruto y el medio. Como se discutió anteriormente, el efecto que tienen las altas presiones de vacío sobre la deformación de las células del parénquima conjuntamente con las diferencias de tamaño entre las moléculas de sacarosa y del agua, dificultan la difusión del soluto a través de la membrana celular (Torreggiani, 2003; Fito et al., 2004). Asimismo, la ganancia de solutos es baja en condiciones de corto tiempo pero la misma se incrementa a medida en que aumenta el tiempo de procesamiento, favoreciendo el intercambio de solutos. Resultados similares fueron reportados por Saputra (2001) en frutos de piña.

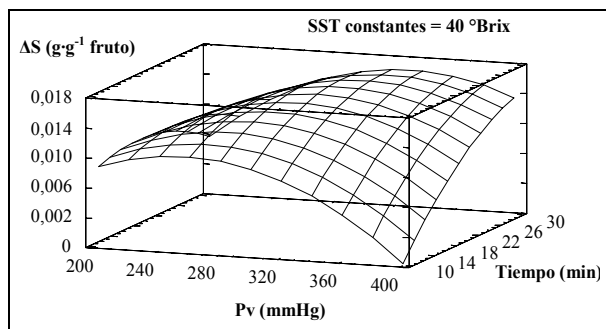


Figura 7. Superficie de respuesta para la ganancia de solutos (ΔS) de rebanadas de melón en función al tiempo de proceso y la presión de vacío (P_v)

La figura 8 muestra la superficie de respuesta de la ganancia de solutos en función de los SST y el tiempo, para un valor constante de presión de vacío de 300 mmHg. Se aprecia una ganancia de solutos hasta determinado valor de SST y una ganancia continua con el tiempo a partir de ese valor. De esta forma, los máximos valores de ganancia de solutos se observan a los treinta minutos de tratamiento y SST cercanos a 40 °Brix.

Los resultados obtenidos sugieren que para hallar máximos valores en cuanto a la ganancia de solutos en rebanadas de melón en los niveles estudiados, sería suficiente aplicar presiones de vacío de 300 mmHg con soluciones saturadas de hasta 40 °Brix. Estos valores son iguales a los reportados por Moreno et al. (2004), quienes trabajaron con papaya (*Carica papaya* L.) en procesos similares a los del presente ensayo. El resultado es de particular importancia para aquellos casos en los cuales se desee estimar los parámetros de impregnación con soluciones de sacarosa.

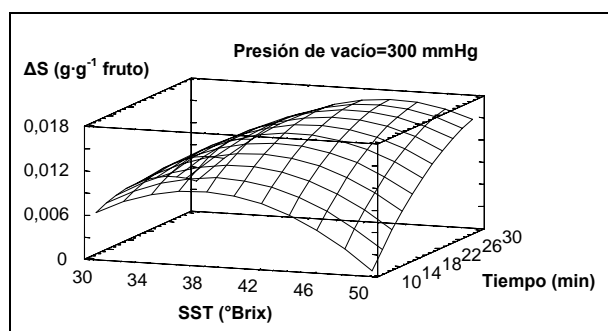


Figura 8. Superficie de respuesta para la ganancia de solutos (ΔS) de rebanadas de melón en función al tiempo de proceso y SST de la solución

CONCLUSIONES

Los diferentes niveles de SST así como las relaciones SST-tiempo y presión de vacío-tiempo afectaron significativamente la pérdida de peso de las rebanadas de melón. Los dos primeros factores mostraron un efecto directo sobre la pérdida de peso, indicando que a medida en que aumentaron los niveles de estos factores, también aumentó la pérdida de peso. Lo contrario ocurrió con la

relación presión de vacío-tiempo, en donde se detectó un efecto inverso.

Durante los primeros minutos de tratamiento se favoreció la pérdida de peso en el fruto, para luego incrementar la ganancia de solutos. Los máximos niveles de ganancia de solutos se presentaron al aplicar una presión de vacío de 300 mmHg en soluciones de 40 °Brix y 30 minutos de procesamiento.

LITERATURA CITADA

1. Farkas, D.F. y M.E. Lazar. 2004. Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration rates. *Food Technol.* 23(6): 688-690.
2. Fito, P., Q. Shi. y R. Pastor. 2004. Non diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration of fruits. *Drying Technol.* 33(10):1429-1432.
3. Ganina-Soto, P. y S. Altamirano-Morales. 2005. Deshidratación osmótica de prisma de camote, manzana y papa. *Interciencia* 30(8): 485-487.
4. Moreno, B., V. Velasco, G. Petzold y G. Tabilo-Munizaga. 2004. Osmotic dehydration and vacuum impregnation in physiochemical properties of chilean papaya (*Carica candamarcensis*). *J. Food Sci.* 69(3): 102-106.
5. Ponting, J.D., G. Watters, R. Forrey, R. Jackson y W. Stantey. 2006. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.* 20(3): 125-128.
6. Raoult-Wack, A.L., S. Guillbert, M. Le Maguer y G. Rios. 2001. Simultaneous water and solute transport in shring media. Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration) *Drying Technol.* 9(7): 580-612.
7. Saputra, D. 2001 Osmotic dehydration of pineapple. *Drying Technol.* 19(2): 415-425.
8. Sharma, S.K. 2003. *Ingeniería de alimentos.* Editorial Limusa Wiley. New York.
9. Torreggiani, D. 2003. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International* 17(2): 215-225.