

CINÉTICA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PIÑA CON ALCOHOL ETÍLICO COMO OSMODESHIDRATANTE

JOSÉ EDGAR ZAPATA MONTOYA*
GILBERTO CASTRO QUINTERO**

RESUMEN

La deshidratación osmótica es un método no térmico de deshidratación, que permite obtener productos de humedad intermedia, con una muy buena calidad organoléptica. Se basa en la utilización de una solución de alta presión osmótica, que al entrar en contacto con un producto le extrae el agua, debido a que esta sale para tratar de solubilizar el soluto presente en la solución externa. Muchos solutos se han ensayado como osmodeshidratantes, pero la mayoría de ellos son poco o no volátiles, por lo cual resulta interesante estudiar el comportamiento de un soluto que pueda ser eliminado con facilidad después de la deshidratación osmótica, lo cual podría potenciar la utilización de esta técnica. En este trabajo se evaluaron los parámetros más importantes en la deshidratación osmótica, tales como pérdida de peso, pérdida de humedad y ganancia de soluto, alcanzándose valores de 33,75 %; 35 %; y 30,41 % p/p, para los tres parámetros mencionados, respectivamente. Se trabajó con soluciones del 80 % en etanol, a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C), en soluciones estáticas. Se calcularon la velocidad de pérdida de peso (VPP), la velocidad de pérdida de humedad (VPH) y la velocidad de ganancia de soluto (VGS), todas en diferentes intervalos de tiempo. Los resultados mostraron como las tres velocidades medidas, presentan valores altos inicialmente y van disminuyendo a través del tiempo, alcanzando incluso valores negativos en algunos casos.

Palabras Claves: deshidratación osmótica, velocidad de pérdida de humedad, velocidad de pérdida de peso, velocidad de ganancia de soluto.

* Profesor Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

** Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

ABSTRACT

The Osmotic dehydration is a non thermal method of dehydration that allows to obtain products of intermediate moisture, with a very good sensorials quality. It is based on the use of a solution of high osmotic pressure entering in contact with a product producing its dehydration, because of water present in it leaves to dissolve the osmotic agent concentrated in the external solution. Many substances ha been rehearsed as osmotics agents, but most of them are little or not volatile, althought it is interesting to study the behavior of a osmotic agent to be eliminated later easily, after osmotic dehydration, which it could promote the use of this technique. In this work the most important parameters of osmotic agent were evaluated, such as, Loss of Weight, Loss of Humidity and Gain of osmotic agent, reaching values of 33,75%; 35%; and 30,41% p/p, for the three mentioned parameters respectively. Static solutions were used of 80% in ethanol and ambient temperature (around 25 °C). The speed of loss of weight (VPP), the speed of loss of humidity (VPH) and the speed of soluto gain (VGS) were calculated, all in different intervals of time. The results showed that the three measured speeds present high values initially and they go diminishing through the time, even reaching negative values in some cases.

Key words: Osmotic dehydration, Speed of Loss of humidity, Speed of loss of weight, speed of soluto gain.

INTRODUCCIÓN

Si un compartimento de agua se separa de una disolución acuosa por medio de una membrana rígida permeable al agua, pero impermeable a los solutos, habrá un paso espontáneo de agua desde el compartimento que contiene agua pura hacia el que contiene la disolución, este fenómeno se denomina "osmosis directa". La transferencia de agua se puede detener aplicando a la disolución una presión adicional a la presión atmosférica. El valor de esta presión adicional necesaria para detener el paso de agua recibe el nombre de PRESION OSMÓTICA de la disolución. Es decir que entre mayor sea la concentración de solutos en un compartimento mayor será su presión osmótica (1,2).

La deshidratación osmótica (DO) es un proceso de remoción de agua en el cual los materiales celulares (tales como frutas) son colocados en una solución concentrada en solutos (hipertónica). La deshidratación principalmente se debe a un flujo osmótico de agua, desde el interior del producto a través de las membranas semipermeables del vegetal, causado por la diferencia en potencial químico del agua a ambos lados de dichas membranas (Véase Figura 1). Simultáneamente al flujo de agua hacia afuera, se presenta la entrada de soluto, aunque en menor medida, desde la parte externa hasta el interior del producto a deshidratar (3, 4, 5, 6).

En los últimos años se ha incrementado el interés por los procesos osmóticos de deshidratación en la industria alimentaria, fundamentalmente en el pretratamiento de frutas y hortalizas para mejorar las características nutricionales y sensoriales de los productos que se someten a procesos de conservación como el secado, la liofilización, la congelación, la refrigeración, etc., así como en la elaboración de productos de humedad intermedia y en los que se conservan por métodos combinados (7,8,9).

Un inconveniente común cuando se quiere alcanzar niveles altos de deshidratación es el incremento casi en igual medida de la ganancia en sólidos, lo cual no siempre es conveniente, debido a que se alteran considerablemente las propiedades organolépticas del producto, y se dificulta la eliminación de la humedad remanente, en el caso en que el soluto ganado se acumule superficialmente formando una caparazón. Además se presentaría un consumo mayor del soluto, lo cual para procesos a escala industrial puede representar un incremento de costos considerable (10, 11).

