



■ **DR. MARCO SCHWARTZ**
 FACULTAD DE Cs. AGRARIAS Y FORESTALES
 UNIVERSIDAD DE CHILE

OSMOSHIDRATACION Y OSMOCONGELACION DE FRUTAS¹



La tecnología para conservar frutas que está emergiendo con fuerza hoy en día, está basada en diferentes operaciones físicas aplicadas secuencialmente y que tienen un efecto aditivo e incluso sinérgico. El objetivo terminal es elaborar frutas con un proceso mínimo, tratando de mantener las características nutritivas y organolépticas otorgándoles además estabilidad durante el almacenamiento.

En los últimos años se ha logrado demostrar que la estabilización de una fruta se puede lograr disminuyendo su agua disponible o actividad acuosa (a_w) junto con la aplicación ligera de una o más técnicas de conservación clásicas, sin necesidad de recurrir a métodos drásticos que alteren totalmente su naturaleza. Estos métodos u obstáculos que se oponen al deterioro, se basan en el manejo de la temperatura (t), a_w , pH, potencial redox (Eh), preservantes y flora competitiva. En algunos casos, estos métodos de conservación tienen mayor importancia, en otros, sólo constituyen obstáculos secundarios.

Para ilustrar la teoría de las vallas u obstáculos y comprender mejor el fundamento de la conservación de alimentos - entre ellos las frutas - se expone la situación que presenta la figura 1.

En el ejemplo se expone un caso teórico (Nº1), las seis vallas u obstáculos son de la misma intensidad. Los microorganismos presentes no pueden sobrepasar el último de los obstáculos, lo que hace que el alimento sea microbiológicamente estable y seguro. En el Nº 2, la estabilidad microbiana se consigue con vallas de diferente altura. Las principales son la a_w y los preservantes, mientras que tienen menos importancia la temperatura de almacenamiento (t), el pH y el potencial

redox. Lo que interesa es que los cinco obstáculos sean suficientes para inhibir a los microorganismos que están descritos a través de las flechas circulares.

En el Nº 3, se asume que el número de microorganismos presentes en el producto sin tratamiento es pequeño, luego, se necesitarán pocas o bajas vallas para estabilizar el alimento. Precisamente el envasado aséptico de alimentos perecibles está basado en estos conceptos. El caso Nº 4 representa un producto con una alta carga microbiana, el que es sometido a los mismos tratamientos que el producto Nº 3. Obsérvese que no son suficientes para impedir el deterioro.

El Nº 5 refleja un alimento rico en nutrientes y vitaminas, los que potenciarán el crecimiento microbiano (efecto "trampolín"). A menos que los obstáculos se intensifiquen, los microorganismos

podrán sobrepasarlos.

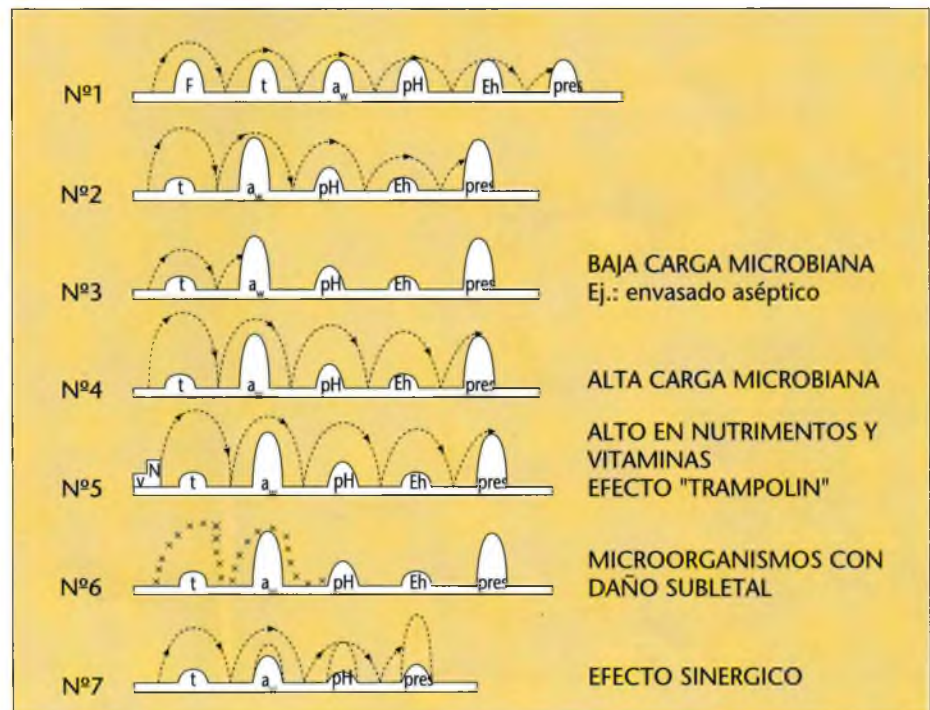
El caso Nº 6 ilustra el comportamiento de organismos que han sido dañados subletalmente y que, en consecuencia, basta una valla pequeña o pocas de ellas, para abatirlos.

