



Efecto de la temperatura y la concentración del jarabe de inmersión en la difusividad efectiva y aceptación sensorial en cubos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) osmodeshidratado

Effect of temperature and concentration of the syrup in the effective diffusivity immersion and sensory acceptance yacón cubes (Smallanthus sonchifolius) dehydrated osmodeshidratado

Gavidia Alicia, Carbajal Rosa, Reyna Lysbeth, Hidalgo Chueysi, Guevara Ciro, Cabellos Julisa, Rojas Julio*

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú.

Recibido 02 octubre 2012; aceptado 19 abril 2013.

Resumen

Se investigó el efecto sinérgico (fructo-oligosacárido y sacarosa) en distintas combinaciones de soluciones a concentraciones de 30, 35 y 40 °Brix; con temperaturas de 30, 40, y 50 °C sobre la humedad, ganancia de sólidos solubles y aceptabilidad general en términos de sabor y apariencia, utilizando el modelo matemático de Azuara para calcular la difusividad efectiva media, en cubos de yacón de 1 cm de lado. Se evaluó la cinética de humedad y ganancia de sólidos en función de las temperaturas de proceso durante 14 horas. Se determinó la difusividad efectiva promedio de ganancia de sólidos solubles después de un periodo de secado. Se realizó análisis sensorial con la prueba Mann-whitney para determinar la mayor aceptabilidad dando como mejor resultado el tratamiento con 40 B; 30°C. También se encontró que en las muestras pertenecientes a dicho tratamiento hubo mayor ganancia de sólidos solubles, el menor % de humedad en el tratamiento con 40B; 50°C, Igualmente, la mayor difusividad efectiva promedio se realizó en el tratamiento con 40B; 50°C.

Palabras clave: Yacón, deshidratación osmótica, sinergia, fructo-oligosacárido.

Abstract

We investigated the synergistic effect of two solutes (fructo-oligosaccharide and sucrose) in different combinations of solutions to a concentrations of 30, 35 and 40°Brix, with temperatures of 30, 40 and 50°C on the moisture, soluble solids gain and overall acceptability in terms of taste and appearance, using the Azuara mathematical model to calculate the mean effective diffusivity in yacón cubes 1 cm on a side. The kinetics of moisture and solids gain depending on process temperatures for fourteen hours. Effective diffusivity is determined average gain of soluble solids after a period of drying. Sensory analysis was performed with the Mann-Whitney test to determine the greater acceptability giving best result of the treatment with 40°B, 30°C. We also found that the samples belonging to the processing gain was increased soluble solids, lower% humidity in the treatment with 40°B, 50°C, also the largest average effective diffusivity was performed in the same treatment with 40°B, 50°C.

Keywords: Yacón, osmotic dehydration, synergy, fructo-oligosaccharide.

1. Introducción

El Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es una raíz andina de sabor dulce, esta planta puede alcanzar de 1.5 a 3 m de altura. Su raíz considerada como única de consumo directo funciona como "fruta"

en los sistemas alimenticios tradicionales (Hermann *et al.*, 1999). Su jugo contiene principalmente azúcares libres y fructanos de baja polimerización llamados Fructooligosacáridos (carbohidrato formado por polímeros de

* Autor para correspondencia
E-mail: jrojasna@unitru.edu.pe (J. Rojas)

fructosa) que no son metabolizables por las enzimas del organismo humano pero estimulan el crecimiento de las bifido bacterias en el colon, lo que conduce a suprimir patógenos putrefactivos; reduciendo de esta manera, la formación de compuestos tóxicos como amoniaco y aminas (toxinas del hígado), nitrosaminas (compuestos cancerígenos), fenoles y cresoles (promotores de cáncer) y las concentraciones de colesterol.