Una alternativa que puede dar solución al problema de la ganancia en soluto es la utilización de una sustancia que pueda ser removida con facilidad sin alterar las característica del producto osmodeshidratado. Dicho soluto deberá cumplir con unas propiedades especiales que faciliten la remoción

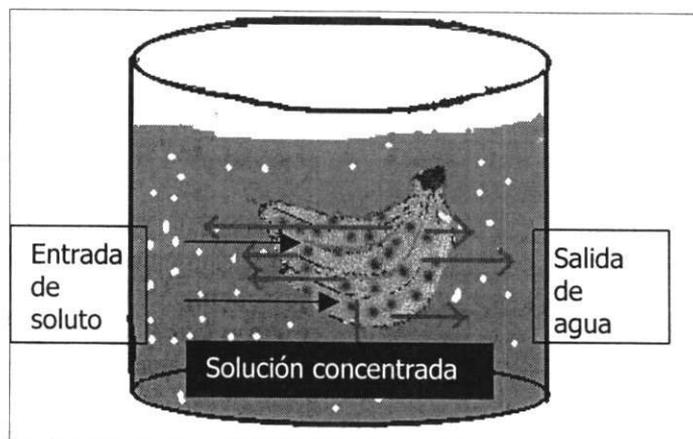


Figura 1. Deshidratación Osmótica

y que le permitan actuar como un buen agente deshidratante; estas características son: Punto de ebullición bajo, alta presión de vapor, punto de fusión bajo, alta osmosidad, compatibilidad con alimentos, mínimo efecto sobre propiedades organolépticas o efecto positivo sobre las mismas, entre otras.

La evaluación del comportamiento cinético de una o varias sustancias, con las anteriores características como agentes osmodeshidratantes, es un primer paso en la tarea de encontrar solutos mucho más eficientes y con mejores aplicaciones en la deshidratación osmótica. En el presente estudio se estableció inicialmente cuales deberían ser las características termodinámicas y organolépticas de los solutos, se revisó una amplia lista de sustancias y se encontró que la que mejor perfil tenía era el alcohol etílico (etanol). Con esta sustancia se realizaron ensayos de osmodeshidratación de piña, variedad manzana. El comportamiento cinético se midió con base en la pérdida de peso (WR), pérdida de humedad (WL) y ganancia de soluto (SG) de las muestras de piña a través del tiempo, que son los parámetros cinéticos más importantes en la deshidratación osmótica según lo reportado en la literatura (1,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13).

El conocimiento del comportamiento cinético de sustancias nuevas en la deshidratación osmótica, como es el caso del alcohol etílico, permite ampliar el horizonte de posibilidades en la aplicación de esta técnica. En este caso específico las características

de volatilidad, alta osmosidad y compatibilidad con los alimentos que presenta el etanol (14) sugieren el desarrollo de nuevos tipos de productos, por ejemplo aquellos que puedan tener como productos terminados en estado sólido, algún grado alcohólico, o productos a los cuales antes del envasado para consumo final se les retire los residuos de etanol por alguna técnica de las ya conocidas para secado de sólidos, con el consiguiente ahorro de tiempo, ya que el etanol es mucho más volátil que el agua, la cual previamente ha sido desplazada por éste. Adicionalmente este conocimiento puede permitir establecer el comportamiento que tendría el alcohol etílico en combinación con alguno de los solutos osmodeshidratantes tradicionales (sacarosa, glucosa, etc.), potenciando la utilización de mezclas con un mejor comportamiento global que las ya conocidas (1,6,10,11,12).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Piña fresca, variedad manzana.
Alcohol etílico (96,5%)
Alcohol etílico grado analítico
Reactivo de Karl Fisher
Metanol grado reactivo
Bolsas plásticas
Mallas plásticas

Equipos

Cromatógrafo de gases
Destilador de proteína
Titulador automático Karl Fisher
Balanza para determinar humedades
Termómetro de vidrio convencional
Balanza analítica
Alcoholímetro

PROCEDIMIENTO

Se trabajó con alcohol deshidratado al 96,5 %, la variedad de piña seleccionada fue la variedad manzana, por presentar buen rendimiento de pulpa y concentración de sólidos solubles, además mejores condiciones de sabor, aroma y carácter (15).

Preparación de Las Muestras Generales y de Las Soluciones.

Las piñas con un número de color cinco (16) se seleccionaron con textura firme, sin deformaciones y con una sola corona. Se pelaron y se les quitó el corazón, y las zonas visiblemente diferentes. Estas se partieron en trozos de 1 cm x 0,5 cm x 0,7 cm aproximadamente, a una temperatura de 25 °C. Con estos trozos se pesaron muestras de 100 gramos, y se colocaron en sendas mallas plásticas, previamente pesadas y rotuladas. Las soluciones alcohólicas se depositaron en beakers de 500 ml en una proporción tres veces mayor que el peso de las muestras de piña, de tal forma que se obtuviera una relación fruta/solución 1:3. En cada beaker se depositó una muestra de 100 gramos en el interior de una malla y 300 ml de solución; durante el tratamiento las soluciones permanecieron estáticas. Las muestras y las soluciones preparadas de la forma descrita se utilizaron en cada una de las determinaciones siguientes.