Detengámonos en el ejemplo 7; se representa un caso típico de sinergismo entre a_w , pH y la presencia de preservantes. Finalmente los microorganismos no logran sobrepasar la valla impuesta por los preservantes.

La aplicación de los factores señalados, e forma secuencial o simultánea, constituye lo que se ha denominado conservación por métodos combinados.

Gran parte del deterioro que se observa en las frutas se debe a la acción de los microorganismos o a ciertas reacciones químicas o bioquímicas; en estas últimas las enzimáticas tienen un importante rol.

■ FIG. 1: EFECTO "VALLA" EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.



¹ FORMA PARTE DE PROYECTO PATROCINADO POR EL FIA/MINISTERIO DE AGRICULTURA.

Para que exista acción microbiana y enzimática es fundamental que esté presente cierta cantidad de agua disponible (a_w), que se define como el cociente entre la presión de vapor de la solución (de sustancias disueltas en el agua de las frutas) y la presión de vapor del disolvente (agua). Para el agua pura, la a_w tiene un valor igual a 1,00. La $a_w \times 100$ estaría en equilibrio con la humedad relativa (RH) de la atmósfera que rodea la fruta. De otra manera, $a_w \times 100 = \%$ de humedad relativa de equilibrio (ERH). Es por ello, que una atmósfera de RH correspondiente a una a_w menor a la de una fruta, tendería a deshidratar la superficie de ella. Por el contrario, si la RH fuera mayor que la asociada a la a_w de la fruta, ésta aumentaría en la superficie de ella.

En un artículo anterior (ACONEX N° 44, 1994) se comentó que una forma de disminuir la a_w de una fruta consistía en someterla a la deshidratación osmótica (D.O.). En este proceso se elimina una gran parte del agua, sin cambio de fase, es decir no pasa desde líquido a vapor, como con el proceso de secado convencional. Para ésto, básicamente la fruta se sumerge en una solución de baja a_w y si se controla adecuadamente algunas variables del proceso, es posible llegar a pérdidas de agua del orden de 50% o más y una pequeña ganancia de sólidos solubles, provenientes de la solución hipertónica. El efecto resultante se traduce en disminución del peso de la fruta.

A menos que la fruta deshidratada por osmosis sea almacenada en un medio de baja a_w , la D.O. no conduce a productos autoestables. Por esta razón, se le puede



utilizar como una técnica de pre-concentración y de introducción controlada de solutos previo a otros procesos, tales como la congelación, secado solar, secado tradicional, con aire, al vacío, microondas o por liofilización, apertización (enlatado), etc.

El interés por la introducción de la D.O. en un proceso clásico de conservación, está vinculado a las características nutricionales (minerales y vitaminas; las termolábiles no se destruyen fácilmente) y organolépticas (aroma, color, sabor y textura) evidentemente buenas de los productos obtenidos. Estas propiedades se atribuyen a las temperaturas moderadas de tratamiento, a una menor pérdida de compuestos volátiles responsables del aroma típico de la fruta, a un efecto, a menudo favorable de los solutos introducidos sobre la relación ácido/dulzor, la textura y la estabilidad de los pigmentos al secado y almacenamiento. Con la incorporación de soluto (8-10%), es posible obtener productos con formulaciones específicas, sin modificar su integridad. El "encapsulamiento" de enzimas y pigmentos, así como la disminución de pardeamiento y otras formas de deterioro, hace posible lograr frutas desecadas eliminando o reduciendo drásticamente el uso de anhídrido sulfuroso.