En los últimos años se han descubierto una serie de propiedades medicinales que han cambiado radicalmente su utilización. Sus raíces tuberosas, ricas en fructooligosacáridos (FOS) constituyen un alimento bajo en calorías y con propiedades prebióticas. Un prebiótico se define como un azúcar no digerible e inerte para el ser humano, que al ser ingerido sirve como alimento para favorecer el crecimiento diferencial en el intestino de bacterias probióticas, mejorando así el balance intestinal.

Recientemente en el Perú se ha demostrado que distintas cepas de *L. plantarum*, *L. acidophilus* y *B. bifidum*, naturalmente presentes en el intestino humano, son capaces de fermentar los fructanos de yacón. Entre los efectos fisiológicos del consumo de fructooligosacáridos (FOS) tenemos: salud gastrointestinal, reduce el riesgo de desarrollar lesiones pre-cancerosas en el colon, fortalece el sistema inmunológico, contribuye a evitar estreñimientos, pueden ser incluidos en regímenes dietéticos para bajar de peso combatiendo la obesidad. Puede representar una alternativa en dietas para diabéticos ya que los FOS no tienen incidencia en el aumento de los niveles de glucosa en la sangre.

Las raíces de yacón tienen grandes cantidades de agua (85-90%), hidratos de carbono, fibras, minerales y vitaminas, la humedad constituye un problema ya que aumenta los costos de transporte.

Tabla 1. Composición química del yacón por cada kg de raíz tuberosa fresca

Componente	Valor
Materia seca (g)	115
Carbohidratos solubles (g)	95
Proteína (g)	4
Grasa (g)	0.3
Fibra (g)	4
Energía (Kcal)	174
Calcio (mg)	87
Fósforo (mg)	240
Potasio (mg)	3

Tomado de Hermann et al. (1999).

Por otro lado el almacenamiento de raíces vivas lleva consigo una paulatina hidrólisis de los FOS y pérdida de las cualidades dietéticas. La

deshidratación osmótica consiste en sumergir los alimentos en soluciones hipertónicas con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior del alimento. Esta técnica aplicada a los productos hortofrutícolas permite reducir su contenido de humedad hasta un (50-60% en base húmeda) e incrementar el contenido de sólidos solubles.

Según Casp y Abril (2003), los alimentos obtenidos por este método de deshidratación osmótica presentan varias ventajas pero no reduce lo suficientemente la actividad de agua, para impedir la proliferación de los microorganismos. El proceso aumenta, en cierta forma, la vida útil del alimento, pero no lo preserva. Por esta razón es necesaria la aplicación de otros métodos de conservación adicionales como congelación, pasteurización o deshidratación, en este caso se aplicó el secado en estufa. Lenart y Flink (1984) afirman que la temperatura es una de las variables que más afectan el proceso de deshidratación osmótica. Un aumento de la temperatura intensifica la eliminación de agua y la penetración de la sustancia osmótica en el tejido. Sin embargo, la relación entre el agua eliminada y la sustancia osmótica que penetra tiene un valor constante.

2. Materiales y métodos

Deshidratación osmótica

Se utilizó la raíz de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) variedad amarillo o K'ello, adquirida en los mercados de la región, teniendo en cuenta la homogeneidad de sus características sensoriales y fisicoquímicas a fin de garantizar la representatividad de la muestra; la cual se procedió a su respectivo pelado, y posterior trozado en cubos de 1cm de arista, teniendo cada uno de ellos la misma dimensión y un peso homogenizado entre 1.04 – 1.05 g. posteriormente a esta operación se colocaron todas las muestras en una solución de ácido ascórbico(1%) para evitar su pardeamiento enzimático. Después de esto, previo a su inmersión en las soluciones osmóticas, se realizó al escaldado, por 5 min a 99 ° C; con la finalidad de inactivar las enzimas y mejorar sus características organolépticas. Luego se procedió a su inmersión en las diferentes soluciones osmóticas a distintas concentraciones (30°Brix, 35°Brix y 40°Brix), donde el agente osmótico utilizado fue FOS (fructligosacaridos), y temperaturas (30°C, 40°C Y 50°C); por 14horas. Obteniéndose de esta manera 5 diferentes tratamientos, con 3 repeticiones cada uno. Finalizado el tiempo de inmersión se procedió a colocar cada grupo de muestras en la estufa a 105°C por 3 horas con la finalidad de poder cuantificar el % de humedad, ganancia de sólidos, perdida de agua.

