

**DESARROLLO DE INGENIERIA DE PROCESO PARA LA
DESHIDRATACION DE FRUTAS (CIRUELAS PRESIDENT). Parte 1: Estudio
experimental del proceso combinado de ósmosis y secado por aire caliente**

GORI L.M., CROZZA D.E., PAGANO A.M.

**Facultad de Ingeniería y Programa Institucional ALIMENTOS – UNICEN
Av. Del Valle 5737, (7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina
apagano@fio.unicen.edu.ar**

1. Resumen

El presente Proyecto se llevó a cabo en el Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). Comprende el estudio de un proceso de deshidratación de frutas (ciruelas) por métodos combinados de ósmosis (DO) y secado por aire caliente (SAC). En la primera etapa se evaluó a nivel experimental la influencia de distintas variables del proceso tales como pretratamiento de lavado, tipo de agente osmótico empleado en la deshidratación osmótica y temperatura del aire de secado, con vistas a determinar las condiciones operativas óptimas. Se emplearon tres pretratamientos de lavado (solución 1% p/p de NaOH a 60°C, agua a 60 °C, agua a temperatura ambiente) para eliminar la ceras superficiales y favorecer la transferencia de masa en la pared celular de la piel. Las muestras fueron predeshidratadas por ósmosis en soluciones 40% p/p de sacarosa o glucosa a 40°C sin agitación, empleado una relación fruta:jarabe de 1:4. Luego se completó la deshidratación por secado con aire caliente a temperaturas de 42 y 52°C con velocidad y humedad relativa de aire constantes. Se evaluaron las variables pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos solubles (SG) y contenido de humedad adimensional (MR).

WL y SG aumentaron con el tiempo durante la DO, resultando siempre WL mayor que SG. Las mayores WL (31,5%) y SG (5%) se lograron para muestras lavadas con agua a temperatura ambiente y deshidratadas en sacarosa, tratamiento con el cual la humedad del producto se redujo de 78,8% b.h. a 64,4% b.h., mientras que los sólidos solubles subieron del 20,0% inicial al 34,0%. Mientras tanto, MR se redujo continuamente a lo largo del proceso combinado DO+SAC.

El análisis de la varianza demostró que durante la DO tanto el agente osmótico como su interacción con el pretratamiento de lavado resultaron significativos (nivel de confianza 95%), sobre la humedad adimensional; en el SAC, la variable determinante sobre MR resultó ser la temperatura (nivel de confianza 95%).

La menor humedad final (2,5% b.h.) se obtuvo empleando un lavado con agua a temperatura ambiente, sacarosa como agente osmótico durante la DO y 52°C como temperatura del aire en el SAC. Este resultado es importante al extrapolarlo a nivel industrial.

2. Introducción

Las ciruelas deshidratadas son una importante fuente de nutrientes y ello las hace muy importantes para una dieta saludable. Por sus cualidades son empleadas en diversos productos alimenticios (barras nutricionales, pastelería, postres helados, yogurths).

Las ciruelas pueden deshidratarse artesanalmente por secado solar y con aire caliente en túneles de secado a nivel industrial. El secado con aire caliente (SAC) es un buen método de conservación debido a que reduce el contenido de agua, minimizando así la posibilidad de desarrollo microbiano, los requerimientos de embalaje (packaging) y los costos de transporte (Cinquanta y col., 2002). Sin embargo, trae aparejados efectos adversos como cambios en las propiedades nutricionales y sensoriales debido a la exposición de la fruta a altas temperaturas durante tiempos largos.

Una alternativa al secado convencional, que permite obtener productos de mejor calidad y contrarrestar los efectos negativos del SAC, es la deshidratación osmótica (DO). Esta técnica, además de mejorar la calidad del producto final (mejor color y sabor), reduce los costos de energía y el empleo de SO_2 (que se emplea para mantener el color, pero degrada el sabor). Durante la DO se generan dos flujos simultáneos a contracorriente: a) el agua difunde desde la fruta a la solución, y b) el azúcar difunde desde la solución hacia la fruta. También ocurre un tercer flujo, que es despreciable con respecto a los anteriores pero que es importante para la calidad del producto final, en el cual solutos naturales difunden de la fruta a la solución.

La DO por sí sola no puede ser considerada como un método de preservación de alimentos, por ello se la emplea como un pretratamiento en lo que se conoce como "métodos combinados de deshidratación". La implementación de estas nuevas tecnologías emergentes trae aparejados diversos beneficios: mejoras en la calidad del producto deshidratado (mínimo cambio en color, sabor y degradación química), reducción del uso de energía, reducción de costos, desarrollo de equipos confiables que requieran poca mano de obra, desarrollo de procesos estables, etc. (Marcotte y Tanguay, 2005; Paulo y col., 2006).

