

# DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FRUTAS Y VEGETALES

José Edgar Zapata Montoya<sup>1</sup> y Gilberto Castro Quintero<sup>2</sup>

## RESUMEN

La Deshidratación Osmótica (DO) consiste en sumergir un producto alimenticio en una solución con una alta presión osmótica, lo cual crea un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, originando el flujo de agua desde el interior del producto, para igualar los potenciales químicos del agua en ambos lados de las membranas de las células del vegetal. Estas son semipermeables y permiten el paso del agua y muy poco el de soluto, produciéndose como efecto neto, la pérdida de agua por parte del producto (Lenart y Flink, 1984; Molano, Serna y Castaño, 1996).

Este método permite obtener productos de humedad intermedia, los cuales pueden ser tratados posteriormente por otros métodos. Esta combinación permite, aumentar la vida útil y mejorar las características sensoriales de los productos tratados (Levi *et al.*, 1983; Molano *et al.*, 1996). Requiere equipos de bajo costo y las sustancias utilizadas como solutos, son de origen natural y de fácil adquisición en el mercado (sacarosa, glucosa, fructosa, entre otras) permitiendo que pequeños procesadores puedan acceder a ella por los bajos costos de inversión. En algunos casos es posible el consumo inmediato del producto, según el tipo de soluto utilizado como agente osmodeshidratante (Yang, Wills y Yang, 1987; Maestrelli, 1997).

**Palabras clave:** Deshidratación Osmótica, Presión Osmótica, Potencial Hídrico.

## ABSTRACT

### OSMOTIC DEHYDRATION OF FRUITS AND VEGETABLES

---

<sup>1</sup> Profesor Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779 Medellín.

The Osmotic Dehydration (OD) is a technique of conservation of foods that consists on submerging the food product in a solution with a high osmotic pressure, that creates a gradient of chemical potential between the water contained in the food and the water in the solution. This difference of potentials promotes the flow of water from the interior of the product, to try to equal the chemical potentials of the water in both sides of the cellular membranes of the vegetable. They are semipermeable and allow mainly the passage of the water, and to a lower extent the passage of the solute producing as a net effect the loss of water on the part of the product.

This method allows to obtain products of intermediate moisture which can be treated later on by means of other methods. This combination allows to reduce costs and to improve the sensorial characteristics of the treated products. It requires low cost equipment, presents relatively little difficulty in the scale up and the substances used as solutes, have natural origin and are easily obtained in the market (sucrose, glucose, fructose, among others), allowing small processors to access it.

**Key words:** Osmotic Dehydration, Osmotic Pressure, Water Potencial.

## **FUNDAMENTOS DE DESHIDRACION OSMOTICA**

La deshidratación osmótica (DO) es una operación que permite eliminar el agua de un alimento al ponerlo en contacto directo con una disolución altamente concentrada (Molano, Serna y Castaño, 1996; Panadés *et al.*, 1996). El proceso tiene lugar debido a que el agua del producto (disolución más diluida) se difunde a través de las membranas celulares que son semipermeables, hacia el medio que le rodea (disolución más concentrada) con el fin de establecer el equilibrio. Como la membrana es solo parcialmente selectiva, también se produce, aunque en menor medida, cierta difusión del soluto de la disolución hacia el alimento (Ponting *et al.*, 1973; Lericci *et al.*, 1985, citados por Panadés *et al.*, 1996).

La cinética de los procesos osmóticos normalmente se expresa en términos de la pérdida de agua (WL), pérdida de peso (PL) y la ganancia de sólidos (SG) (Lericci, Mastrocola, Sensidoni y Dalla, 1988; Lenart y Flink, 1984; Levi, Gagel y Juven, 1983). La velocidad de deshidratación o de transferencia de agua de la fruta a la disolución osmótica depende de las características de la materia prima (Palou, López, Argaíz y Welti, 1993), la composición y concentración del agente osmótico (Molano, Serna y Castaño, 1996; Palou, López, Argaíz y Welti, 1993), de la temperatura (Ponting *et al.* 1966; Farkas y Lazar, 1969; Dalla rosa *et al.*, 1982; Fito *et al.*, 1992 Citados por Panadés, 1996), la agitación (Palou, López, Argaíz y Welti, 1993), los tiempos de tratamiento (Ronceros, Moyano y Kasahara, 1994) y la presión (Panadés *et al.*, 1996).

## **EL FENOMENO DE LA OSMOSIS**

**Potencial químico del agua.** Es una expresión del nivel de energía química del agua, tal que la difusión neta del agua ocurre, desde un lugar de energía alta hacia uno de bajo potencial, cediendo de esta manera, energía a medida que fluye (Bidwille y Black, 1979, citado por Piedrahíta, 1997).