En nuestro grupo de trabajo hemos investigado - o estamos en ello - el efecto de la D.O. y otros tratamientos adicionales (v. gr. congelación, deshidratación), así como la estabilidad frente al almacenamiento de diversas especies frutales, tales como kiwi, manzanas, peras europeas y asiáticas, duraznos, algunos berries, damascos y bananos. En este cometido se ha ensayado el efecto de diferentes agentes osmóticos a distintas concentraciones aplicadas a diversas temperaturas. En este sentido se ha utilizado jarabes de sacarosa (azúcar común), de maíz o glucosa de distintos D.E., jugo de fruta concentrado, miel, fructosa, combinaciones de éstos, etc., dando lugar a resultados muy interesantes que serán publicados posteriormente.

La cinética de la D.O. se puede seguir a través de los sólidos ganados (SG), la pérdida de peso (ΔP), pérdida de agua (PA), disminución de la a_w , estimación de la energía de activación (E_a) y de la difusividad efectiva (De). Algunas de las expresiones utilizadas para ésto - resultado de un simple balance de masa - fueron las siguientes:

$$SG = (M_t \times S_t) - (M \times S) / M$$

$$\Delta P = (M - M_t) / M$$

$$PA = (\%H \times M) - (\%H_t - M_t) / M$$

donde:

M = peso inicial de la fruta

M_t = peso de la fruta luego de la osmosis al tiempo t

S = sólidos solubles iniciales de la fruta

S_t = sólidos solubles de la fruta en el tiempo t

%H = porcentaje de humedad inicial de la fruta

% H_t = porcentaje de humedad en el tiempo t

La utilización de la razón entre la pérdida de agua y la ganancia de soluto como un índice de comportamiento, permite predecir la calidad organoléptica de productos deshidratados osmóticamente; productos con altas relaciones de PA a SG tienden a ser generalmente mejores que productos con más bajas relaciones. Este cociente puede controlarse mediante la selección de la especie y variedad frutal, el tamaño y pretratamiento aplicado a los trozos de fruta, el agente deshidratante (peso molecular promedio de los azúcares) y su concentración en la solución osmótica, la temperatura de trabajo y el tiempo de contacto. Adicionalmente, la aplicación a la fruta de una película semipermeable comestible, antes de la deshidratación osmótica puede permitir la salida de agua e impedir la penetración del agente deshidratante.

Para modelizar los fenómenos de transferencia de materia en régimen transitorio observados en las experiencias de D.O., se recurrió a las clásicas leyes de Fick que pueden representar los mecanismos de difusión del agua y de los solutos, utilizando un coeficiente global. La expresión empleada es:

$$\frac{X_a - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 De t}{4 e^2}\right)$$

en que:

X_a = humedad en el tiempo t

X_e = humedad en el equilibrio para $t = \infty$

X_0 = humedad inicial, para $t = 0$

t = tiempo

e = semiespesor de la porción de fruta

De = difusividad efectiva

$$\text{Si se define } Y = \frac{X_a - X_e}{X_0 - X_e}$$

la ecuación queda

$$\ln Y = \ln \frac{8}{\pi^2} + \left(\frac{-\pi^2 De}{4 e^2}\right) t$$

La linealización de esta expresión permite calcular la difusividad efectiva (D_e) a partir de la pendiente de la recta.

La energía de activación (E_a) se puede estimar utilizando una expresión tipo Arrhenius. Si ésta es linealizada, de su pendiente se desprende E_a .

$$D_e = A \exp(-E_a/RT)$$

en que:

- D_e = difusividad efectiva (m^2/s)
- A = constante, factor de frecuencia (m^2/s)
- E_a = energía de activación (kJ/mol)
- R = $8,31 \times 10^{-3} kJ/mol K$
- T = temperatura absoluta (K)

OSMOCONGELACION DE FRUTA

Todos sabemos que la congelación industrial de frutas y hortalizas requiere de una considerable energía para congelar la gran cantidad de agua que existe en los productos frescos. Sin embargo, si se lograra remover una proporción importante del agua (del orden del 50%), se produciría una reducción del calor latente de congelación, habría una menor demanda energética en el proceso de congelación, mayor velocidad de congelación, aumento del fenómeno de microcristalización debido a la pequeña razón sólidos/cristales, mejor textura y sabor de la fruta descongelada, menores pérdidas por goteo al descongelar y menor colapsamiento de la estructura, reducción del peso y del volumen de la fruta congelada (aproximadamente 50%) para almacenar y transportar.