Determinación de la Reducción en Peso (WR).

Con el objetivo de observar el efecto que sobre la pérdida en peso tiene la concentración de la solución, se prepararon soluciones de etanol al 20 %, 40 %, 60 % y 80 %.

En cada una de ellas se depositaron muestras de 100 gramos, siguiendo el procedimiento descrito para muestras generales. A cada muestra se le hizo un registro de peso cada media hora, durante cinco horas. Estos ensayos se hicieron por duplicado.

En los ensayos para determinar el WR, el que mejor comportamiento presentó fue el del 80 %, por lo cual adicionalmente se prepararon soluciones al 80% en etanol y en ellas se depositaron muestras de piña, siguiendo el procedimiento descrito para muestras generales. A cada muestra se le hizo un registro de peso cada media hora, durante cuatro horas. Estos ensayos se hicieron por triplicado.

Determinación de la Pérdida de Humedad (WL).

Para determinar el comportamiento de la humedad del producto a través del tiempo y calcular de esta forma la pérdida de humedad del mismo, se tomaron dos muestras siguiendo el procedimiento descrito para muestras generales. De cada una de estas muestras se tomó una pequeña porción (alrededor de un gramo) a la cual se le determinó la humedad. Este procedimiento se realizó durante cuatro horas, a intervalos de una hora. Además se hizo una lectura de humedad a una porción de muestra sin osmodeshidratar, la lectura en cada muestra se hizo por duplicado. Esta determinación se hizo en un Titulador Automático "Titroline Alpha" que utiliza el método Karl Fisher. La solución osmodeshidratante utilizada en todos los casos fue del 80 % en etanol.

Determinación de la Ganancia de Solutos (SG)

Tratamiento de las Muestras Para Cromatografía.

Para determinar la cantidad de alcohol etílico que penetra en la piña durante la osmodeshidratación, se prepararon dieciséis muestras según se ha indicado para muestras generales. Los tiempos de tratamiento de cada muestra se variaron iniciando en 15 minutos para la primera, y a intervalos de 15 minutos para las demás hasta alcanzar en la última muestra un tiempo de cuatro horas. Se utilizaron soluciones alcohólicas del 80 % en etanol, a temperatura de

25°C. Las muestras una vez tratadas fueron colocadas en doble bolsa plástica, para evitar la vaporización del etanol, y almacenadas en nevera a -3 °C, durante 24 horas. Este procedimiento se hizo por duplicado para cada tiempo de tratamiento. Además, se hicieron blancos para determinar la presencia de alcohol en la muestra antes del tratamiento. Para esto se tomaron dos muestras de piña fresca, se almacenaron en bolsas plásticas y se colocaron en nevera a -3 °C por 24 horas.

Validación del Arrastre con Vapor y el Análisis Cromatográfico

Con el objetivo de corroborar la validez de los resultados obtenidos en el análisis cromatográfico, se prepararon cinco soluciones al 12,5 % en etanol, las cuales se mezclaron con 25 g de piña cada una, se maceraron y luego se almacenaron en nevera a -3 °C; a las 24 horas se llevaron al destilador de arrastre con vapor, tomando volúmenes de destilado de 50, 100, 150, 200 y 250 ml respectivamente. Los destilados se inyectaron en el cromatógrafo de gases, observando en cual caso se recuperaba el mayor volumen de alcohol. Los resultados mostraron que el mayor volumen de alcohol se recuperó cuando el destilado fue 50 ml.

Se prepararon nuevamente dos soluciones de alcohol al 12,5 %, recogiendo 50 ml de destilado y las soluciones obtenidas se inyectaron en el cromatógrafo de gases para determinar la cantidad de alcohol presente. Este tratamiento se hizo a tres muestras y la inyección en el cromatógrafo fue doble por cada muestra.

El cromatógrafo de gases utilizado fue un Perkin Elmer, modelo autosystem, con detector de conductividad térmica y columna empacada de 1,8 m de longitud por 4 mm de diámetro interno, OV - 17,3 % sobre Chromosorb WHL.

Destilación de Arrastre con Vapor y Análisis Cromatográfico:

Las muestras tratadas según se indica en el numeral de muestras para cromatografía, fueron llevadas a un equipo de destilación de arrastre con vapor, en el cual se extrajo el alcohol presente, recogiendo para

cada muestra 50 ml de destilado. Este destilado fue envasado en frasco hermético y almacenado en nevera a -3 °C durante 24 horas.

Los destilados obtenidos se inyectaron en un cromatógrafo de gases para determinar la cantidad de alcohol presente en cada uno y así la cantidad que cada muestra osmodeshidratada absorbió durante el tiempo respectivo. Para este procedimiento se debió elaborar una curva de calibración con soluciones estándar de alcohol del 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos de la Concentración de la Solución Sobre el Peso de la Muestra a Través del Tiempo

La pérdida porcentual de peso se calculó con la ecuación 1.

$$\%PP = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100 \quad (1)$$

Donde:

%PP = Porcentaje en pérdida de peso

W_i = Peso inicial del producto

W_f = Peso del Producto al tiempo t

Los datos del efecto de la concentración sobre la pérdida de peso en función del tiempo se presentan en la Figura 2. Un fenómeno apreciable en todas las soluciones fue la migración de color de la piña al seno de la solución, siendo ésta proporcional a la concentración de la solución y además dependiente del tiempo.

