

SECADO OSMÓTICO

Tecnología de los alimentos

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba

Pablo D. Ribotta

pdribotta@unc.edu.ar



2024



SECADO OSMÓTICO

Eliminación parcial del agua de los sólidos por inmersión en una solución concentrada de azúcar, sal y/o alcohol

- Reducción de humedad hasta 50-60 % de su valor inicial
- Genera productos no estables para conservación (20 a 30 % de humedad). Paso intermedio: la composición química permite obtener, después de secado con aire caliente, congelación, refrigeración, enlatado o envasado, un producto final de mayor calidad organoléptica.
- Producción de alimentos de humedad intermedia

Productos frutihortícolas: contienen membrana celular semipermeable (no perfecta).

Interior celular contiene 9-25% de sólidos disueltos (ácidos, pigmentos, azúcares, minerales, vitaminas,..)



ALIMENTO en contacto SOLUCIÓN CONCENTRADA:

Se establece una diferencia de potencial químico entre la solución concentrada y el sólido a través de la membrana

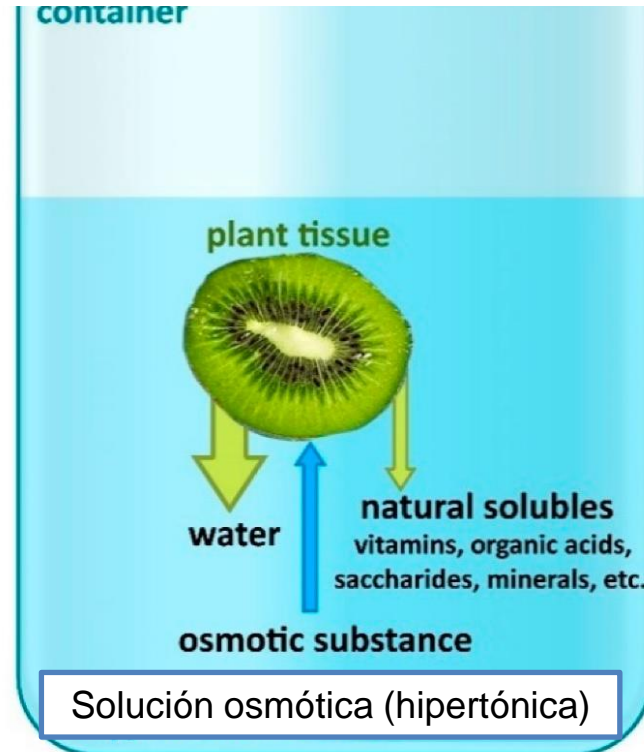


Doble transferencia de materia en forma simultánea

Flujo de agua del producto a la solución



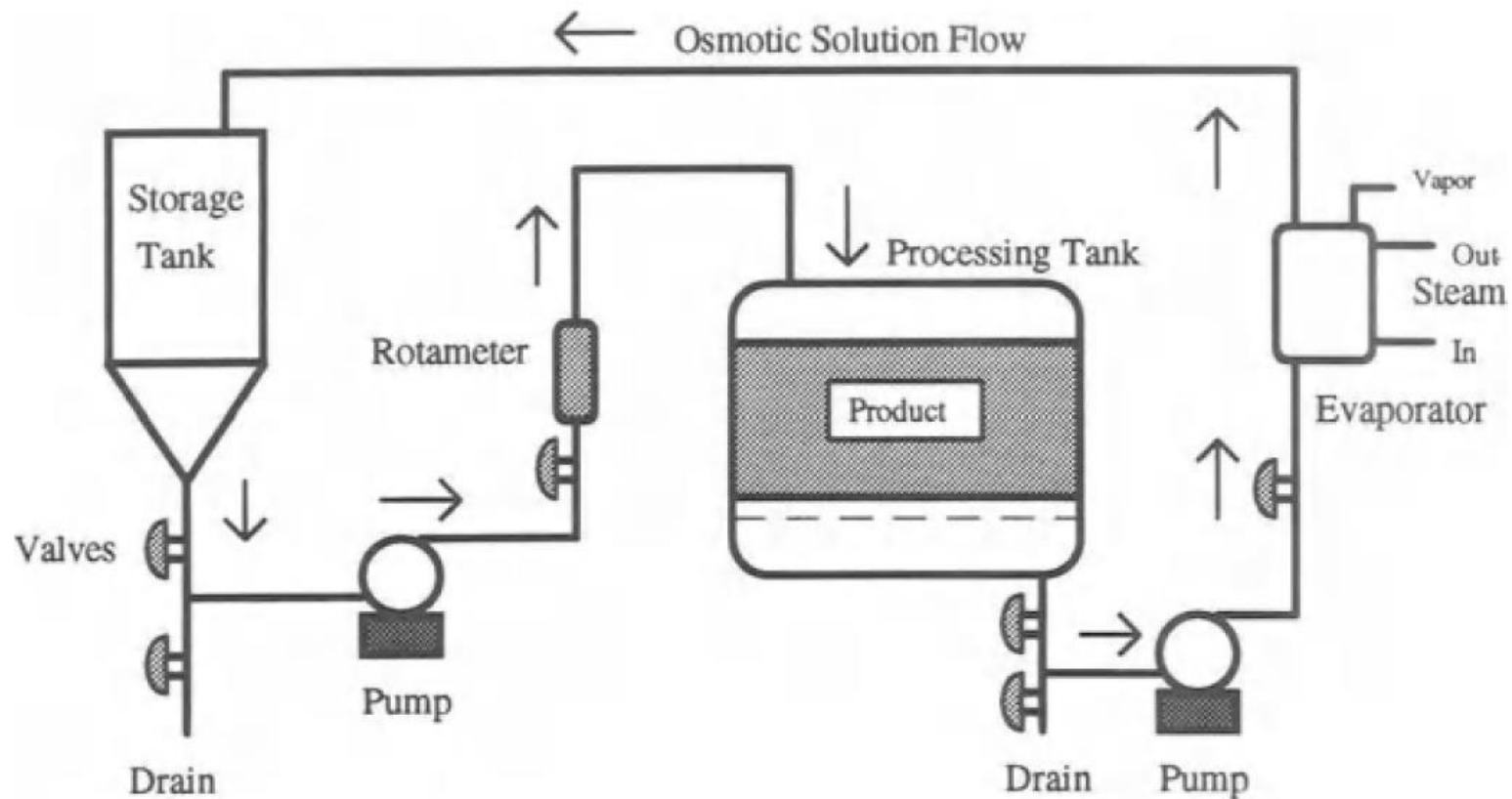
Arrastra **sustancias naturales** (azúcares, vitaminas, pigmentos)



Flujo de soluto de la solución hacia el producto (membrana no perfecta)

En consecuencia el producto pierde agua, gana sólidos solubles y reduce su volumen