En 1960, Ralph O. Slatyer en Camberra, Australia, y Sterling A. Taylor, en la Utah State university, citados por Piedrahíta (1997), propusieron que el potencial químico del agua se usara

Deshidratación osmótica de....

como referencia para una propiedad muy importante en los sistemas en que se tengan células vegetales en contacto con medios acuosos. Definieron el Potencial hídrico ( $\psi$ ), como el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema expresado en unidades de presión, comparado con el potencial químico (también en unidades de presión) del agua pura a la presión atmosférica y a las mismas condiciones de temperatura y altura, y con el potencial químico del agua de referencia fijado en cero. Esta definición puede expresarse mediante la relación

$$(1) \quad \psi = \left\{ \frac{\mu_w - \mu_w^*}{V_w} \right\} \quad (1).$$

Donde:

$\psi$  = Potencial hídrico

$\mu_w$  = Potencial químico del agua en el sistema considerado

$\mu_w^*$  = Potencial químico del agua para la presión atmosférica y a la misma temperatura que el sistema considerado

$V_w$  = Volumen molar parcial del agua ( $18 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ )

Con base en esta ecuación es evidente que si se calcula el potencial hídrico del agua pura el resultado es cero, dado que el potencial químico del agua pura se compara consigo mismo. “Si el potencial químico del agua en consideración es menor que el del agua pura (a igual temperatura y presión atmosférica), su potencial hídrico tendrá valor negativo“ (Salisbury y Ross, 1994, citado por Piedrahíta, 1997).

Los gradientes del potencial químico en un sistema conformado por una solución acuosa y la célula se deben frecuentemente a cinco factores que producen la fuerza impulsora de la difusión en el sistema (Salisbury y Ross, 1994; citados por Piedrahíta 1997). Según estos autores los cinco factores son: La concentración o actividad de las partículas de soluto en la célula; la temperatura del sistema y sus alrededores; la presión en el sistema; el efecto de los solutos sobre el potencial químico del solvente y la matriz. Esta última es la capacidad que tienen muchas superficies, como la pared celular, de absorber agua debido a la atracción eléctrica que sobre las moléculas de agua ejercen las proteínas y los polisacáridos.

En una solución acuosa los componentes del potencial hídrico son: El llamado potencial de presión, causado por el incremento en la presión, y que es igual a la presión real en la parte del sistema que se considera, y el potencial osmótico (también llamado potencial de soluto), causado por la presencia de partículas de soluto. Debido a que el potencial de presión es una presión real, se llamará simplemente presión. El símbolo más apropiado para el potencial de presión es  $\psi_p$ , pero también puede usarse simplemente P. El símbolo para el potencial osmótico o de soluto es  $\psi_s$ , ó S. En sistemas simples a temperaturas constantes, el potencial hídrico resulta de las acciones combinadas pero opuestas de los potenciales de presión y osmóticos y se expresa así (Salisbury y Ross, 1994; citados por Piedrahita, 1997):

$$(2) \quad \psi = \psi_p + \psi_s$$

El potencial de presión es el que ejercen las moléculas de agua contra las paredes celulares para mantener el agua en un sistema cerrado, termo-dinámicamente expresado es la cantidad en que la

Deshidratación osmótica de....

presión interior de la célula excede la presión atmosférica exterior. Dainty citado por Piedrahíta (1997), afirma que el efecto de esta presión sobre el potencial químico es positivo porque aumenta la cohesión entre las diferentes moléculas de agua.

El Potencial Osmótico o Presión Osmótica, se define como la presión necesaria para impedir el paso de agua pura dentro de una solución acuosa a través de una membrana diferencialmente permeable, de este modo se impide un incremento en el volumen de la solución. El Potencial Osmótico del jugo celular es más bajo que el del agua pura, debido a la presencia de los solutos disueltos, pero es más alto que los jarabes altamente concentrados; por esto la contribución del potencial osmótico al potencial químico del agua es negativa ya que tiende a disminuir las fuerzas de cohesión entre las moléculas del líquido (Córdoba, citado por Piedrahíta, 1997).

El potencial del agua pura es el más alto encontrado y por definición es cero (Salisbury y Ross, 1994; Bidwell, 1979; Bewley y Black, 1983; citados por Piedrahíta). La presencia o adición de cualquier sustancia en el agua disminuye su potencial, de ahí que siempre se presente un decrecimiento del potencial de la célula y que por lo tanto sea inferior a cero. La suma de los términos de la ecuación (2) es un número negativo, excepto en células completamente turgentes donde  $\pi_s = \pi_p$  y así el potencial llega a ser igual a cero. Es decir, la entrada de moléculas de agua en la célula se verá compensada por una salida de la misma cuantía y el estado hídrico del vegetal será termo-dinámicamente estacionario. El incremento de los efectos osmóticos dentro de una célula ( $\pi_s > \pi_p$ ) reduce el potencial del agua en el interior, es decir, lo desplaza hacia valores más negativos tal que el agua fluirá hacia el interior de la célula, por el contrario el aumento en la presión de turgencia y el incremento en los efectos osmóticos del jarabe en el exterior de la célula, incrementarán el potencial hídrico del agua en el interior y reducirán el potencial hídrico del agua en el exterior respectivamente, en cualquiera de los dos casos el agua fluirá espontáneamente hacia el exterior (Córdoba citado por Piedrahíta 1997).

**Medición del potencial osmótico:** El potencial de agua se expresa tradicionalmente en atmósferas (atm), bares o dinas por centímetro cuadrado, también suele utilizarse la unidad de megapascales (Mpa) (Piedrahita, 1997).