Se determinó trabajar en la evaluación de los otros parámetros con la solución del 80 %, ya que por ser la que presenta un comportamiento marcadamente superior permite apreciar de mejor forma el resto de los parámetros de importancia en la cinética de la deshidratación osmótica con alcohol etílico. Estos resultados se presentan en la Figura 3.

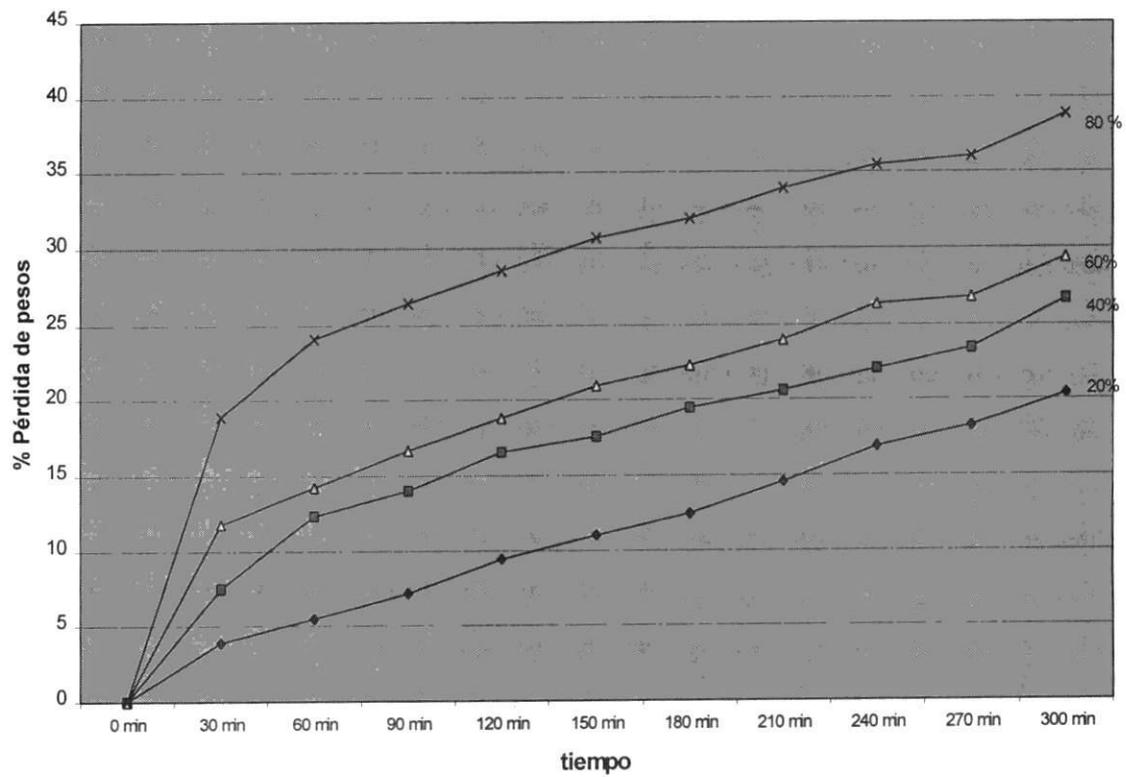


Figura 2 Pérdida porcentual de peso en función de la concentración de la solución y del tiempo

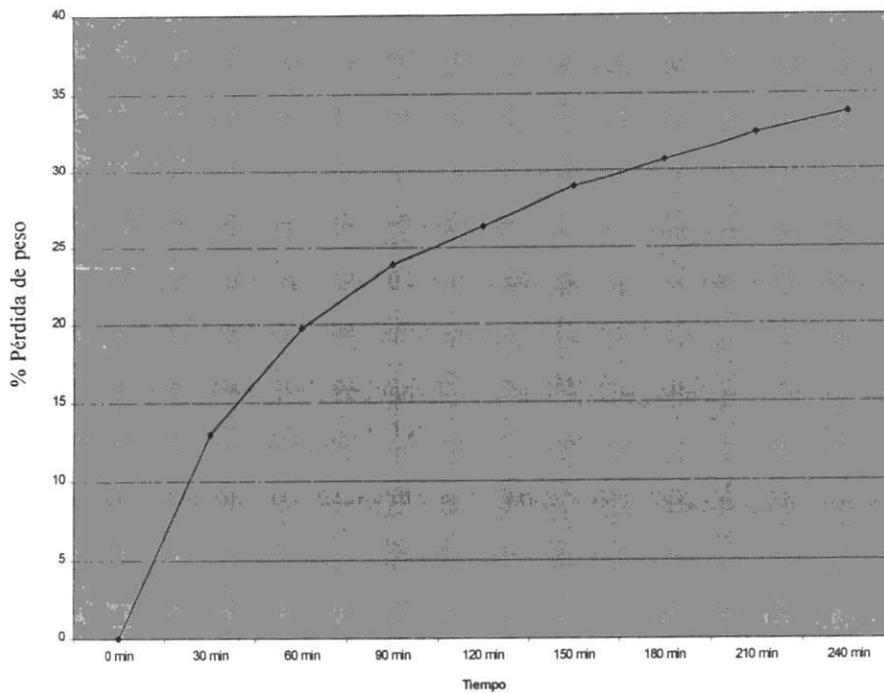


Figura 3. Pérdida porcentual de peso (Etanol 80%)