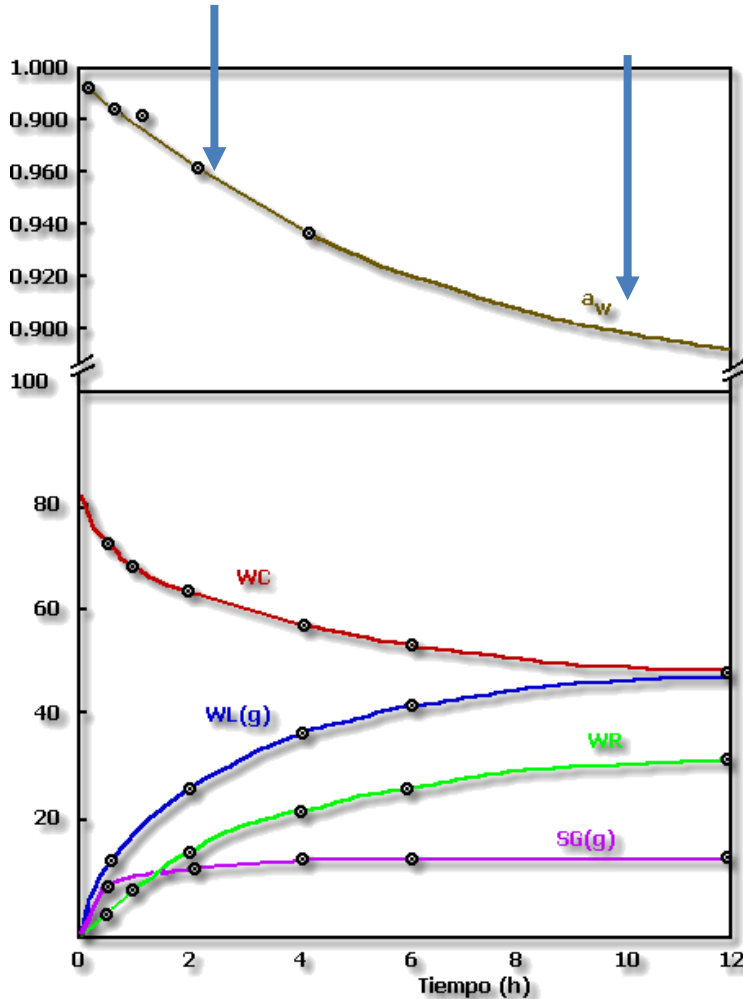
Configuración típica del sistema de deshidratación osmótica



PROCESO

➤ **FUERZA MOTRIZ:** diferencia de actividad acuosa (presión osmótica) entre el alimento y la solución a través de una membrana semipermeable.

DO presenta dos etapas:
una dinámica y una de equilibrio →



Etapá dinámica: velocidades de transferencia de materia disminuyen hasta que se alcanza el equilibrio.

El proceso termina cuando se alcanza este equilibrio, es decir, cuando la velocidad neta de transporte de materia se anula

Evolución de la deshidratación osmótica de manzanas en cubos sumergidas en una solución de sacarosa de 51 °Brix

Aw= actividad de agua;

WR= Reducción % de peso;

WL=g agua extraída del alimento;

WC= agua en el alimento;

SG=Aumento de sustancias sólidas en el alimento (g)

Los datos se refieren a 100 gramos de producto fresco (WC inicial= 82.47%)

PROCESO

➤ MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

➤ **Líquido hacia el exterior: difusión + capilaridad**

➤ **Solutos (entrada/salida): difusión (gradiente de concentración)**

➤ **Solutos:** difunden al espacio extracelular del alimento y, según las características de los solutos, atraviesan o no la membrana celular.

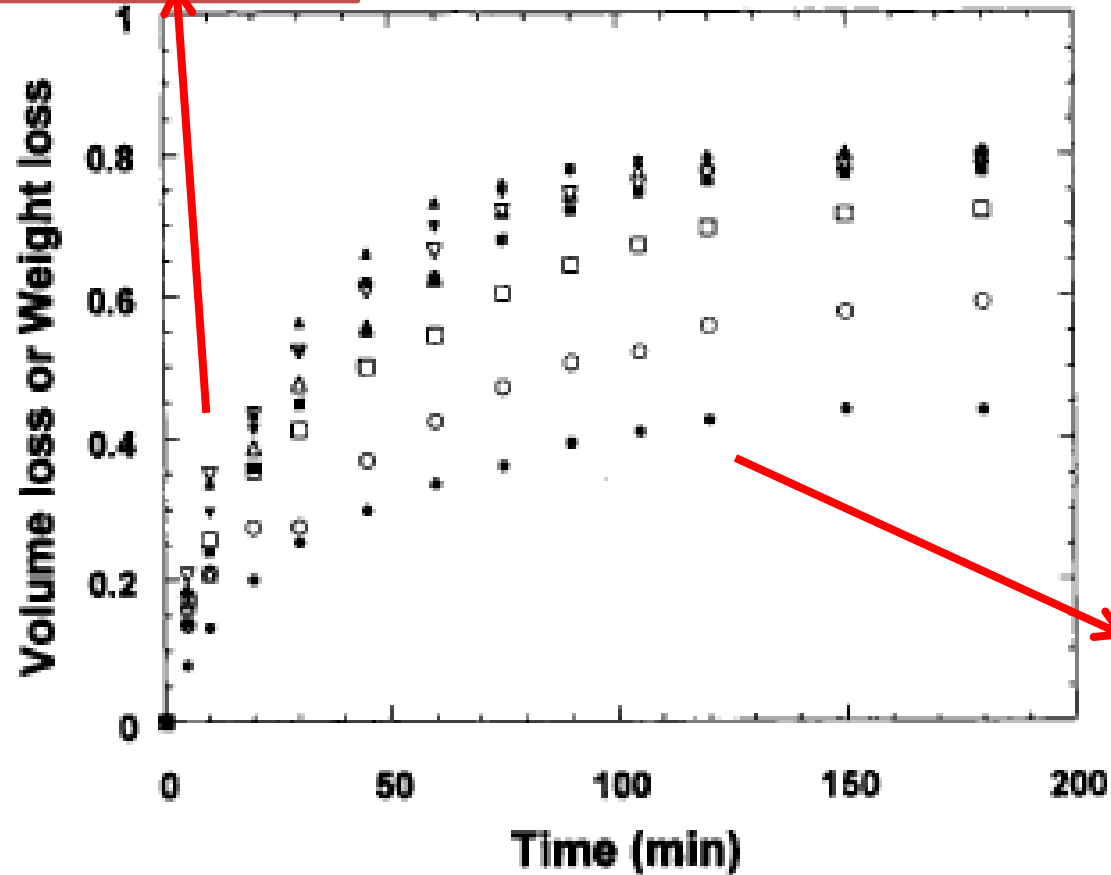


Esto resulta en la formación de una capa superficial de sólidos concentrados: disminución de fuerza impulsora para agua

Cinética de la deshidratación osmótica

Determinada por la eliminación de agua y la ganancia de sólidos

Altas velocidades en primeros 60 min:
gran diferencia de potenciales y a_w



Posteriormente velocidades bajas: formación de capa superficial de sólidos

FIG. 2. SUCROSE:MALTODEXTRIN RATIO, VOLUME LOSS, AND WEIGHT LOSS DURING OSMOTIC DEHYDRATION OF APPLE DISKS
(Volume loss: ○ 100:0, □ 90:10, △ 70:30, ▽ 50:50; Weight loss: ● 100:0, ■ 90:10, ▲ 70:30, ▼ 50:50)

La Cinética de la eliminación de agua y la ganancia de sólidos en este proceso siguen la Ley de Fick de estado no estacionario (por lo general).