Cálculos cinéticos

%Humedad: se determinó mediante el método AOAC 930.15 (AOAC, 1997), aplicándose la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

%H = porcentaje de humedad

W₁= peso de muestra (g)

W₂= peso de muestra seca (g)

% pérdida de agua (PA)

$$\%PA = \frac{H_0 - H_t}{M_0} * 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

H₀ = contenido inicial de agua en la muestra (g).

H_t = contenido de agua en la muestra en el tiempo t (g)

M₀= masa inicial de la muestra (g)

% ganancia de solidos (SG):

$$\%SG = \frac{M_{s0} - M_{st}}{M_0} * 100 \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

M_{s0}= masa seca inicial de la muestra (g).

M_{st}= masa seca de la muestra en un tiempo t (g).

M₀= masa inicial de la muestra (g).

Difusividad efectiva (Def): Se aplicó la ecuación de Azuara et al. (1992) en el tiempo t y para placa infinita.

$$Def_t = \pi t / 4 [(S_1 / l + S_1 L) (\%PA^{mod}_{\infty} / \%PA^{exp}_{\infty})]$$

Dónde:

L= Dimensión característica, equivalente a la mitad del arista.

t= tiempo t

S1= constante relacionada con pérdida de agua (min⁻¹).

PA_∞= fracción de agua perdida por la muestra en el equilibrio.

%PA_{mod∞}= valor encontrado según la ecuación linealizada de azuara.

%PA_{exp∞}= valor encontrado según resultados experimentales.

Además el efecto de la temperatura en la cinética osmótica depende del tipo de sustancia osmótica utilizada (Lenart y Lewick, 1989).

El contenido de agua y concentración de azúcar es función del tiempo. La duración del proceso

debe ser lo más corta posible para conseguir una buena deshidratación. En un tratamiento osmótico se consiguen unas pérdidas rápidas de agua durante las dos primeras horas (Foskas y Lazar, 1969). Una interrupción temprana del proceso osmótico provoca una considerable cantidad de agua eliminada sin una gran captación de azúcar (Karel, 1975).

Por las cualidades que posee este producto y con la finalidad de contribuir a un mayor conocimiento sobre éste proceso de deshidratación osmótica es por lo que se realizó el presente trabajo. Desde el punto de vista de transformación, es necesario aplicar los conocimientos técnicos y científicos con la finalidad de obtener productos de calidad y que conserven sus bondades originales, uno de ellos es la obtención de productos osmodeshidratados

3. Resultados y discusión

En la tabla se muestran un a diferencia de % de humedad, pérdida de agua, ganancia de sólidos, y difusividad media para los tratamientos después de la deshidratación osmótica. Las variables que afectan el proceso de deshidratación osmótica y que pueden manejarse operativamente son: temperatura del proceso, concentración de solución osmótica, naturaleza del agente químico utilizado (Corzo y Centeno, 2003).

Los modelos matemáticos para el % de humedad, ganancia de sólidos, difusividad efectiva media y color son los siguientes:

$$\%H = 82.41453 - 0.08287 * Brix + 0.35507 * Temp - 0.01445 * Brix * Temp \quad (R^2=98\%; R^2_{ajustado}=96\%)$$

$$GS = -208.917 + 7.312 * Brix + 4.054 * Temp - 0.136 * Brix * Temp \quad (R^2=89\%; R^2_{ajustado}= 77\%)$$

$$D = 17.81689 - 0.49242 * Brix - 0.28442 * Temp + 0.00987 * Brix * Temp \quad (R^2=97\%; R^2_{ajustado}=95\%)$$

$$Color = -2.75512 + 0.19694 * Brix + 0.14433 * Temp - 0.00432 * Brix * Temp \quad (R^2=88\%; R^2_{ajustado}=76\%)$$

Tabla 1 Resultados de variables dependientes luego de la deshidratación osmótica.