La Figura 3 muestra una línea con cambios más suaves pero con un valor final consecuente con lo anteriormente observado en la Figura 2 (próximo a 35 % para 240 minutos). Además se presenta la misma tendencia a seguir subiendo. La pendiente inicial es más marcada pero la línea continúa con una trayectoria parabólica sin que en el intervalo de tiempo estudiado se pueda observar los valores asintóticos para el porcentaje de pérdida de peso, lo cual indica que en este tiempo no se alcanza el equilibrio en el sistema. Se construyeron curvas de velocidad de pérdida de peso (VPP) vs tiempo; la VPP se calculó con la ecuación 2.

$$VPP = \frac{\%PP_i - \%PP_{i-1}}{\Delta t} \quad (2)$$

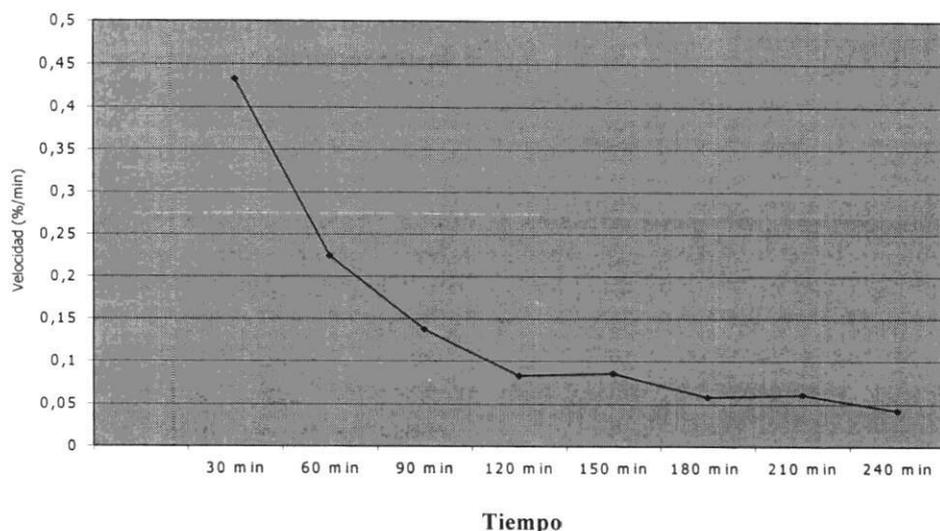


Figura 4. Velocidad de pérdida de peso vs tiempo

Pérdida de Humedad en Función del Tiempo

Los valores de pérdida porcentual de humedad (PPH) se calcularon como lo indica la ecuación 3.

Donde:

$$PPH = \frac{H_i - H_f}{H_i} * 100 \quad (3)$$

PPH: Pérdida Porcentual de Humedad

H_i : Humedad inicial del producto

H_f : Humedad del Producto al tiempo t

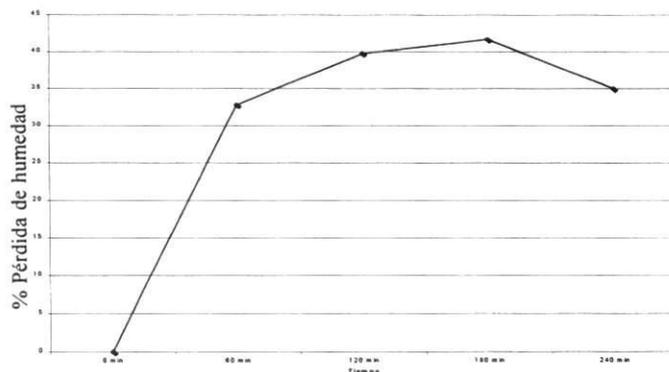


Figura 5. Pérdida porcentual de humedad

La Figura 5 presenta los resultados de la pérdida porcentual de humedad en función del tiempo. La curva muestra una pendiente muy marcada en los primeros 60 minutos, la que empieza a disminuir después de 60 y al llegar a 180 minutos presenta un descenso, dando la idea de que el proceso se invierte, o que se trata de un proceso que presenta varios picos con el transcurso del tiempo.

Al igual que la VPP, la velocidad con que el producto pierde humedad (VPH) es uno de los parámetros más importantes; la VPH se calculó con la ecuación 4.

$$VPH = \frac{\%PH_i - \%PH_{i-1}}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde:

$\%PH_i$ = % pérdida de humedad en el intervalo evaluado

$\%PH_{i-1}$ = % pérdida de humedad en el intervalo anterior al evaluado

Δt = intervalo de tiempo entre una medida de humedad y la siguiente (60 min)

La velocidad con la cual el producto disminuye el porcentaje de humedad se muestra en la Figura 6; ésta permite apreciar que la VPH inicialmente presenta un valor relativamente alto, para después presentar un descenso vertiginoso y alcanzar valores inclusive negativos.