Para Van't Hoff la presión osmótica de una solución diluida es aproximadamente igual a la presión que ejercería el soluto si pudiese obtenerse como gas a la misma temperatura y ocupase el mismo volumen de la solución (Ray, 1960, citado por Piedrahita). Es decir, en soluciones diluidas (comportamiento ideal de los solutos disueltos) las leyes que rigen los gases (Boyle, Charles – Gay – Lussac y Avogadro) se pueden aplicar para cuantificar el potencial osmótico y la expresión matemática es idéntica a la correspondiente a la presión de un gas (Curtis y Clark, 1950; Bidwell, 1979; citados por Piedrahita, 1997). La ecuación de los gases ideales, en su forma equivalente para los solutos disueltos puede escribirse como:

$$(3) \quad \pi_s V = nRt$$

Donde:

$\pi_s$  = Potencial osmótico  
R = Constante de los gases  
V = Volumen de solución  
T = Temperatura

Deshidratación osmótica de....

$n =$  Número de moles de soluto

Esta relación describe el potencial osmótico ( $\pi_s$ ) de una solución como si las moléculas de soluto fuesen gases. Un mol de gas ocupa 22.4 litros en condiciones estándar de temperatura y presión (STP = 1 atm, 0°C). Pero en una solución 1 M, un mol de soluto ocupa un litro, tal que si fuese un gas, la presión del soluto sería 22,4 atm. Esta relación sólo es válida en soluciones diluidas porque otros factores complejos afectan el potencial osmótico de soluciones concentradas.

Como el potencial osmótico no es directamente proporcional a la molaridad, (porque a medida que se incrementa la concentración del soluto, la concentración del solvente disminuye), a menudo se emplea la modalidad de la solución (m), cuando de describir soluciones osmóticas se trata (Bidwell, 1979, citado por Piedrahíta, 1997). Por lo anterior, en la ecuación (3) se puede reemplazar  $n/V$  por  $m$  (moles en la unidad de volumen) y queda:

(4)  $\pi_{sub s} = mRT$  Por último, se ha supuesto que el soluto no está ionizado, es decir, que hay solamente una partícula por molécula; pero si una sustancia se ioniza, modifica el potencial osmótico dado que la relación (4) se refiere al número de partículas en solución. Por tal razón a la expresión (4) es necesario aplicarle un factor  $i$ , que se define como una constante en disociación de los solutos y otras desviaciones de las soluciones perfectas (Salisbury y Ross, 1994; citados por Piedrahíta, 1997). De esta manera la ecuación (4) queda finalmente como:  
(5)  $\pi_{SUB S} = - i mRT$  (Por definición negativo puesto que el potencial del agua pura es cero y cualquier soluto disminuye dicho valor).

Otras formas de medir el potencial osmótico real de una solución, es mediante un osmómetro, o por métodos apoyados en las propiedades coligativas de las soluciones. También se reportan como métodos para determinar el potencial osmótico de tejidos el de plasmólisis y el de peso constante (Bidwell, Salisbury y Ross, 1994; Spomer, 1985, Salisbury y Ross citados Piedrahita, 1997).

### CINETICA DE PERDIDA DE AGUA DURANTE LA DESHIDRATAACION OSMOTICA

**Modelación.** Considerando la difusión del agua unidireccionalmente en formas con geometría plana, es aplicable la ley de Fick:

(6)  $\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$  Donde  $D$  es la difusividad efectiva del agua en la fruta.  
La resolución analítica a un tiempo  $t$  de difusión y para condiciones de volumen limitado está dada por Crank 1975, citado por Ronceros, Moyano y Kasahara (1995).

(7)  $\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2 q_n^2} \exp\left\{-Dq_n^2 t\right\}$   
 $q_n =$  Raíces positivas diferentes de cero  $\tan q_n l = -q_n$   
 $D =$  Difusividad efectiva del agua.  
 $M_t =$  Fracción de agua perdida por el alimento a tiempo  $t$ .  
 $M_\infty =$  Fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio.  
 $t =$  Tiempo.  
 $l =$  Espesor de la rodaja de producto.

Para el cálculo de pérdida de agua a tiempo t, se puede seguir la metodología propuesta por Beristain *et al.*, 1990, citado por Ronceros, Moyano y Kasahara, 1995.

(8) Donde:

$$M_t = \frac{(X_o - X_t) - (W_t - W_o)}{W_o}$$

X<sub>t</sub>: Fracción de agua a un tiempo t.  
 W<sub>o</sub>: Peso inicial de la fruta.  
 W<sub>t</sub>: Peso de la fruta a un tiempo t.

Para el cálculo de pérdida de agua en el equilibrio se puede utilizar la metodología propuesta por Azuara 1992, citado por Ronceros, 1995; que permite calcular las condiciones de equilibrio a partir de mediciones a tiempos cortos. La ecuación no lineal (9) que relaciona la pérdida de agua en el equilibrio (M<sub>∞</sub>) en función de la pérdida de agua a tiempos cortos de proceso (M<sub>t</sub>), puede ser linealizada como se indica en la ecuación (10) (Ronceros, Moyano y Kasahara, 1995).