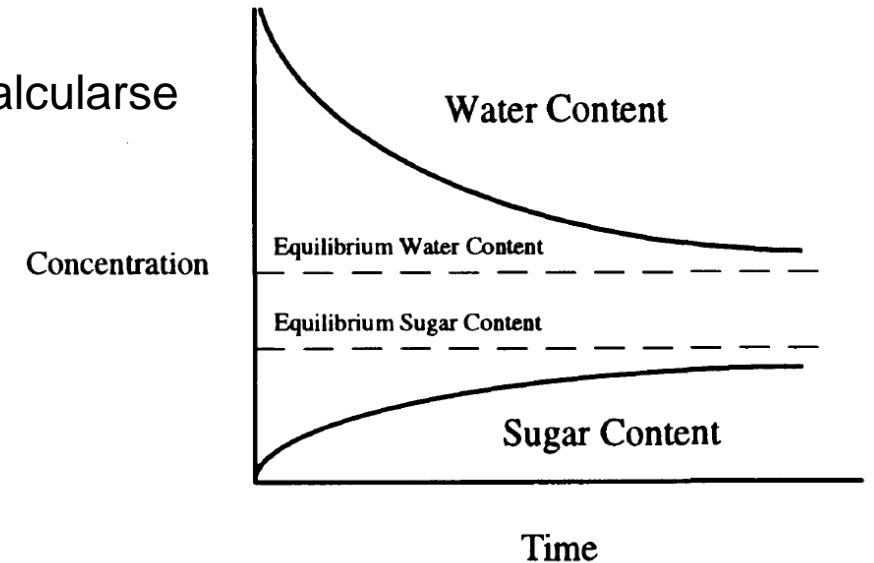
El **coeficiente global de transferencia de masa** (sólidos) (K) puede calcularse utilizando una relación lineal entre C y $t^{1/2}$

$$C = S/S_0 = K t^{1/2}$$

C: sólidos totales al tiempo t (g)

S: sólidos secos al tiempo t (g)

S_0 : sólidos secos iniciales (g)



La gran complejidad del proceso de transferencia de masa hace que la **predicción precisa sea difícil** y que dependa de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio y de parámetros como la **difusividad efectiva**

segunda ley de Fick y que describe el mecanismo difusional

$$\ln \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \frac{\pi D_a t}{x}$$

M: humedad al tiempo t (g/g ss)

M_e : humedad en equilibrio (g/g ss)

M_0 : humedad inicial (g/g ss)

D_a : difusividad efectiva (m^2/s)

x: longitud característica o espesor

Efecto de la temperatura (Arrhenius)

$$D_a = A e^{-E_a/RT}$$

E_a : energía de activación (J/mol)

T: temperatura (K), A: constante

Difusión del agua

$$\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-D_{ew} (2n+1)^2 \frac{\pi^2}{4l^2} t\right]$$

Difusión de sólidos o solutos

$$\frac{S_t - S_e}{S_0 - S_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-D_{es} (2n+1)^2 \frac{\pi^2}{4l^2} t\right]$$

Modelos válidos para reproducir condiciones semejantes a las experiencias de las que se obtuvieron los datos

H: humedad del producto

S: concentración de sólidos en el producto

D_{ew} : coeficiente de difusión efectivo del agua

D_{es} : coeficiente de difusión efectivo de los solutos

Los subíndices 0, t y e se refieren a las condiciones iniciales, a cualquier tiempo t y al equilibrio, respectivamente