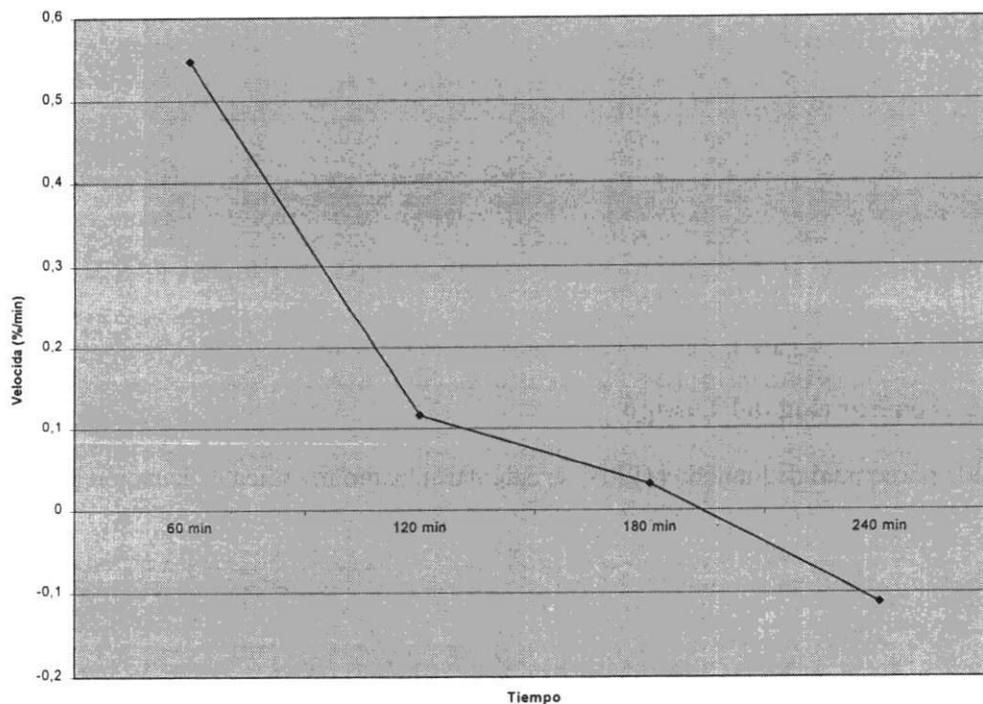


Figura 6. Velocidad de pérdida de Humedad en función del tiempo

Ganancia de Solute en Función del Tiempo

Los datos de la cantidad de alcohol que penetra en cada muestra en función del tiempo se presentan en el Cuadro 1 y fueron calculados como se muestra en la ecuación 5.

Donde: 0,78506 es la densidad del alcohol a la temperatura de trabajo.

Cuadro 1. Ganancia de Solute en Función del Tiempo

Tiempo (min)	Peso de la muestra (g)	% v/v etanol en solución destilada	Volumen de etanol en solución (en la muestra)	% p/p etanol en la muestra
0 min	50,31	0	0	0
15 min	45,77	17,23	8,62	14,78
30 min	42,91	18,56	9,28	16,98
45 min	41,66	23,04	11,52	21,71
60 min	38,50	22,48	11,24	22,92
90 min	35,64	24,08	12,04	26,52
120 min	34,63	21,38	11,50	26,08
135 min	35,43	24,28	12,14	26,90
150 min	33,00	25,13	12,57	29,89
180 min	32,52	26,78	13,39	32,32
210 min	32,34	28,06	14,03	34,06
225 min	29,58	24,71	12,36	32,79
240 min	33,67	26,09	13,04	30,42

$$\%P/P_{\text{ de _etanol}} = \frac{\text{vol. de etanol} * 0,79}{\text{masa de la muestra}} * 100 \quad (5)$$

Donde: 0,79 es la densidad del alcohol a la temperatura de trabajo

La representación de los datos del contenido de alcohol en función del tiempo se muestra en la Figura 7. En esta Figura se aprecia que la entrada de alcohol durante los primeros minutos de tratamiento se realiza en forma rápida, es decir, la curva presenta una marcada pendiente en los primeros minutos, la cual

se va atenuando, para luego presentar un leve descenso, de forma similar a lo apreciado en el análisis de pérdida de humedad. Después de cuatro horas de tratamiento el producto presenta una elevada ganancia en soluto (alrededor del 30 %).