(9) Donde S<sub>1</sub> es un parámetro propio de la fruta y de las condiciones de proceso y que se determina experimentalmente.

$$M_t = \frac{S_1 t (M_\infty)}{1 + S_1 t}$$

### APLICACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN FRUTAS Y VEGETALES

(10) 
$$T \text{ OVER } M_t = 1 \text{ over } \{ S_1 t (M_\infty) \} + t \text{ over } \{ M_\infty \}$$

Por las características de muchas frutas, que contienen una membrana celular semipermeable y en el interior de la célula del 5% a 18% de sólidos disueltos, entre ácidos, pigmentos, azúcares, minerales, vitaminas, etc., si estas se colocaran en un jarabe de alta concentración en un soluto conveniente, se puede formar un sistema donde se desarrolle el fenómeno de la ósmosis, por esta razón se han logrado múltiples aplicación en la deshidratación osmótica de vegetales (Camacho, 1994).

En 1996 en el Laboratorio de Investigaciones sobre la Química del Café y los Productos Naturales, LIQC en Santafé de Bogotá, se realizó un estudio con el objeto de desarrollar y estandarizar en el laboratorio una metodología para obtener trozos de piña deshidratada con la calidad organoléptica que ofrece la fruta fresca. Se trabajo con piña variedad Cayena lisa buscando obtener trozos con humedad menor del 5%. Se empleó el método de osmosis directa y las mejores condiciones de proceso se obtuvieron con jarabes de sacarosa a 50°C y 50°Brix. Posteriormente y mediante liofilización durante tres horas a, 80°C, presión de 0,5 torr y secado por convección a 75°C y por tres horas se obtuvieron productos finales, principalmente por liofilización, con buenas característica organolépticas (Molano, Serna y Castaño, 1996).

En el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia (ICTA) Arango y Camacho (1986), realizaron ensayos de osmodeshidratación banano, mandarina, mora, curuba, breva, guayaba, tomate, pimentón y cebolla. Los tratamientos se efectuaron por inmersión en jarabe de sacarosa de 70° Brix durante 96 horas a temperatura ambiente. Fueron realizados ensayos con piña en trozos, empleando jarabe invertido de 70°Brix y melaza de 70°Brix, como medios osmodeshidrantes a temperatura ambiente y a 37°C con y sin agitación para observar las curvas de deshidratación y las características del producto final. La evaluación sensorial

Deshidratación osmótica de....

demonstró que la piña osmodeshidratada tiene una buena calidad frente a los trozos de piña frescos. Se observó que la mayor pérdida de peso ocurre durante las doce primeras horas, no hay diferencias significativas entre la piña madura y la piña pintona osmodeshidratada en jarabe invertido de 70°Brix; la pérdida de peso en la deshidratación con agitación a 37°C, es mayor en la melaza que en el jarabe invertido. En el proceso con jarabe invertido se presenta una mayor ganancia de sólidos que en el tratamiento con melaza en las mismas condiciones.

En el ICTA Holguín y Camacho (1992), investigaron el efecto de la reutilización de jarabes en el proceso de deshidratación osmótica directa de mango *Tommy atkins*, para la producción de trozos de fruta estabilizados con características aceptables de calidad y costos, siendo este el objetivo primordial en este estudio. Se propuso la reutilización del jarabe obtenido de la ósmosis directa entre la fruta y sacarosa cristalina, el cual fue llevado de 60 a 70° Brix, para la ósmosis directa entre trozos de mango y jarabe. Se encontró que la reutilización del jarabe tiende a modificar su composición acercándola a la de la fruta, lo que hace una base óptima para la preparación de otros productos de frutas, además de reducir costos de producción.

Palacio y Camacho (1996), en el ICTA, identificaron las operaciones y condiciones de proceso necesarias para preparar productos a partir de uchuva; nectar, mermelada y fruta deshidratada por ósmosis directa. La pulpa obtenida presentó un ligero sabor amargo que se buscó eliminar utilizando la técnica de escaldado, en esta se controlaron parámetros de tiempo y temperatura. El porcentaje de la fruta al convertirla en pulpa es de 70% y se obtuvieron resultados microbiológicos y organolépticos aceptables.

En el ICTA Cárdenas (1996), comparó las características sensoriales de conservas de piña preparadas mediante proceso Aper, a partir de jarabes de sacarosa, trozos de piña frescos y trozos de piña enriquecidos. Se realizaron evaluaciones sensoriales de fruta y jarabe, y se determinaron grados Brix, acidez y pH a las conservas obtenidas. Se encontró que en las conservas con trozos de piña no escaldados el color amarillo brillante característico se mantiene, siendo innecesario el escaldado. Los trozos previamente escaldados con vapor presentaron irregularidad de forma y color oscuro. La conserva que presentó mejores atributos sensoriales fue aquella elaborada con trozos frescos de piña incorporados en jarabe enriquecido por osmodeshidratación de cascara piña.

Themelin, Lebert y Danzart (1994), trabajando con manzana evaluaron la combinación de la técnica de Deshidratación/ Impregnación por Inmersión (DII) con el secado por aire caliente (SAC). Se utilizó el método de optimización por multicriterio, incluyendo alta temperatura de una solución altamente concentrada en la DII para tiempos cortos de inmersión, encontrando que la sacarosa del jarabe, se acumula superficialmente creando una barrera para la salida del agua del producto, pero sirve como capa protectora del tejido durante el SAC permitiendo la utilización de aire a mayor temperatura y preservando el color del producto. La barrera a la salida de agua se puede disminuir por incremento de la temperatura del jarabe, lo cual también disminuye el consumo de energía durante el SAC.