Con el proceso osmótico se logra otros beneficios adicionales:

- incorporación de sólidos de la solución osmótica
- protección parcial frente a la actividad enzimática
- bajo consumo energético para eliminar agua de la fruta
- mejoramiento de sabor, aroma y color del producto final.

A título orientativo se puede informar que al someter a este proceso a duraznos en mitades se observó los siguientes efectos:

- luego de una D.O. de ocho horas, la fruta perdió el 30% de agua.
- al comparar con duraznos frescos, los

que han sido deshidratados presentan alta velocidad de congelación y disminución del punto de congelación.

- así como la fruta fresca congelada muestra una textura bastante dura, la osmocongelación es menos rígida. Se descongela en menor tiempo, menor pérdida por goteo y tiene mejor textura final.

OSMODESHIDRATAACION

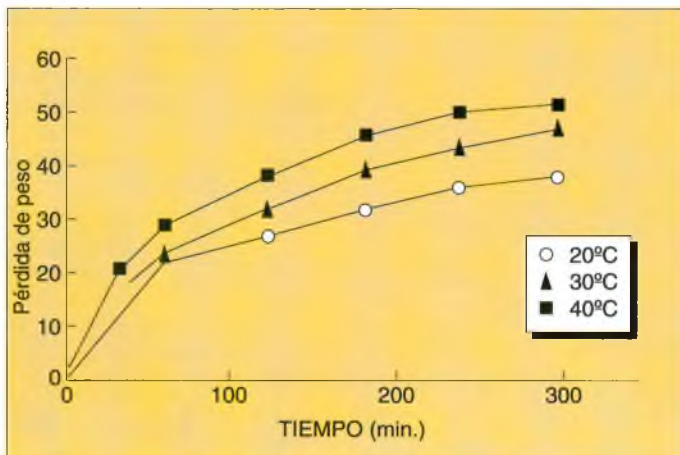
Este proceso consiste en eliminar el agua de un vegetal por osmosis y luego por secado con aire caliente. En forma similar al caso anterior, la disminución de peso y volumen nos permite cargar las bandejas de un secador convencional con 2 a 3 veces más de materia prima. Además, con los sólidos ganados se aumenta el rendimiento.

Hay quienes han propuesto eliminar el resto del agua, luego de la D.O., usando lechos fluidizados, energía solar, secado al vacío, liofilización y túnel de secado. En todos los casos se pudo evitar o reducir el consumo de SO_2 .

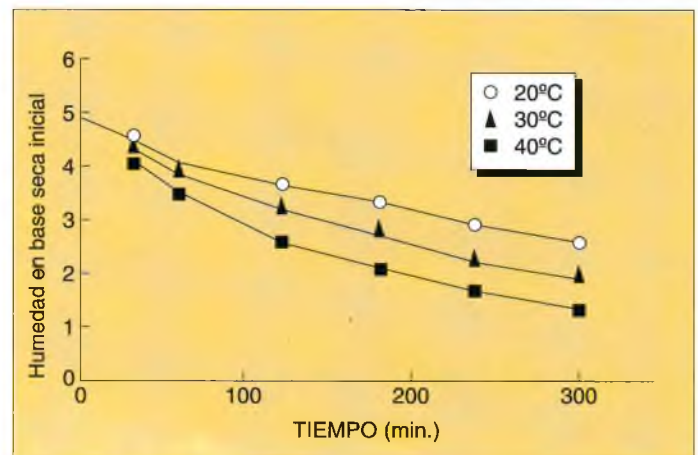
La eliminación de agua por deshidratación osmótica presenta algunas ventajas sobre los tratamientos tradicionales de secado de frutas; a continuación se mencionan los más importantes:

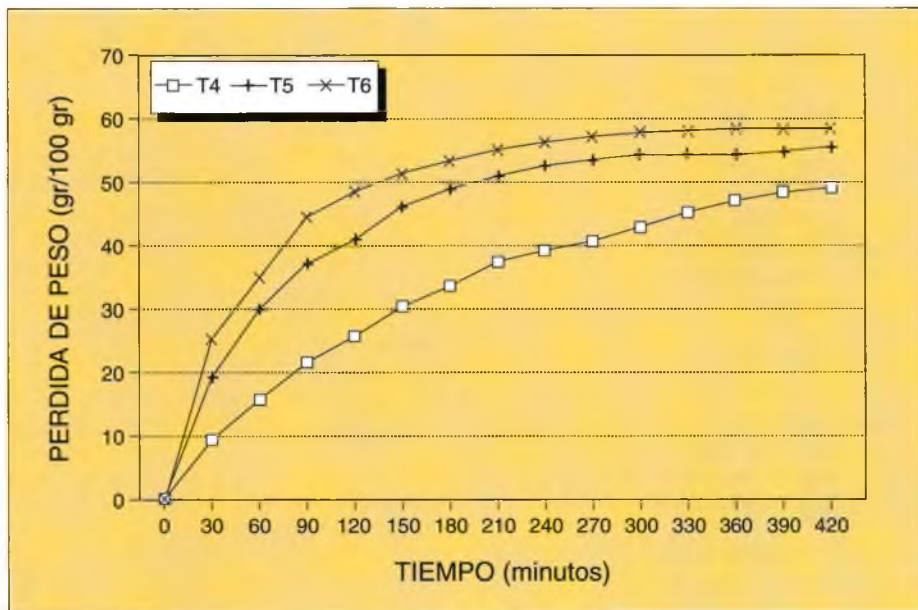
- La eliminación del agua para disminuir la a_w a baja temperatura restringe las reacciones de pardeamiento, dando lugar a un mejor color y sabor. Eliminación o reducción del SO_2 .
- Mejor estructura de la fruta.
- Mejor textura; menos ácida y astringente.

■ FIG. 2: VARIACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PESO A 20, 30 Y 40°C DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL KIWI.



■ FIG. 3: VARIACIÓN DE LA HUMEDAD A 20, 30 Y 40°C DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL KIWI.





■ FIG. 4: PÉRDIDA DE PESO DE LA MANZANA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA, EN JUGO CONCENTRADO DE MANZANA, A 25°C (T4), 45°C (T5) Y 65°C (T6).

OSMOAPERTIZACIÓN

La idea es combinar la deshidratación osmótica con la apertización; para ello, la fruta se preconcentra hasta unos 25^º Brix con el objeto de lograr una mayor estabilidad del color y de la textura frente al tratamiento térmico posterior.

AVANCES RECIENTES EN DESHIDRATACION OSMOTICA

Se ha demostrado recientemente que la aplicación del vacío en la operación de D.O. tiene efectos importantes en la cinética de secado, mejorando el aspecto de las frutas que fueron envasadas.

El aumento de la velocidad de secado cuando se opera un sistema a presión reducida, se explica a través de un mecanismo de penetración hidrodinámica. Este es un fenómeno de transferencia de masa que sucede cuando estructuras porosas son sumergidas en líquidos. En efecto, la transferencia de líquido de los poros de la fruta y la parte líquida externa es controlada por la existencia de gases ocluidos en la estructura porosa. Si hay diferencia de presiones, debido a cambios en las fuerzas capilares o presión externa, el gas se comprime o se expande, permitiendo que el líquido osmótico penetre a los poros o salga de ellos nuevamente. Esta puesta en contacto entre la fruta de alta a_w y el líquido de baja a_w

acelera la pérdida de agua y la virtual ganancia de soluto que pudiera haber, consiguiéndose la deshidratación antes.

También se ha propuesto el diseño de una planta, para conservar frutas utilizando métodos combinados; para esto se propone la aplicación de tres operaciones unitarias, la infiltración a presión con agentes afirmadores de textura y antioxidantes, la deshidratación osmótica para ajustar la actividad de agua como para prevenir crecimiento de hongos y levaduras y controlar algunas reacciones bioquímicas y químicas de deterioro. Luego las frutas pasan a etapa de empaquetado o a una deshidratación o congelación convencional. El jarabe osmótico es reconcentrado en forma continua, con un equipo con vacío, similar al que emplean algunas empresas confitadoras.