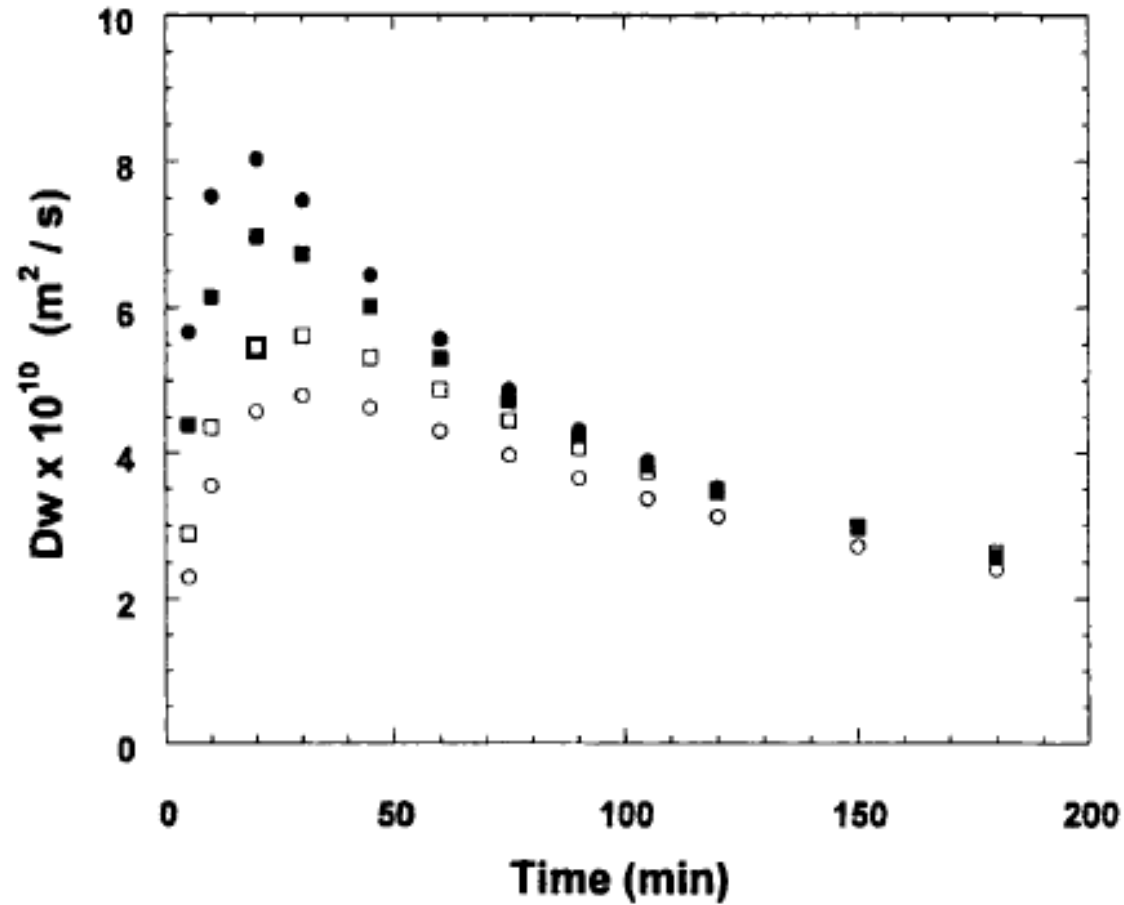


FIG. 4. SUCROSE:MALTODEXTRIN RATIO AND DIFFUSION COEFFICIENT OF WATER DURING OSMOTIC DEHYDRATION OF APPLE DISKS
 (○ 100:0, □ 90:10, ● 70:30, ■ 50:50)

Ventajas

- ❑ Bajo efecto sobre el color, el sabor, el aroma y la textura del alimento
- ❑ Se retienen la mayoría de los nutrientes.
- ❑ Se puede trabajar con pequeños volúmenes de producto.
- ❑ Produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado ya que no debe someterse a altas temperaturas como en otros tratamientos térmicos
- ❑ Eficiente energéticamente (no hay calentamiento). A 40 °C aproximadamente 2 veces menos de consumo que un secado con aire por convección a 70 °C. La concentración previa permite ahorros en el procedimiento de congelación.
- ❑ Reduce velocidad de reacciones de deterioro (inhibición de enzimas) y pérdida de volátiles en etapas de procesamiento posteriores o almacenamiento.
- ❑ Productos más estables que crudos: menor a_w y mayor contenido de sólidos (acción germicida)

Desventajas

- ❑ **Transferencia simultánea:** cambios en el sabor como aumento dulzura y la salinidad y disminución acidez (positivo o negativo)
- ❑ **Daño celular y desarrollo de sabores y olores** extraños a largos tiempos de secado
- ❑ **Manejo de la solución** (reutilización): debido a la recuperación y reutilización de la solución ocurren cambios indeseables en su composición (relacionados con las sustancias liberadas por los productos como colorantes, ácidos, azúcares, minerales y vitaminas.
- ❑ Contaminación microbiológica de la solución
- ❑ Re-concentración: evaporación, ósmosis inversa; difícil de manejar
- ❑ **Si bien el punto final** está dado por el equilibrio, se debe considerar: daño celular, desarrollo de sabores y olores por excesivos tiempos de contacto y recirculación de los jarabes de trabajo

Condiciones de operación

Temperatura de la solución osmótica: la T afecta la cinética de pérdida del agua y ganancia de solutos.

- Mejora la difusión y la pérdida de agua (mayor agitación molecular y mayor hinchamiento y plasticidad de las membranas celulares).
- Ganancia de solutos menos afectada y depende los cambios en la permeabilidad de las membranas (el efecto de T sobre D_a puede evaluarse mediante la relación de Arrhenius)

Condiciones de operación

Relación solución-producto: la cantidad y la velocidad de transferencia de materia (agua y soluto) aumentan con el incremento de esta relación hasta cierto valor, luego se mantiene constante.

Agitación: asegura contacto continuo del producto con la solución, mejora la velocidad de transferencia durante la primera fase del proceso.

No se observan grandes cambios en etapas avanzadas, siendo en algunos casos no rentable económicamente.

Alrededor del 50% de la pérdida de agua se efectúa en la primer hora de contacto (limitar tiempo para evitar absorción de solutos).

Baja presión: la producción de vacío durante el contacto aumenta la transferencia por capilaridad, incrementando el flujo de agua pero no el intercambio de solutos.

TIPO DE SOLUTO DE LA SOLUCIÓN

La pérdida de agua se favorece con de solutos de PM alto y la impregnación es superior con solutos de bajo PM. Mas comunes son:

- **sacarosa para frutas**
- **cloruro de sodio para vegetales, pescado o carne**

Otros agentes osmóticos: glucosa, fructosa, lactosa, dextrosa, maltosa, maltodextrinas, glicerol, etc., combinaciones de los anteriores

La acidificación de la solución concentrada aumenta la pérdida de agua (hidrólisis y despolimerización de pectinas en tejidos de frutas y hortalizas)

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La cantidad y la velocidad de transferencia de materia aumenta con el incremento de la concentración de la solución osmótica: a_w de la solución disminuye y aumenta la fuerza impulsora.

60% sacarosa, común

USOS Y VENTAJAS DE LOS AGENTES OSMOTICOS

Nombre	Usos	Ventajas
Cloruro de sodio	Principalmente en carnes y vegetales. Soluciones hasta 10%	Gran capacidad de deprimir aw
Sacarosa	Principalmente en frutas	Reduce el oscurecimiento y aumenta la retención de volátiles
Lactosa	Principalmente en frutas	Sustitución parcial por sacarosa
Glicerol	Frutas y vegetales	Mejora Textura
Combinación	Frutas, vegetales y carnes	Mejora las características sensoriales, combina gran capacidad de depresión de aw de sales, con una gran capacidad de remoción de agua de azúcares

(Barbosa-Canovaqs, et. al., 1996)

Factores que afectan el proceso de deshidratación

Cantidades (en g de soluto/g de soluto + g de agua) \times 100) necesarias para controlar la a_w en el rango 0,75-0,98 para varios humectantes comunes.