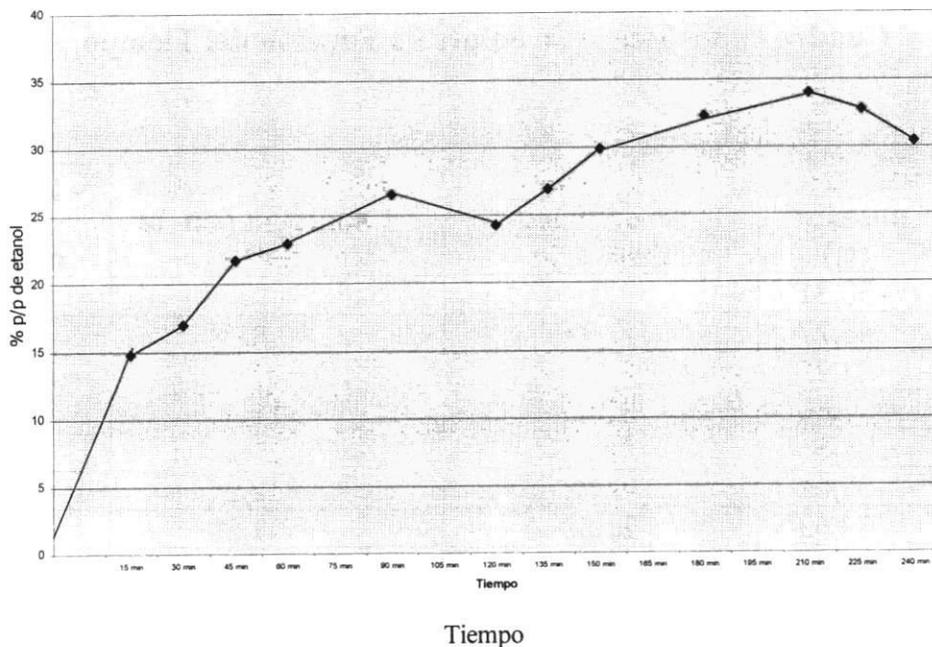


Figura 7. Contenido de alcohol en función del tiempo

La velocidad de ganancia de soluto se calculó con la ecuación 6.

$$VGS = \frac{\% OH_i - \% OH_{i-1}}{\Delta t} \quad (6)$$

Donde:

$\%OH_i$: % de etanol en el intervalo

$\%OH_{i-1}$: % de etanol en el intervalo anterior

Δt : Intervalo de tiempo (15 minutos)

La Figura 8 representa la velocidad de ganancia de soluto vs tiempo. En ella se puede apreciar como los valores de velocidad a la cual el alcohol entra en el

producto presentan un valor máximo en los primeros 15 minutos, para después llegar a valores de velocidad incluso negativos.

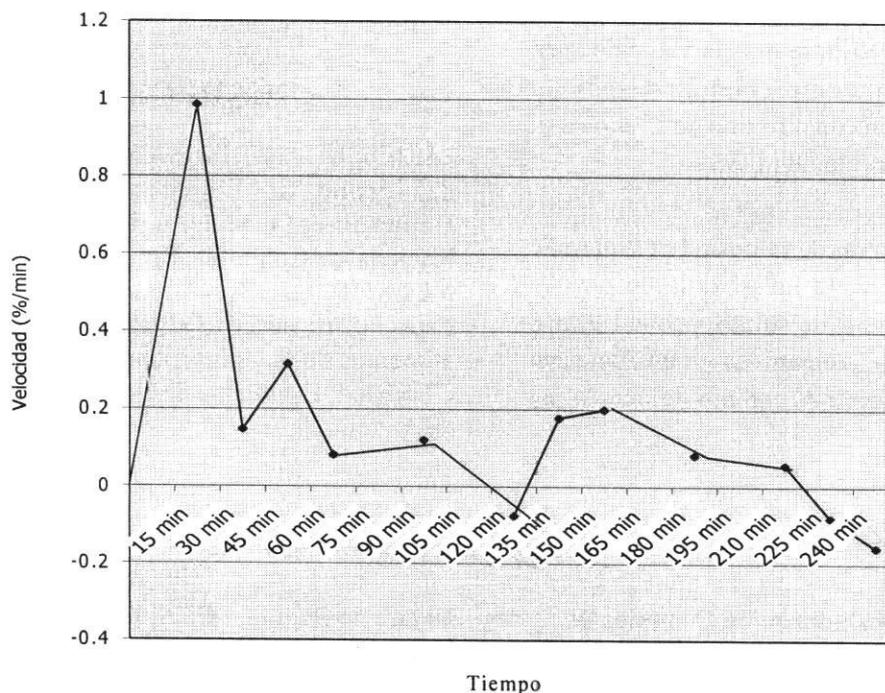


Figura 8. Velocidad de ganancia de soluto vs tiempo

CONCLUSIONES

Con base en lo observado a través de los diferentes ensayos y la evaluación de los resultados obtenidos, es importante anotar las siguientes conclusiones:

- El alcohol etílico tiene un alto rendimiento como agente osmodeshidratante, en lo referente a la disminución de peso y pérdida de humedad, comparativamente hablando, con los otros solutos utilizados y reportados en la literatura (1,6,12).
- El efecto que tiene la concentración de la solución sobre el porcentaje de pérdida de peso es significativo y se hace más notorio en los rangos extremos de concentración, es decir a bajas concentraciones o a altas concentraciones.
- El cambio de color de las soluciones es una evidencia de la migración de colorantes desde el

producto, lo cual indica un efecto negativo sobre las propiedades organolépticas del producto final.

- El efecto de disminución de peso y pérdida de humedad por el etanol, es marcadamente significativo en los primeros minutos de tratamiento, lo cual sugiere la utilización de este tipo de soluto en una etapa inicial, antes de que la pérdida de color sea significativa, para luego complementar el proceso con un soluto que tenga mejor comportamiento en cuanto a las propiedades organolépticas.
- La elevada ganancia de soluto corresponde con la gran diferencia de potencial químico y *driving force*, debido a la alta concentración de la solución y se presenta en forma rápida durante los primeros minutos de tratamiento, para después seguir aumentando pero con menor velocidad.