En la Universidad de Chile se está trabajando en el diseño de un sistema que permitiría trabajos con volúmenes más pequeños de soluciones osmóticas, con el fin de que no sea necesario utilizar grandes estanques y por ende un espacio físico ad-hoc. El éxito en esta tarea permitiría ahorrar espacio en forma sustancial y disminuir los costos por concepto de inversión en estanques y en soluciones. Finalmente, luego de reutilizar los jarabes, un número de veces que sea conveniente, el destino de ellos podría ser su incorporación a otros productos alimenticios, como agente edulcorante.

MERCADO DE LAS FRUTAS CONSERVADAS OSMODESHIDRATADAS Y OSMOCONGELADAS

En párrafos anteriores queda establecido que la conservación de frutas por métodos combinados corresponde a una técnica no convencional para procesar mínimamente la fruta y lograr su estabilización. Consiste básicamente en aplicar dos o más sistemas de conservación de una manera ligera o no intensa, de modo que sumados alcancen un efecto final, tal que, le otorgue estabilidad y una buena calidad.

Si se considera que la aplicación de la técnica descrita, que incluye ciertos pretratamientos, deshidratación osmótica y el secado o congelado convencional, conduce a una fruta seca o congelada, su mercado destino es, sin dudas, el mismo que el de las frutas deshidratadas o congeladas en forma tradicional y por lo tanto es conocido. Esto quiere decir, que su comercialización y sus canales de distribución no debería ser distinta. Más aún, se espera que el tipo de producto que nos ocupa, tenga unas características organolépticas (color, textura, aroma y sabor) tales que lo hagan mejor que el tradicional. A esto hay que agregar que es posible eliminar o disminuir sustancialmente la presencia de ciertos conservadores químicos objetables como el anhídrido sulfuroso.

También se observa una acentuada preferencia por los productos naturales, incluso ya parecen ser atractivos aquellos que están rotulados "no sugar" (no



contiene sacarosa o azúcar común). Es por ello que es extraordinariamente interesante investigar, desarrollar y formular frutas deshidratadas utilizando como agente osmótico, jugo concentrado de la misma fruta (por ejemplo manzana secada con jugo de manzana) para no introducir azúcares que no son propios del vegetal o para aquellas corrientes más naturistas, emplear miel, e incluso jarabes de maíz. Nos estamos refiriendo a los llamados productos de especialidad, que son conocidos, de alto valor y que se compran en oportunidades especiales.

Los mercados externos hacia donde está orientada la producción de la agroindustria deshidratada y/o congelada, son Unión Europea, E.E.U.U., Canadá y Japón entre los países o bloques industrializados, destacándose Brasil, Colombia, Perú y Bolivia en Latinoamérica. Es precisamente a estos mercados donde tendrá que orientarse la oferta de fruta tratada osmóticamente. Lo interesante es que existen numerosos países desarrollados donde se están realizando investigaciones para impulsar la puesta en marcha de una industria preocupada del tema que nos ocupa, es por ello, que la fruta conservada por métodos combinados producida en Chile, no estará sujeta a las contingencias de un mercado en el que se lanza un producto nuevo con los riesgos que ello implica.

El consumidor asocia la fruta deshidratada con un producto de alto contenido en fibra, exentos de colesterol, sin grasa, ricos en potasio, vitaminas, con edulcorantes naturales, etc.

Desde hace un tiempo a esta parte, existe en los países de Norteamérica y otros de Europa, una internalización de los conceptos de nutrición, de la actitud que debe adoptar frente a productos exógenos a la fruta, etc.

Los sabores acentuados propios de una fruta fresca, buscados por los consumidores, los puede encontrar en la fruta deshidratada osmóticamente. Esto se explica porque la pérdida de aromas debería ser pequeña, pues el agua migra de la fruta sin cambio de fase y a baja temperatura. Luego si es secada en túneles convencionales con aire forzado, los aromas ya están mejor retenidos en la matriz de la fruta, por el incremento de los enlaces intermoleculares entre los carbohidratos y los compuestos responsables del aroma.