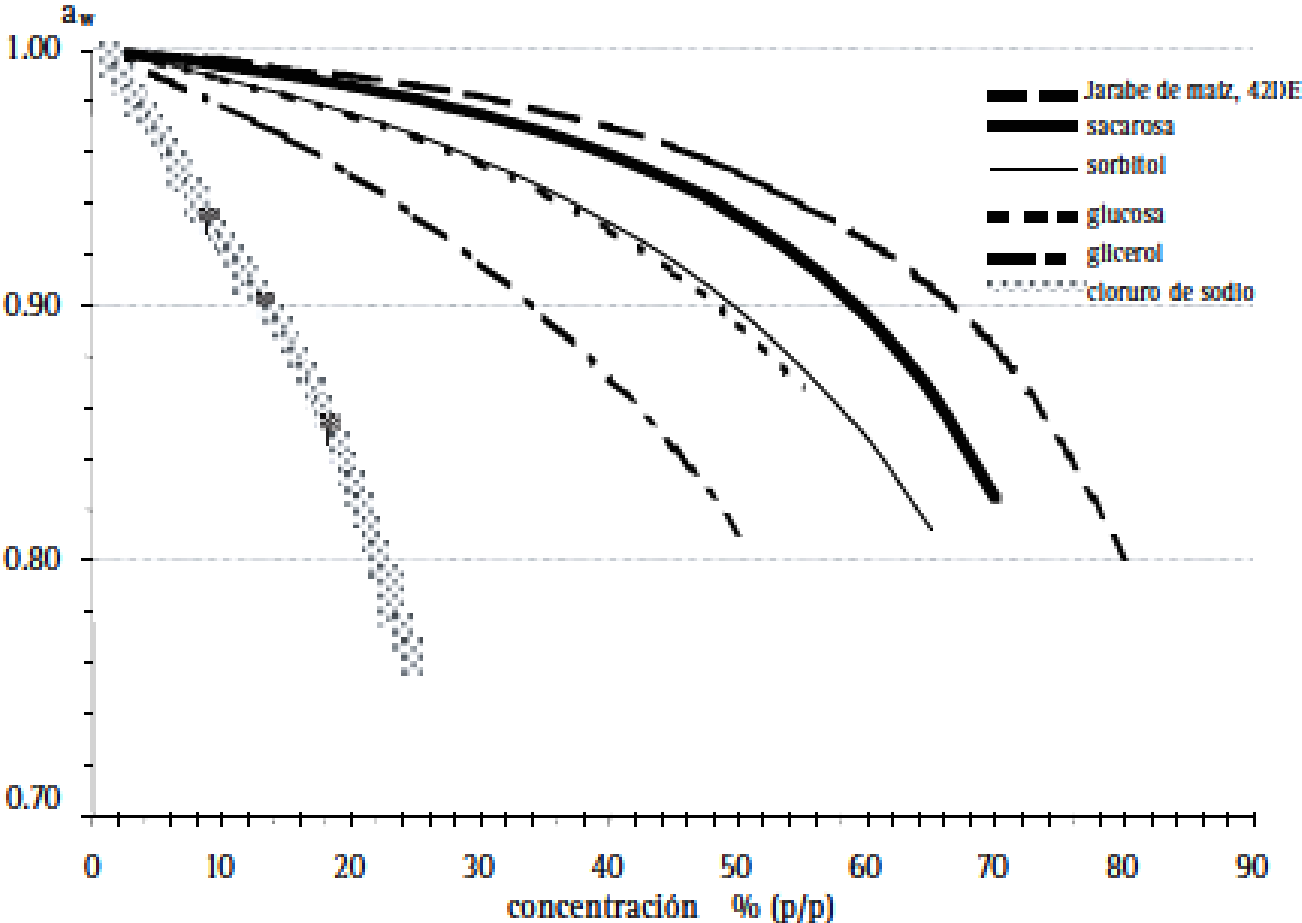


Figura 1 : Actividad de agua en función de la concentración de soluciones de solutos comúnmente utilizados en la formulación de alimentos de alta humedad y de humedad intermedia

Factores que afectan el proceso de deshidratación

Propiedades físico-químicas del alimento

La cinética de deshidratación osmótica se ve afectada por:

- La composición: proteínas, carbohidratos, grasa, etc
- La estructura física: porosidad, distribución de células, orientación de las fibras y presencia de piel

Pre-tratamientos

La cinética de transferencia puede verse afectada por efecto de pre-tratamientos (**blanqueado, calentamientos, congelación, acidificación**) debido a la pérdida de la integridad de las membranas.

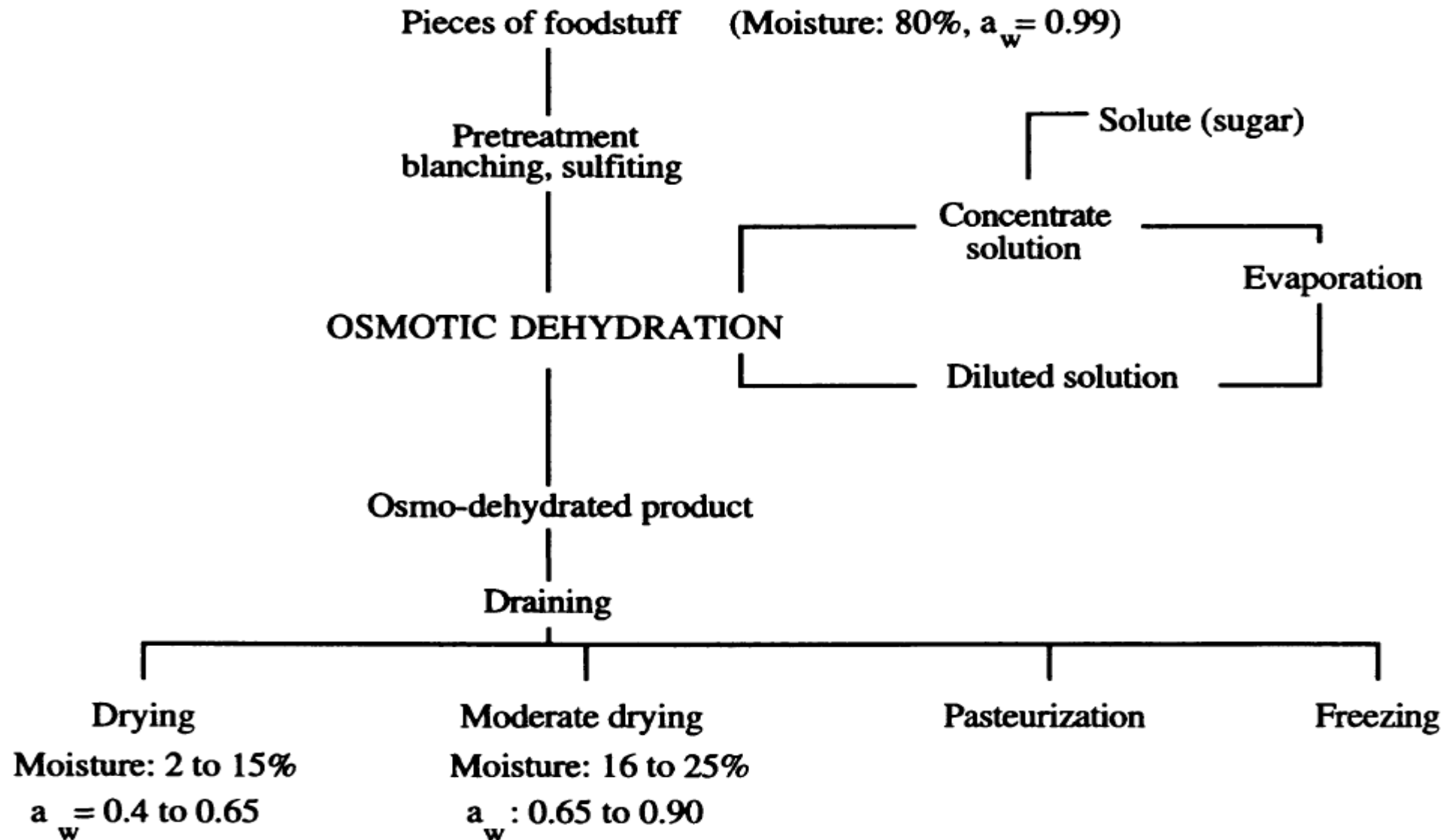
En general disminuye la pérdida de agua y aumenta la ganancia de sólidos