- La velocidad de pérdida de humedad y pérdida de peso es mayor en todos los casos en el primer intervalo de tiempo. Esta conclusión, aunque parece obvia, es importante porque permite visualizar la utilización del alcohol como un osmodeshidratante que puede utilizarse para una etapa inicial, es decir, mientras la velocidad sea alta, para luego complementarse por la osmodeshidratación con otro tipo de soluto en el momento en que la velocidad baje.
- Contrastando las curvas de velocidad en la pérdida de humedad, velocidad en pérdida de peso y velocidad en ganancia de soluto, puede llegar a determinarse como los cambios en una de estas variables puede afectar el cambio de una de las otras.
- Los valores negativos de velocidad de pérdida de humedad y de velocidad de ganancia de soluto hacen pensar que el proceso se invierte y que parte del agua vuelve a entrar en el producto al mismo tiempo que parte del soluto sale de éste, presentándose un comportamiento atípico en este tipo de procesos.

AGRADECIMIENTOS

JAIRO QUIJANO, Ingeniero Químico, PhD, director del grupo de Fisicoquímica Orgánica del Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín. HUGO NELSON RIOS, Tecnólogo de Alimentos, Especialista, adscrito al laboratorio de Análisis de alimentos de la Universidad de Antioquia. DORIS GUERRA, Estudiante de Química de la Universidad de Antioquia.

REFERENCIAS

1. CAMACHO, G. Deshidratación Osmótica de Frutas. Santafé de Bogotá, ICTA, Universidad Nacional de Colombia, 1994.
2. PIEDRAHITA, E. Imprimación Osmótica de Semillas de Pinus Patula. Medellín, 1997. Tesis (Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
3. PALOU, E. LOPEZ, A. ARGÁIZ, A. y WELTI, J. Deshidratación Osmótica de Papaya: Efectos de la Concentración del Jarabe. En: Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 33, No. 6 (1993); pp 621 –629.
4. LERICI', C., MASTROCOLA, D., SENSIDONI, A. y DALLA, R. Preconcentration and Drying of Food Materials. Amsterdam: Bruin Elsevier Science Publishers B.V., 1988. pp 123 – 133.
5. PANADÉS, G., TRETO, O., FERNÁNDEZ, C., CASTRO, D. y NUÑEZ, M. Pulse Vacuum Osmotic Dehydration of Guava. En: Food Science And Technology International. Vol. 2 (1996); pp 301 – 306.
6. MOLANO, L., SERNA, C. y CASTAÑO, C. Deshidratación de Piña Variedad Cayena Lisa por Métodos Combinados. En: Cenicafé. Vol. 47, No. 3 (1996); pp 140 – 158.
7. CASTRO, D., TRETO, O., FITO, P., PANADES, G., NUÑEZ, M., FERNÁNDEZ, C. y BARAT, M. Deshidratación Osmótica a Vacío Pulsante: Estudio de las Variables del Proceso. En: Alimentaria. Mayo (1997).
8. YANG, A., WILLS, C. y YANG, T. Use of a Combination Process of Osmotic Dehydration and Freeze Drying to Produce a Raisin – Type Lowbush Blueberry Product. En: Journal of Food Technology. Vol. 52 (1987). pp 1651 – 1664.

9. LEVI, A., GAGEL, S. y JUVEN, B. Intermediate Moisture Tropical Fruit Products for Developing Countries: I. Technological Data on Papaya. En: Journal of Food Technology. Vol. 18 (1983). pp 667 – 685.
10. LENARD, A. y FLINK, J. Osmotic Concentration of Potato: I. Criteria for the End – Point of the Osmosis Process. En: Journal of Food Technology. Vol 19 (1984). pp 45 – 63.
11. LENARD, A. y FLINK, J. Osmotic Concentration of Potato: II. Spatial Distribution of Osmotic Effect. En: Journal of Food Technology. Vol 19 (1984). pp 65 – 89.
12. MAESTRELLI, A. Fundamentos de la Técnica de Deshidratación Osmótica de Frutas. En: Curso Taller: Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. (1997, Santa Fe de Bogotá). Memorias del Curso Taller Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santa Fe de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia ICTA – IILA, 1997.
13. RONCEROS, B., MOYANO, P. y KASAHARA, I. Cinética de Pérdida de Agua Durante la Deshidratación Osmótica de Manzana. En: Contribuciones Científicas y Tecnológicas Areas Ingeniería y Tecnología. No. 108, junio (1995). pp 43 - 47.
14. PALACIO, H. Fabricación de Alcohol. Barcelona: Salvat Editores S.A., 1956.
15. CARDENAS, O. Aprovechamiento de Productos de la Osmodeshidratación en el Mejoramiento de las Características Sensoriales de Conservas de Piña en Almíbar. En: Curso Taller: Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. (1997, Santa Fe de Bogotá). Memorias del Curso Taller Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santa Fe de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia ICTA – IILA, 1997.
16. PANTÁSTICO, E. Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales. Mexico: Compañía Editorial Continental S.A., 1975.