Tratamiento	[]	Temp.	%H	PA	GS	D (x10-9)	Color	Sabor	Textura
1	30	30	77.85	24.95	12.99	3.30	3.64	3.99	3.85
2	40	30	72.68	30.15	45.36	1.33	4.31	4.51	4.23
3	30	50	76.28	33.42	12.58	3.53	3.93	4.24	3.71
4	40	50	68.22	48.46	17.77	3.54	3.74	3.62	3.56
5	35	40	72.62	43.53	14.24	3.08	3.70	3.79	4.00
6	35	40	73.31	41.91	14.47	3.18	3.85	3.90	3.90
7	35	40	73.40	42.81	55				

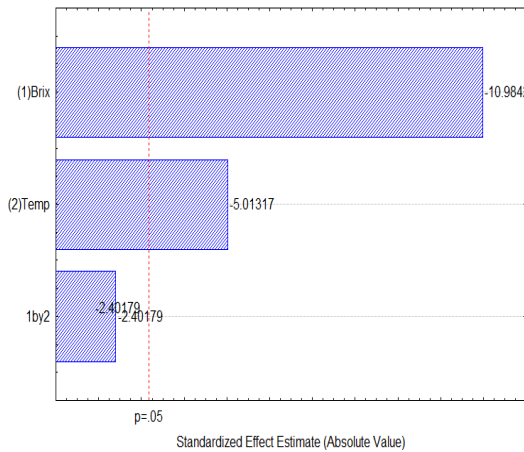


Figura 1. Efecto de las variables dependientes en el % de humedad.

Se puede notar que hay antagonismo entre las variables dependientes, grados brix y temperatura, esto indica que actuando combinadas tienen un efecto no significativo en el porcentaje de humedad.

En la gráfica 1 se puede notar que los °Brix tiene mayor influencia en el % de humedad.

La deshidratación osmótica implica la inmersión de productos con alto contenido de agua con soluciones azucaradas o salinas concentradas, existiendo una transferencia simultánea de masa en contra corriente entre el producto y la solución: una gran proporción de agua del producto pasa a la solución, pero al mismo tiempo halla la transferencia de solutos de la solución al producto. El requerimiento energético es menor que otros procesos de deshidratación, puesto que no requiere un cambio de estado del agua. Además, al mismo tiempo que se deshidrata el producto, este se puede impregnar con sustancia de interés como conservantes, suplementos nutritivos mejoradores de propiedades sensoriales, entre otros (Ordoñez *et al.*, 1998).

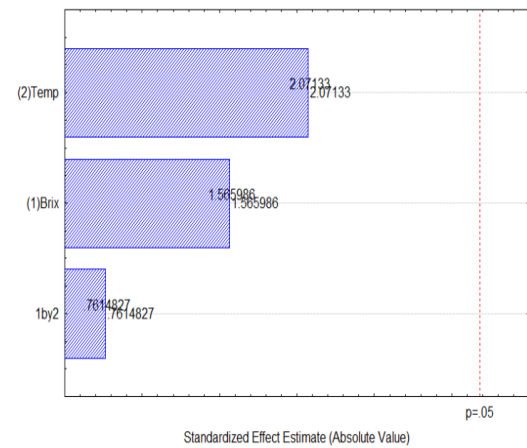


Figura 3. Efecto para la pérdida de agua.

La pérdida de agua obtenida aumenta pero no significativamente debido al fenómeno de ósmosis.

La T° es una de las variables que más afecta el proceso de deshidratación osmótica, ya que un aumento de la misma intensifica la eliminación de agua y la penetración de la solución osmótica en el tejido (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005).