Geometría del alimento

El proceso de osmosis es afectado por la variación de la relación **área superficial/unidad de volumen**. Mayor **superficie de contacto** mejora la transferencia de masa (agua y sólido)

Tamaño de las piezas: distancia que debe recorrer el agua y los soluto durante su difusión.

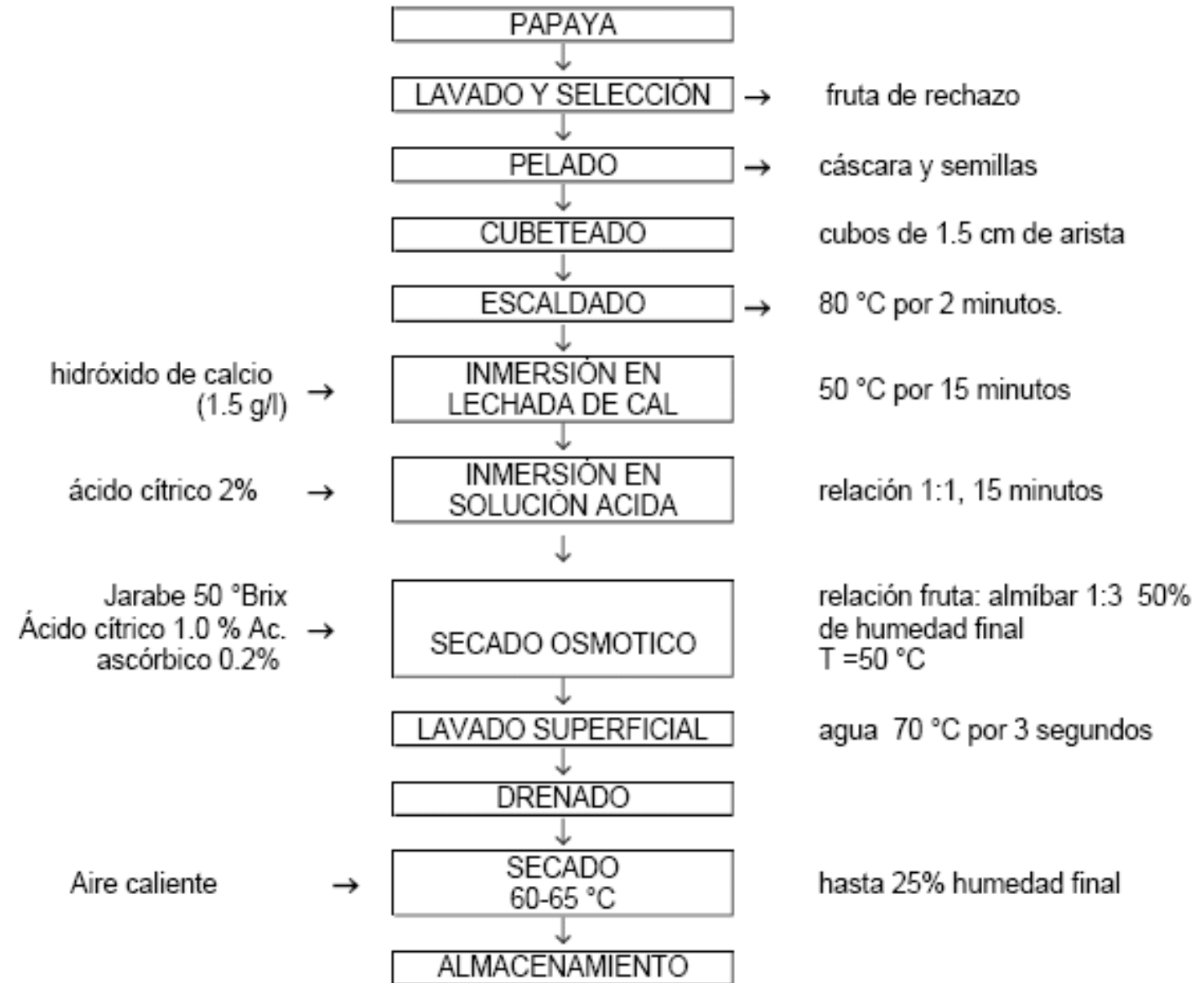
Principales etapas en la preparación de productos deshidratados osmóticamente



EJEMPLO

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL SECADO POR MEDIO OSMOTICO Y AIRE CALIENTE

Los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) sirven para determinar el cociente total de materia seca (generalmente sacarosa) disuelta en un líquido. Una solución de 25°Bx contiene 25 g de sólido disuelto por 100 g de líquido.



EN EL PRODUCTO FINAL

Las especificaciones deseadas del producto final son:

Humedad 25 %, pH 3.5-3.9

Sólidos solubles 65* Brix, Sulfito residual 50 ppm

En el empaque verificar que el sellado sea bueno para evitar el contacto con el oxígeno.



El producto empacado en bolsas tiene una **vida útil de 60 días a temperatura ambiente**, si la humedad es inferior al 25%.