Lenart y Flink (1984) investigaron los criterios para definir el punto final en la concentración osmótica de la papa. Ellos encontraron que el estado de equilibrio se da cuando se iguala la actividad acuosa en la papa y la solución osmótica. Desarrollaron un modelo para calcular la transferencia de masa en la ósmosis y la actividad de agua, hasta el equilibrio, en soluciones de sacarosa en el rango de 10 – 70 % y en la relación

solu

ción/sólidos el rango de 1 – 10. Estos investigadores también estudiaron el factores tales como el tipo de soluto, la concentración de la solución, la temperatura y la agitación, sobre la distribución espacial de los sólidos y la humedad en las papas. Encontrando que cuando se consideran la pérdida de agua, la ganancia de sólidos, el cambio en la actividad acuosa y el aspecto económico, las condiciones óptimas para el equilibrio osmótico si usa una solución de sacarosa del 50 % a una relación solución/sólidos de 4. La mezcla sacarosa – sal presenta un mayor descenso en actividad acuosa, con relación a la solución de sacarosa sola.

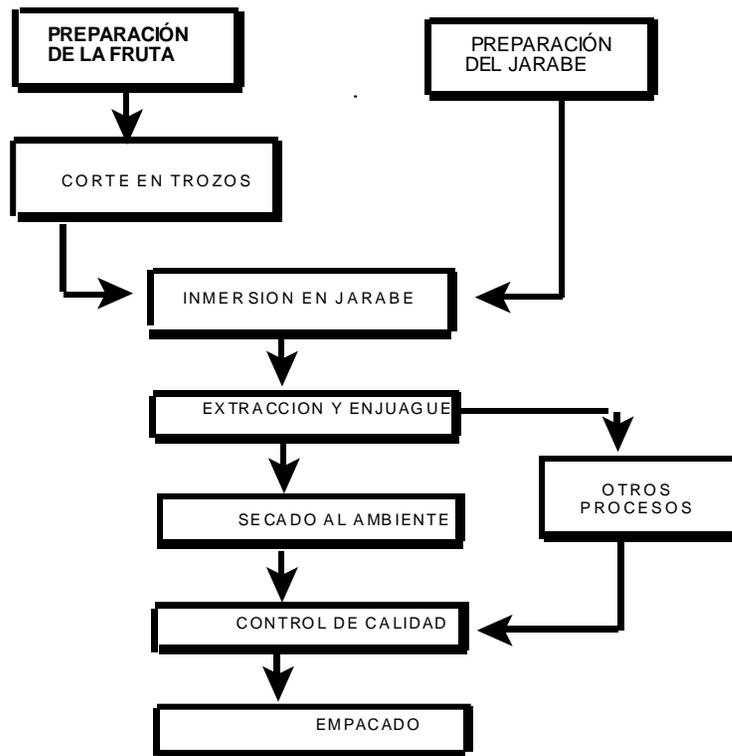
### **PROCEDIMIENTO PARA OBTENCIÓN DE FRUTA DESHIDRATADA**

La osmodeshidratación es una técnica relativamente nueva y por eso su uso no está aún muy generalizado. Tiene ventajas respecto a la deshidratación convencional, tales como: Conserva más el sabor a fruta fresca, tiene mejor presentación, queda endulzada por lo que puede consumirse como golosina. Cualquiera persona puede experimentar con pequeñas cantidades de fruta, de acuerdo con las instrucciones que se presentan a continuación (Figura 1).

**Preparación de la fruta:** La fruta se lava, y puede trabajarse entera o en trozos. Si la piel de la fruta entera es muy gruesa y poco permeable, no permite una deshidratación rápida, en este caso se puede pelar o permeabilizar, disolviendo la cera natural con una sustancia apropiada o por escaldado. El escaldado disminuye la selectividad de las paredes de las células, acelerando la deshidratación (Camacho, 1994).

**Preparación del jarabe:** Se toma por kg de fruta a deshidratar, 400 ml de agua y 600 g de azúcar (solución 60 % p/p). Colocando el recipiente a fuego lento agitando continuamente hasta cuando el azúcar se disuelva completamente, se

Deshidratación osmótica de....



**Figura 1.** Proceso de deshidratación osmótica de frutas.

retira el recipiente del fuego y se deja enfriar el jarabe.

**Deshidratación osmótica:** Se Vierte el jarabe en un recipiente apropiado que puede ser de plástico, acero inoxidable o vidrio. Cualquiera que sea el recipiente debe cerrarse herméticamente, evitando la presencia de aire en su interior. Luego se coloca en un lugar un poco por encima de la temperatura ambiente, agitando el recipiente periódicamente. Después de 6 horas (aproximadamente), vierta el contenido, con un cedazo, recoja el jarabe en otro recipiente y enjuague la fruta durante 4 segundos (máximo), deje escurrir la fruta durante 10 minutos.