En los alimentos, el contenido de agua y de solutos en función del tiempo, se observa una disminución de agua y un aumento de los azúcares en el tiempo (Ibarz y Barboza-Cánivas, 2007).

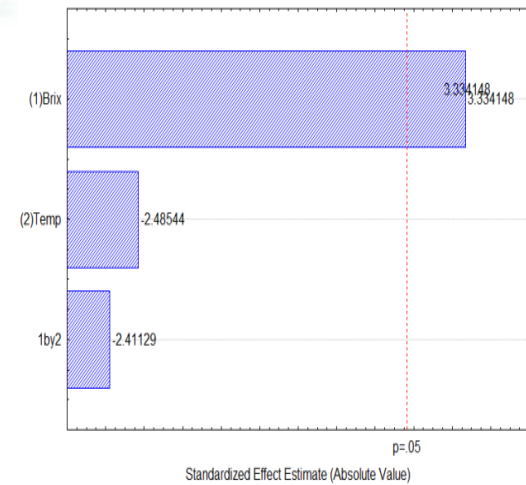


Figura 4. Para ganancia de sólidos.

Al respecto Ochoa-Martínez y Ayala-Aponte (2005) la ganancia de sólidos es proporcional a la concentración y temperatura, dado a la complejidad del sistema no se conocen relaciones matemáticas que permitan predecir de manera óptima las variables de proceso para unas variables de respuesta dada.

La alta complejidad del sistema hace que la precisión predictiva sea difícil cuando se usan modelos matemáticos rigurosos y que estas dependan de las condiciones de trabajo y de los parámetros.

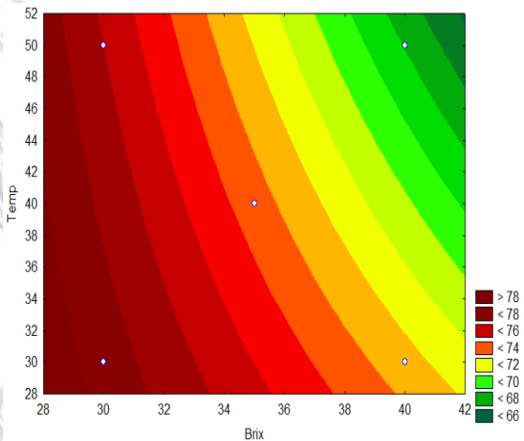


Figura 2. Contorno para el porcentaje de humedad.

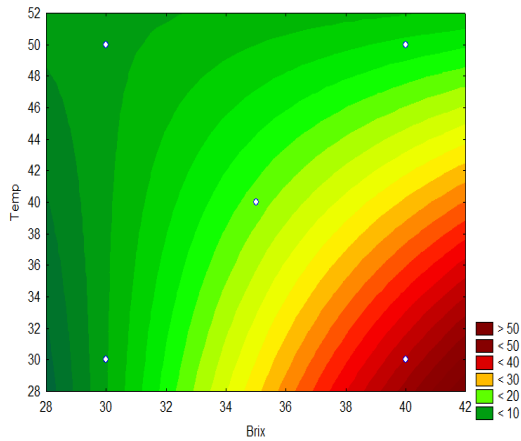


Figura 5. Contorno para ganancia de sólidos.

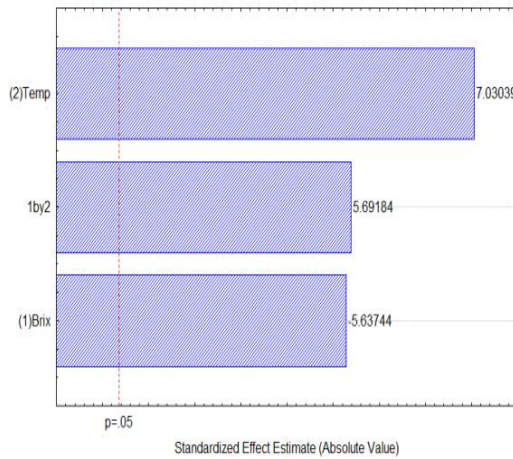


Figura 6. Determinar la influencia de temperatura y °Brix en difusividad.