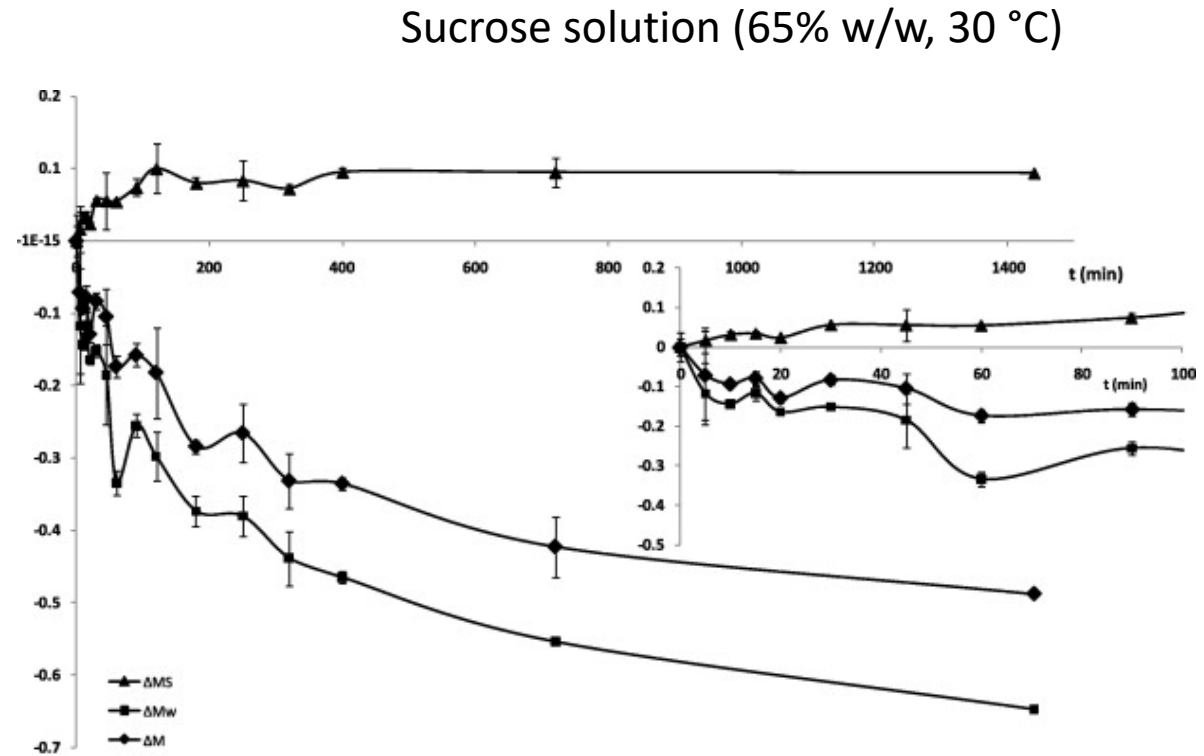
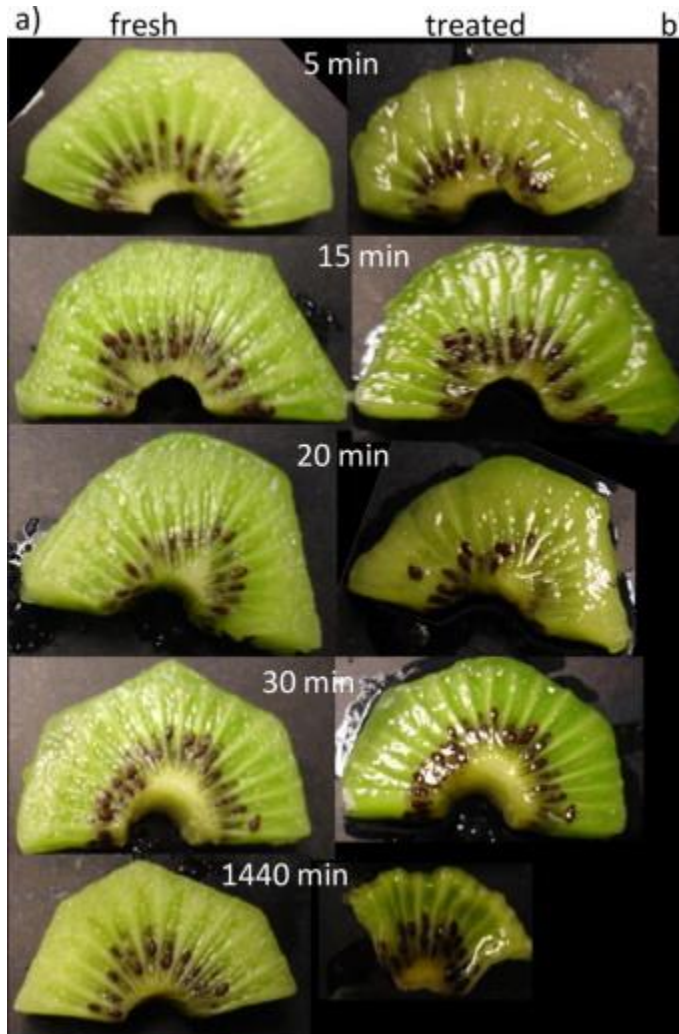
ASPECTOS DE COMERCIALIZACIÓN

Los cubitos de papaya deshidratados osmóticamente pueden consumirse en forma directa como golosina, o en mezclas con cereales, repostería, helados y yogurt.

COSTOS Y RENTABILIDAD

Al final del proceso se obtiene, en promedio, 12 Kg de producto terminado por cada 100 kg de fruta inicial. Con el mismo equipo y siguiendo el mismo proceso se pueden secar otras frutas: **piña, mango, banano, fresa**, etc.

Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit through the osmotic dehydration



Evolution of overall mass (◆), water mass (■) and sucrose mass (▲) variation through the osmotic treatment.