**Procesos complementarios:** El proceso de osmodeshidratación se puede aplicar hasta niveles donde la fruta pierde cerca del 70 al 80% de su humedad, si se deja el tiempo suficiente de tratamiento. Los trozos, según el grado de deshidratación alcanzado, se pueden someter a procesos complementarios que le darán mayor estabilidad hasta el punto de poderse someter a condiciones ambientales con un empaque adecuado (Camacho, 1994). Algunos de los procesos complementarios son la refrigeración, congelación, pasteurización, liofilización, secado con aire caliente, o a temperatura ambiente, adición de conservantes o empacado en vacío. La alternativa seleccionada depende de las posibilidades del procesador y de las necesidades de estabilidad en el producto final. Se ha encontrado que la deshidratación osmótica combinada con el secado en lecho fluidizado a alta temperatura genera productos de mejor calidad que los que se obtienen en el secador de lecho fluidizado solamente (Kim y Toledo, 1987).

**Empaque:** el empaque debe ser de una película de baja permeabilidad al vapor de agua, que evite el ingreso de microorganismos, la cual puede ser basada en polipropileno o multicapa con aluminio, también se puede usar envases de vidrio pero siempre el producto debe poseer una carga microbiana muy baja y además complementar su conservación con almacenamiento refrigerado para evitar el desarrollo de hongos y levaduras (Camacho, 1994).

## VARIABLES MÁS IMPORTANTES DEL PROCESO

La DO es un proceso de transferencia de masa, la disminución de la humedad (WL) y el aumento de sólidos (SG) dependen de la fuerza de flujo (Driving Force) y de la resistencia del producto, las cuales son afectadas por las siguientes variables (Maestrelli, 1997).

**Materia Prima:** La fruta debe poseer estructura celular rígida o semi-rígida, que se pueda cortar en trozos como cubos, tiras o rodajas. Se observa gran variabilidad de los intercambios de azúcares/sales y agua, entre frutas y hortalizas. La variabilidad se presenta también entre especies de fruta y entre variedades de una misma especie (Maestrelli, 1997).

**Tipo de solución osmótica:** El agente osmodeshidratante debe ser compatible con los alimentos como el azúcar de mesa (sacarosa), jarabes concentrados, como la miel de abejas o jarabes preparados a partir de azúcares. También se han utilizado jarabes de sacarosa – almidón, jarabes de azúcar invertido con glicerol o cloruro de calcio, jarabe de lactosa, jarabe de glucosa con glicerol o cloruro de calcio, jarabe de panela, entre muchos otros (Molano, Serna y Castaño, 1996). Según Camacho (1994), pueden utilizarse cloruro de sodio, etanol, Cloruro de calcio, etilenglicol, glicerol, fructosa, glucosa, sacarosa, todo dependerá de la disponibilidad y rentabilidad del soluto.

Se pueden lograr numerosas combinaciones para obtener el máximo WL, las mejores propiedades sensoriales, la mayor SG y el menor costo de la solución. Aumentando la masa molar de los solutos se obtiene baja SG y alta WL, disminuyendo la masa molar de los solutos (usando glucosa, fructosa y sorbitol) se obtiene aumento de SG, por mayor penetración de las moléculas (Maestrelli, 1997).

La posibilidad de que el soluto del jarabe entre en la fruta dependerá de la impermeabilidad de las membranas a este soluto. Por lo general los tejidos de las frutas no permiten el ingreso de sacarosa por el tamaño de esta molécula, aunque si pueden dejar salir de la fruta moléculas más sencillas como ciertos ácidos o aromas. En circunstancias como el aumento de temperatura por escaldado previo de las frutas, la baja agitación o calentamiento del sistema, se puede producir ingreso de sólidos hasta un 10% (Camacho, 1994).

La adición de NaCl aumenta la potencia de la deshidratación por el efecto sinérgico entre azúcar y sal. Durante la primera fase de ósmosis prevalece la deshidratación por efectos del azúcar, durante la segunda fase el azúcar es retirado, sustituyéndose por la sal, la cual permite un bajo intercambio de agua. El efecto del azúcar es el de retirar agua e intervenir en el control del contenido salino del producto final (mucha deshidratación/reducido ingreso) (Maestrelli, 1997).

**Concentración de la Solución Osmótica:** Palou, Argaíz y Welti (1993) evaluaron el efecto de la concentración de sacarosa en el jarabe (50, 60 y 70 % p/p) en un sistema estático con una relación fruta jarabe de 1:2, y de la circulación de un jarabe 60 % (p/p) con una relación de 1:20 para mantener constante la concentración, sobre los coeficientes difusionales (D) involucrados en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de placas infinitas de papaya. Los D se calcularon utilizando la segunda ley de Fick. La salida de agua (WL) en todos los casos presentó dos periodos de velocidad, mientras que la entrada de sólidos (SG), en términos de grados Brix presentó sólo uno. En general, los valores de D fueron mayores para WL que para SG, y se incrementaron conforme lo hizo la concentración del jarabe.

Recientemente ha sido demostrado que a bajas concentraciones en modelos de agar, la SG es mayor que la WL y la situación se llama de “impregnación”. A medida que aumenta la concentración de la solución osmótica, la SG alcanza su máximo valor antes de disminuir y volverse inferior al WL y la situación se llama de “deshidratación”. Niveles elevados de SG no permiten una elevada WL, a causa de la formación de una capa superficial de azúcar, inmediatamente comienza el proceso (Maestrelli, 1997).