Trabajamos con cubos de yacón de 1 cm de lado, y con solución de FOS como agente osmótico, encuentra valores de difusividad efectiva de 3.54×10^9 m²/s.

La difusividad efectiva del agua se va incrementando por la temperatura. Amiel, 2007 trabajando con cubos de yacón de 1 cm³ de yacón variedad amarilla encontró que la temperatura influyo significativamente en la difusividad efectiva media. Bazalar (2007), trabajando con aguaymanto también encontró influencia significativa de la concentración ya la temperatura y encuentra que con fructosa a 70° Brix y 60 °C se produce la mayor difusividad efectiva media (1.67×10^9 m²/s). Otros autores como Vega *et al.* (2007) no encontraron influencia significativa de la temperatura sobre la difusividad del agua en la deshidratación osmótica de cubos en papaya chilena de 1.0 cm³, sin embargo encuentran influencia significativa del factor concentración y concluyen que la difusividad de agua y de sólidos dependen básicamente de la concentración de la solución osmótica.

Rojas y Vásquez (2012) también encontraron valores de difusividad efectiva media para cubos

de yacón de 1.16 cm³ sumergidos en FOS (NUTRA FLORA). Los valores encontrados fueron: 1.42×10^{-8} m²/s (30°C), 1.58×10^{-8} m²/s (40°C) y 1.73×10^{-8} m²/s (50°C).

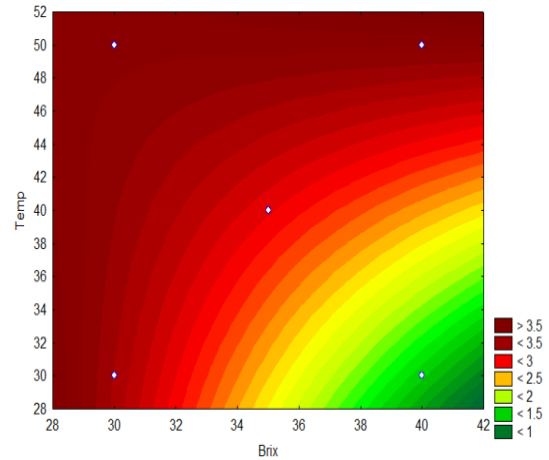


Figura 7. Contorno para difusividad efectiva promedio.

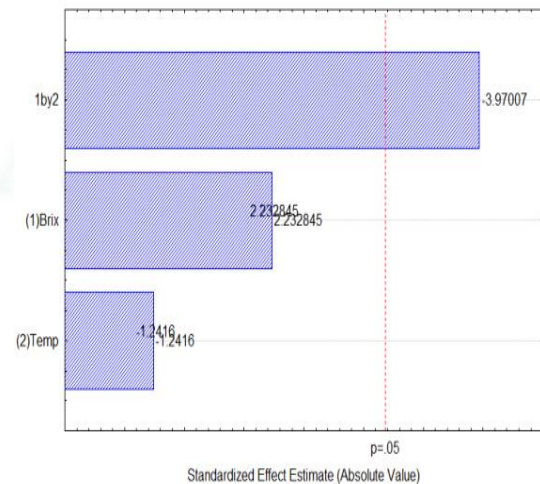


Figura 8. Efecto de la temperatura y °Brix en el color.

En la figura 7 se puede notar que la temperatura y el °Brix influyeron significativamente en la transferencia de masa de FOS, siendo el color inicial del producto más claro que la harina de yacón; la ganancia de este último ocasiono que los cubos de yacón tengan un color más oscuro. La temperatura pudo haber generado inversión de la sacarosa en azúcares reductores, ocasionando la reacción de Mayllard con su consecuente oscurecimiento (pardeamiento no enzimático).