Por otro lado, hay quienes opinan que Chile debe competir en el exterior sólo con productos de calidad, tratando de no comercializar los de menor precio/calidad, pues de esto los mercados importantes ya tienen suficiente. Así la oferta debe apuntar hacia productos virtualmente únicos, nóveles o con alguna característica especial que los destaca; hay una importante demanda insatisfecha en el mundo, que espera ser cubierta.

BIBLIOGRAFIA

Beristain, C., Azuara, E., Cortés, R. y García, H. 1990. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *Int'l. J. Food Sci. Technol.* 25:576.

Fito, P. y Pastor, R. 1993. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *J. Food Eng.* 21:513.

Guarda, A., Schwartz, M., Vinagre, J., Castro, E. 1992. An approach to the study of mass transfer during kiwifruit osmotic dehydration. *Pro. 5th Congress of the International Society of Properties of Water (ISOPOW)*. España.

Guilbert, S. 1991. Additifs et agents depreseurs de l'activité de l'eau. Tesis Doctoral. Lavoisier-Apiaria. Paris.

Ishikawa, M. y Nara, H. 1991. Inhibition of solute permeation in osmotic dehydration of food by chitosan membrane coating. *Nippon Suisan Gakkai* 57:767.

Kim, M. y Toledo, R. 1987. Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated blueberries. *J. Food Sci.* 52(4).

Leister, L. 1992. Food preservation by combined methods. *Food Res. Int'l.* 25:11.

Lenart, A y Flink, J. 1984. Osmotic concentration of potatoes. Criteria for the end point of the osmosis process. *J. Food Technol.* 19:45.

Lerici, C., Mastrocola, D. y Nicoli, M. 1988. Use of direct osmotic as fruit and vegetables dehydration. *Acta alimentaria Polonica.* 14(1):35.

Lerici, C., Pinnavia, G., Dalla Rosa, M. y Bartolucci, L. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J. Food Sci.* 50(5) 1217.

Mastrocola, D., Severine, C., Pestalozza, A. y Lerice, C. 1988. Osmosi ad alta

temperatura ed essicamento in corrente d'aria de prodotti ortofruticoli. *Industria Conserve* 63:109.

Riva, M. y Masi, P. 1990. Osmohydra of grapes. En W.E.L. Spiess y H. Schubert (eds.) *Engineering and Food*. Vol. 2. *Preservation Processes and Related Techniques*, pp. 711. Elsevier Applied Sci. Publ., Londres, R.U.

Shafiur-Rahman, D y Lamb, J. 1990. Osmotic dehydration of pineapple. *J. Food Sci. Technol.* 27:150.

Schwartz, M., Silva, C. y Vergara, P. 1994. Osmotic dehydration of Granny Smith apples using apple juice and hot air. *Proc. of International Symposium on the Properties of Water. Food Preservation by Moisture Control*. Mexico.

Schwartz, M. 1993. Conservación de frutas por métodos combinados: una alternativa de interés para los productores y la agroindustria. 44 Congreso Agronómico. Sociedad Agronómica de Chile.

Schwartz, M., Guarda, A., Vinagre, J., Olmedo, M. y Ramírez, R. 1993. Estimación de la energía de activación (Ea) y difusividad del agua (Da) en la deshidratación osmótica de kiwi. Libro Resumen II Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Mexico.

Schwartz, M., Núñez, N. y Silva, C. 1994. Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de pera asiática (*Pyrus pyrifolia*). Libro resumen VIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Uruguay.

Schwartz, M., Sepúlveda, M. y Villanueva, L. 1994. Deshidratación osmótica de manzana (cv. Granny Smith) con jarabe de maíz. Libro resumen VIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Uruguay.

Schwartz, M., Villanueva, L. y Sepúlveda, M. 1994. Calidad organoléptica de la banana osmodeshidratada (var. Cavendish) durante el almacenamiento. Libro resumen 10º Congreso Latinoamericano de Nutrición. Venezuela.

Toupin, C., Marcotte, M. y Le Mageur, M. 1989. Osmotically-induced mass transfer in plant storage tissues: a mathematical model. Part I. *Food Eng.* 10:13.

Torregiani, D., Giangiaco, R., Bertolo, G. y Abbo, E. 1986. Ricerchie sulla disidratazione osmitica della frutta. Idionieta varietale delle ciliege. *Industria conserve* 61: 101.