**Temperatura:** Los intercambios de masa aumentan al aumentar la temperatura, pero sobre los 45°C se puede observar oscurecimiento enzimático y alteraciones del aroma. Altas temperaturas por ejemplo, sobre los 60°C, modifican las características del tejido, favorecen la impregnación y por lo tanto la SG (Maestrelli, 1997).

Panadés *et al.* (1996) estudiaron a escala de laboratorio un modelo empírico para predecir la influencia de la temperatura (30 – 70°C), el tiempo de exposición a presión atmosférica (5 – 105 min) y el número de ciclos (1 – 5) durante la deshidratación osmótica a vacío pulsante de guayaba, sobre la pérdida de peso (PL), la pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG) solubles de la fruta. Se comprobó que los tres parámetros evaluados influyen significativamente en las PL y WL pero no en la SG de la fruta.

Ronceros, Moyano y Kasahara (1995) realizaron un estudio sobre el efecto de la temperatura (25°C, 35°C y 45°C) en la cinética de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de manzana en jarabe de sacarosa a 70°Brix. Utilizaron rodajas con geometría plana y en condiciones de mínima resistencia difuncional externa. Se aplicó el modelo de Fick para el ajuste de los resultados experimentales, completándose con la metodología de Azuara (1992), para el cálculo de las condiciones de equilibrio. Encontraron que los coeficientes de difusión del agua en manzanas, variaron según la temperatura entre  $3,07 \cdot 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $5,41 \cdot 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$  y fueron relacionados con la temperatura mediante una ecuación del tipo Arrhenius, graficando  $\ln D$  vs  $1/T$ , encontrando que la

energía de activación aparente resultó ser de 5,38 Kcal/mol (22,53 Kj/mol), valor similar a los reportados en la literatura para otras frutas.

El proceso a alta temperatura corto tiempo, HTST (High Temperatura Short Time), por ejemplo 80-85 °C por 1-3 minutos, combina el efecto osmótico con la inactivación enzimática. Pero en algunos productos pigmentados las elevadas temperaturas pueden ser problemáticas. Se ha observado que elevadas temperaturas permiten elevada WL sin modificar las SG, este fenómeno puede ser explicado por el efecto antagónico entre “transfer” WL/SG (Maestrelli, 1997).

**La velocidad del jarabe con respecto al producto:** Los coeficientes de difusión D tanto para la WL como para la SG dependen del movimiento relativo que exista entre el jarabe y el producto a deshidratar, se ha encontrado que por medio de la circulación del jarabe, de concentración constante, el valor D para WL es aproximadamente 25 % mayor y 16 % menor para SG, en comparación con el proceso en el cual el jarabe es estático ( Palou, López, Argaíz y Welti, 1993).

**La Presión de trabajo:** Según la ecuación 2, a medida que aumenta la diferencia en presiones entre el interior y el exterior de la célula, también aumenta el potencial osmótico, y por ende la fuerza de flujo de salida de agua del producto. Por esta razón en frutas, la cinética del proceso de deshidratación ocurre más rápidamente en condiciones de vacío que a presión atmosférica, lo que hace el proceso más eficiente y práctico, permitiendo el empleo de temperaturas de operación más bajas y la obtención de productos de mejor calidad. La Deshidratación Osmótica a presiones inferiores a la atmosférica, denominada Deshidratación Osmótica a Vacío Pulsante (DOV – P), consiste en sumergir la fruta en la disolución osmótica durante un período muy corto de tiempo, normalmente de 5 min (tiempo de pulso), hacer el vacío y luego restablecer la presión atmosférica a la que permanece el sistema durante un tiempo determinado (tiempo de exposición). El principal efecto del vacío es el incremento en la pérdida de peso principalmente en las primeras etapas del proceso de deshidratación osmótica, y a medida que transcurre el tiempo la ganancia de sólidos se empieza a hacer también significativa (Castro *et al.*, 1997; Panadés *et al.*, 1996).

**Otros factores:** La utilización de soluciones muy concentradas favorece la WL, reduce la pérdida de componentes solubles (Ejemplo: ácido ascórbico), probablemente por efecto barrera del azúcar. Otra forma de evitar esta pérdida de componentes es la utilización una solución con sal y acidificación. Ha sido propuesta la combinación de dos fases: La primera que favorezca la WL con una solución concentrada con un soluto de alto peso molecular y la segunda fase con una solución que contenga solutos de interés para conservar las características del producto (Maestrelli, 1997).

La sobremaduración, el dióxido de azufre, el escaldado, la congelación, son fenómenos que favorecen la SG debido a que modifican la permeabilidad de los tejidos por desnaturalización de las membranas pectocelulósicas, incrementando la impregnación. Por ejemplo la papaya escaldada, presenta un aumento de SG, y permite obtener una reducción del 35-50% del tiempo para llegar a una cantidad de WL determinada (Maestrelli, 1997).

Un factor adicional que puede modificar el intercambio agua/sólidos es el pH del jarabe; La transferencia de masa aumenta con la disminución del pH a causa de la acidificación. Camacho y Díaz, 1997, citados por Maestrelli, 1997, han demostrado un aumento en la WL en la piña deshidratada en jarabe de sacarosa acidificado. El pH óptimo del agente osmótico depende también del tipo de fruta o vegetal, por ejemplo en la manzana la acidificación del jarabe produce un ablandamiento del tejido que es negativo.