En la figura 9 se muestra que la mayor aceptabilidad para el color se da en un rango de 40 a 42°Brix y 28 a 30° C, mostrando una escala sensorial mayor a 4,4; siendo la de menor aceptabilidad 30°Brix a 30°C con un escala menor a 3,6. La mayor aceptabilidad concuerda con nuestros resultados obtenidos con el diseño estadístico factorial.

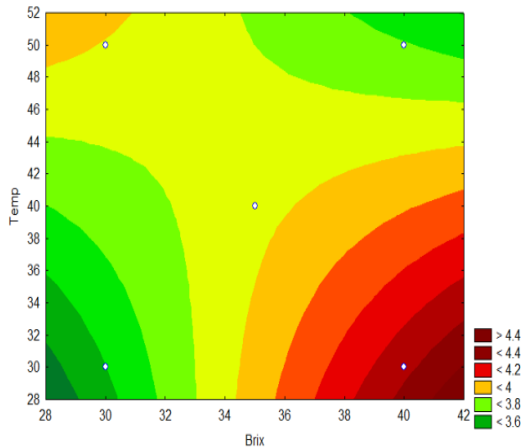


Figura 9. Contorno para el color.

4. Conclusiones

Temperatura influye significativamente en el porcentaje de humedad, difusividad efectiva promedio. La concentración influye significativamente en el porcentaje de humedad, ganancia de sólidos, en la difusividad efectiva promedio. La concentración y la temperatura tienen influencia combinada en la difusividad efectiva promedio y color. La mejor aceptación sensorial se obtiene en un rango de 40° a 42°Brix y 28 a 30° C.

5. Referencias bibliográficas

Amiel, R. 2007. Influencia de la temperatura en la difusividad efectiva y características sensoriales de cubos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) deshidratado osmóticamente. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Azuara, E; Cortes, R; Garcia, H.S.; Beristan C.I. 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship whit Fick's second law. International Journal of Food Science and Technology 27(4): 409-418.

Arreola, S.; Rosas, M. 2007. Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*Ficus carica*). Información Tecnológica 18(2): 43-48.

Casp, A.; Abril, J. 1999. Procesos y conservación de alimentos. Mundi Prensa. 1200 pp. Zaragoza, España.

Corzo, O.; Centeno, A.E. 2003. Superficies de respuesta de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del melón (*Cucumis melo*) variedad Edisto. Universidad de Oriente. Revista de la Facultad de Farmacia 45(1): 54-60.

Escriche, I.; Chiralt, A.; Moreno, J.; Serra, J.A. 2000. Influence of blanching-osmotic dehydration treatments on volatile fraction of strawberries. Journal of Food Science 65(7): 1107-1111.

Hermann, M.; Freire, J.; Pazos, C. 1999. Compositional Diversity of the Yacón storage Root. Impact of a Changing World. CIP Program report (1997-1998) Lima- Perú. Pp 425-432.

Ibarz, A.; Barbosa-Canovas, G.V. 2005. Operaciones unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

Lenart, A.; Flink, J. 1984. Osmotic concentration of potato. II Spatial distribution of the osmotic effect. J. Food Technol. 19: 85-89.

Melgarejo, D 1999. Potencial productivo de la colección nacional del yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepping and Endlicher)

Marfil, P.; Santos, E.V.T. Telis, V.R.N. 2007. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. LWT-Food Science and Technology 41(9): 1642-1647.

Ochoa-Martinez, CI.; Ayala-Aponte, A. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. Ciencia y Tecnología Alimentaria. Revista de la Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de alimentos 4(5): 330-342.

Okos, M.; Narsimhan, G.; Singh, R.; Weitnauer, A. 1992. Food dehydration. En Handbook of Food Engineering (D.R. Heldman y D.B. Lunds, Eds). Marcel Dekker, New York.

Roncero, B.; Quevedo, R.; Leiva, J. 2007. Efecto de un Pre-tratamiento Químico en el Deshidratado del Arándano por Métodos Combinados. Revista Información Tecnológica 18(6): 57-64.