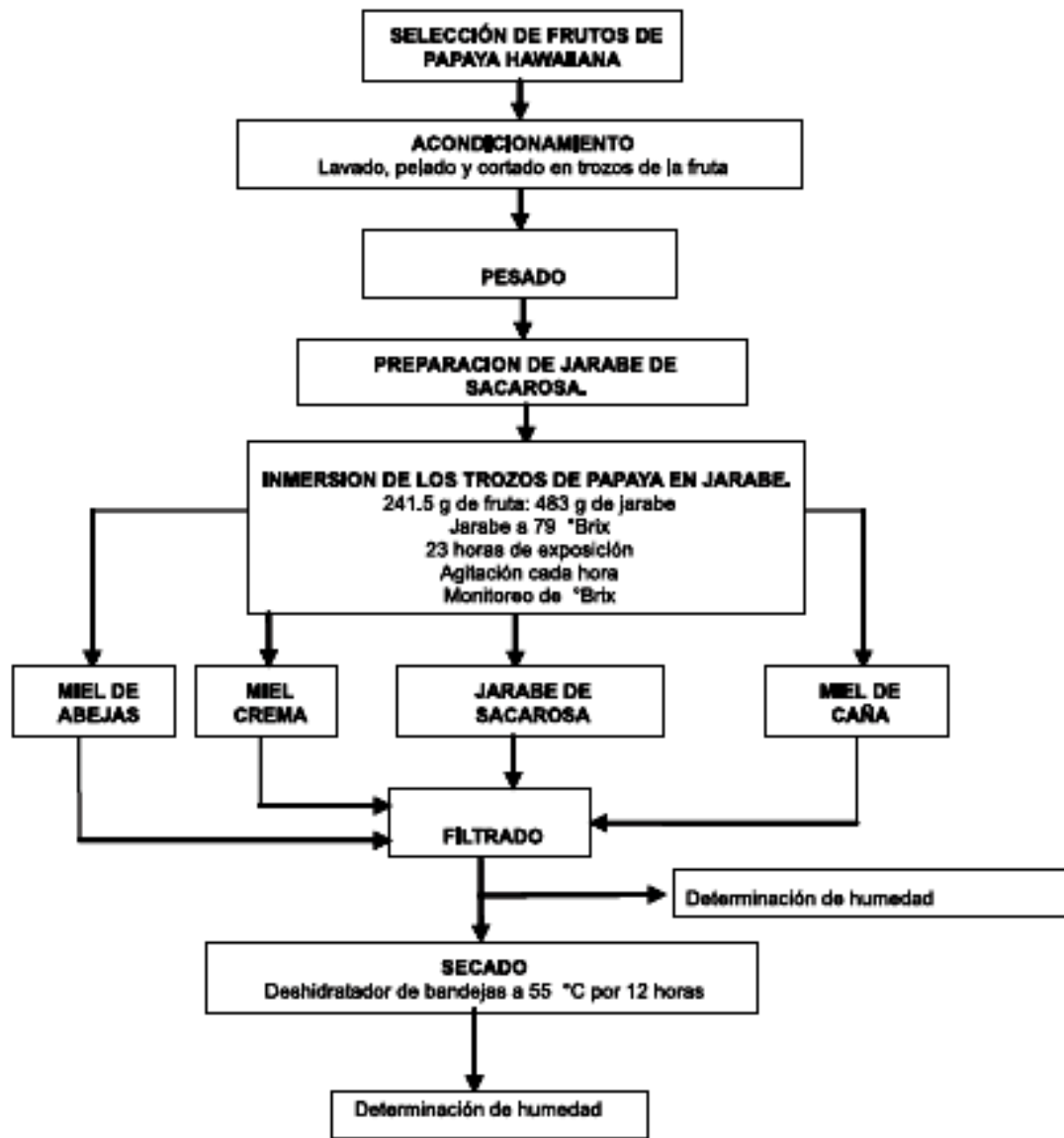


Figura 1. Diagrama de el proceso de deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya L.*)

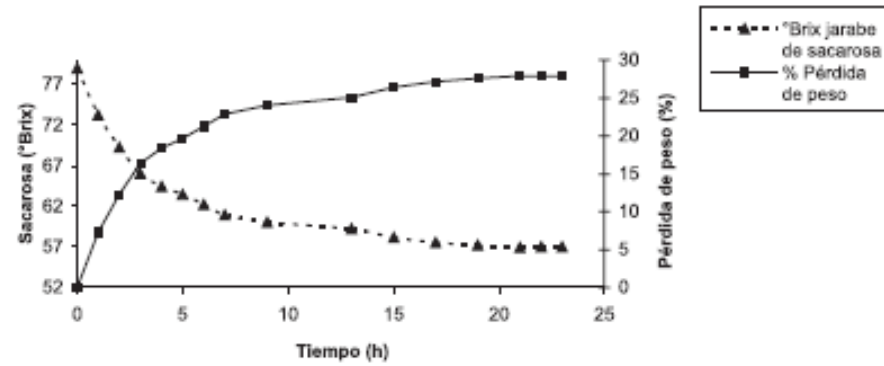
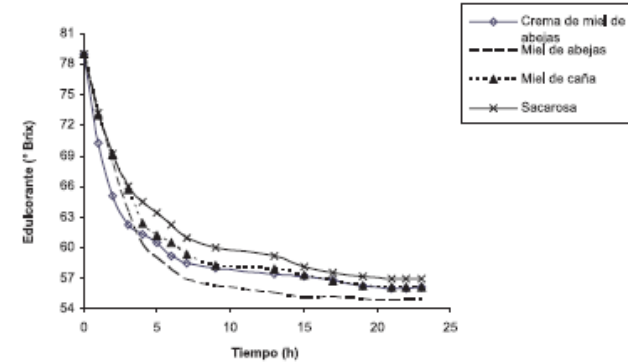


Figura 3. Comportamiento de los °Brix del edulcorante sacarosa y el peso de frutos de papaya hawaiana, sometidos a deshidratación osmótica.



Algunos ejemplos de productos osmodeshidratados disponibles en el mercado son:

Frutas osmodeshidratadas: pasas, ciruelas pasas, orejones (duraznos, pelones, damascos secos), higos secos y mangos secos

Verduras osmodeshidratadas: tomates secos, zanahorias secas y cebollas secas, entre otros.

Snacks osmodeshidratados: chips de frutas o verduras osmodeshidratadas, que ofrecen una opción más nutritiva y crujiente en comparación con los snacks fritos tradicionales.

Carnes osmodeshidratadas: Algunos tipos de pescados y carnes, como el jamón, pueden someterse a la deshidratación osmótica para su conservación y para obtener un producto de mayor duración.



Table 1. Osmotic dehydrated fruits.

Raw material	Osmotic substances	Concentration of solute (%)
Pineapples	Saccharose	65
Bananas	Saccharose	65
	Saccharose	67 - 70
Blueberries	Saccharose	-
Pears	Glucose – Fructose syrup	60
	Starch syrup/Saccharose	70
Apples	Saccharose	59
	Fructose	60
	Glucose	51
	Starch syrup	70
	Fructose syrup	70
Berries	Saccharose	50
Mangoes	Sodium chloride	25
Apricots	Starch syrup/ Saccharose	70
Plums	Saccharic syrup	-
Cherries	Starch syrup / Saccharose	70
	Glucose / Saccharose	70



Table 2. Osmotic dehydrated vegetables.

Raw material	Osmotic substances	Concentration of solute (%)
Onion	Saccharose / sodium chloride	54 / 10
Carrot	Sodium chloride	10
	Saccharose	5 - 60
	Sodium chloride	10
	Glucose	50
	Sodium chloride and ethanol	
	Saccharose / sodium chloride	45 / 15
Tomatoes	Starch syrup	70
	Sodium chloride	10
Potatoes	Saccharose / sodium chloride	45 / 15
Agar gel	Saccharose	60
Pumpkin	Saccharose	61



Bibliografía

Sharma S, Mulbaney S, Rizvi S. INGENIERÍA DE ALIMENTOS : OPERACIONES UNITARIAS Y PRÁCTICAS DE LABORATORIO. Editorial Limusa S.A. De C.V., 2003 - 348 páginas

Charles Tortoe. 2010. A review of osmodehydration for food industry. African Journal of Food Science Vol. 4(6), pp. 303 - 324, June 2010
Available online <http://www.academicjournals.org/ajfs>

Spiazzi E, Mascheroni R. 2001. MODELO DE DESHIDRATACION OSMOTICA DE ALIMENTOS VEGETALES. MAT – Serie A, 4 (2001), 23-32.

Ashok Kumar Yadav, Satya Vir Singh. 2014. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. J Food Sci Technol. 2014 Sep; 51(9): 1654–1673.