La WL y la SG dependen en general, del tamaño y la geometría de los trozos de fruta y también de la relación fruta/jarabe. Entre más grande sean los trozos y menos área se exponga, menor será

la WL y la SG. La baja relación fruta/jarabe, por ejemplo 1/5, permite mantener alta la concentración de la solución deshidratante durante la inmersión de la fruta y por lo tanto favorece mayores valores de WL y SG (Maestrelli, 1997).

## BIBLIOGRAFIA

ARANGO, R. y CAMACHO, G. Estudio Preliminar para la Osmodeshidratación Directa de: Curuba, Piña, Guayaba y Brea. *En: CURSO TALLER "DESHIDRACION OSMOTICA DIRECTA DE VEGETALES ( Santafé de Bogotá. 1986). Memorias del Curso Taller "Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1986. 12p.*

CAMACHO, Guillermo. Evaluación de calidad a productos deshidratados por osmosis directa. *En: CURSO TALLER "DESHIDRACION OSMOTICA DIRECTA DE VEGETALES ( Santafé de Bogotá. 1997). Memorias del Curso Taller "Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1997. 16p.*

CARDENAS, O. Aprovechamiento de Productos de la Osmodeshidratación en el Mejoramiento de las Características Sensoriales de Conservas de Piña en Almibar. *En: CURSO TALLER DESHIDRACION OSMOTICA DIRECTA DE VEGETALES (Santafé de Bogotá. 1996). Memorias del Curso Taller "Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1996. 6p.*

CASTRO, D. *et al.* Deshidratación Osmótica a Vacío Pulsante. Estudio de las Variables del Proceso. *En: Alimentaria. Mayo, 1997.*

HOLGUIN, M. y CAMACHO, G. Efecto de la Reutilización del Agente Osmodeshidratante de la Conservación de Mango (Tommy atkins). (Santafé de Bogotá, 1992). *En: CURSO TALLER DESHIDRACION OSMOTICA DIRECTA DE VEGETALES . Memorias del Curso Taller "Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1992. 5p.*

KIM, M. and TOLEDO, R. Effect of Osmotic Dehydration and High Temperature Fluidized Bed Drying on Properties of Dehydrated Rabbiteye Blueberries. *En: Journal of Food Science. Vol 52, No 4 (1987); p. 980– 989.*

LENARD, A. and FLINK, J. Osmotic Concentration of Potato. I. Criteria for the End – point of the Osmosis Process. *En: Journal of Food Tecnology. Vol 19 (1984); p.45 – 63.*

LENARD, A. and FLINK, J. Osmotic Concentration of Potato.. Spatial Distribution of Osmotic Effect. *En: Journal of Food Tecnology. Vol 19 (1984); p. 65 – 89.*

LERICI', C., MASTROCOLA, D., SENSIDONI, A. and DALLA, R. Preconcentration and Drying of Food Materials. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1988. p.123 – 133.

LEVI, A., GAGEL, S. and JUVEN, B. Intermediate Moisture Tropical Fruit Products For Developing Countries. I. Technological Data on Papaya. *En: Journal of Food Tecnology. Vol. 18, (1983); p.667 – 685.*

MAESTELLI, Andrea. Fundamentos de la deshidratación osmótica de frutas. *En: CURSO TALLER DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DIRECTA DE VEGETALES.* (Santafé de Bogotá: 1997). Memorias del Curso Taller “Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1997. 37p.

MOLANO, L., SERNA, C. y CASTAÑO, C. Deshidratación de Piña Variedad Cayena Lisa por Métodos Combinados. *En: Revista Cenicafé.* Vol. 47, No. 3 (1996); p.140-158.

PALACIO, J. y CAMACHO, G. Procesamiento de Uchuva (*Phisalys Peruviana*) para Obtener Néctar Mermelada y Fruta Osmodeshidratada. *En: CURSO TALLER DESHIDRATACION OSMOTICA DIRECTA DE VEGETALES.* Memorias del Curso Taller “Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1996. 3p.

PALOU, E. LOPEZ, A. ARGAIZ, 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); p. 621 –629.

PANADÉS, G. *et al.* Pulse Vacuum Osmotic Dehydration of Guava. *En: Food Science And Technology International.* Vol 2 (1996); p. 301 – 306.

PIEDRAHITA, E. Imprimación Osmótica de Semillas de Pinus Pátula. Medellín. 1997. 214p. Tesis de Grado (Maestría en Silvicultura y Manejo de Bosques). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

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 (jun., 1995); p.43- 47.

THEMELIN, A., LEBERT, A., DANZART, M. Optimización del Proceso Combinado de Deshidratación / Impregnación por Inmersión (DII) o “Deshidratación Osmótica” con Secado por aire Caliente (SAC). Traducción, Camacho, 1997. *En: Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference Bangkok, Thailand, 6 – 9, diciembre, 1994.*

YANG, A., WILLS, C. and 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); p.1651 – 1664.

Recibido: Febrero 1 de 1999

Aceptado: Mayo 11 de 1999