3. Objetivos

El presente trabajo se enfoca al estudio de un proceso combinado de deshidratación de frutas a escala piloto basado en ósmosis y secado por aire caliente para evaluar distintos aspectos del proceso, tales como pretratamiento de lavado, tipo de agente osmótico empleado en la deshidratación osmótica y temperatura del aire de secado, con vistas a determinar las condiciones operativas óptimas.

4. Metodología

Materiales

Se trabajó con ciruelas frescas (*Prunus doméstica L.*) variedad *President*, cosechadas en el momento óptimo de madurez en la Chacra Experimental de

la Facultad de Agronomía UNICEN, con humedad 78,8% b.h. (base húmeda), contenido de sólidos solubles 20,0 °Brix, firmeza 6,125 kg y peso promedio por fruto 86,5 g.

Equipos

Para la DO se empleó una estufa de conducción con control de temperatura (rango 0-100 °C, precisión ±0,5 °C). Para el SAC se usó un secadero túnel de 4 bandejas con control de temperatura y flujo de aire. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire se midieron con un psicrómetro aspirado (modelo PAPTZ, rango 0-110 °C, precisión ±0,5 °C), y la velocidad con un anemómetro (Air Flow Anemometer LCA 6000, rango 0,25-3 m/s, precisión ±0,1 m/s).

Las muestras se pesaron en balanza analítica (precisión ±0,0001 g), los sólidos solubles (SS) se midieron por refractometría (Abbe, precisión ±0,01) y la humedad (M) se determinó en estufa de vacío a 70 °C durante 6 horas (AOAC, 1980).

Diseño experimental y plan de trabajo

Se realizó un diseño experimental considerando las siguientes variables en ensayos no consecutivos e independientes, con dos repeticiones:

- pretratamiento de lavado (3 niveles): solución 1% p/p de NaOH a 60°C, agua a 60 °C, agua a temperatura ambiente.
- tipo de agente osmótico (2 niveles): solución al 40% p/p de glucosa, solución al 40% p/p de sacarosa
- temperatura del aire de secado (2 niveles): 42°C, 52°C.

El objetivo del pretratamiento fue eliminar las ceras superficiales para favorecer la pérdida de agua. Se empleó un tiempo de 1 minuto, luego las muestras se secaron y cortaron en porciones de 1/8.

La DO se llevó a cabo durante 8 h a 40°C sin agitación, con una relación fruta:jarabe de 1:4. A intervalos regulares las muestras se evaluaron en peso, humedad y sólidos solubles. La pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG) durante la DO se calcularon con las siguientes expresiones (Rodríguez, Gori, 2008):

$$WL = \left[\left(1 - \frac{TS_0}{100} \right) - \left(1 - \frac{TS}{100} \right) \cdot \left(1 - \frac{WR}{100} \right) \right] \cdot 100 \quad (1)$$

$$SG = \left[\left(1 - \frac{WR}{100} \right) \cdot \frac{TS}{100} - \frac{TS_0}{100} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

donde TS_0 : sólidos iniciales en la muestra (g sól. secos/g muestra), TS : sólidos en la muestra a tiempo t , WR : diferencia de masa entre la muestra inicial y la muestra a tiempo t .

El SAC de las ciruelas osmodeshidratadas se llevó a cabo a distintas temperaturas con velocidad de 1,8 m/s y humedad relativa de aire constante

durante 13 h. A intervalos regulares las muestras se pesaron en balanza analítica. El contenido de humedad se adimensionalizó como (Paulo, 2007):

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (3)$$

donde M_0 : contenido inicial de humedad.

5. Resultados

Deshidratación osmótica (DO)

La Fig. 1 muestra los resultados obtenidos para WL y SG durante la DO. En todos los casos ambas variables aumentaron con el tiempo. Las mayores WL (31,5%) y SG (5%) se lograron para muestras lavadas con agua a temperatura ambiente y deshidratadas en sacarosa, tratamiento con el cual la humedad del producto se redujo de 78,8% b.h. a 64,4% b.h., mientras que los sólidos solubles subieron del 20,0% inicial al 34,0%.

Por otro lado se observó que WL fue siempre mayor que SG, lo cual significa que el producto redujo su peso neto durante el tratamiento.

Secado con aire caliente (SAC)

La humedad adimensional (MR), variable objetivo del proceso, evolucionó en forma decreciente durante el tiempo de SAC de las muestras predeshidratadas por ósmosis, tal como se observa a modo de ejemplo en la Fig. 2 para 42°C.

Se mantuvo la tendencia respecto del tipo de agente osmótico empleado, ya que las muestras osmodeshidratadas con sacarosa llegaron a menor MR que las tratadas con glucosa.

También, para un mismo pretratamiento, se evidenció que a la mayor temperatura de secado (52°C) se llegó a una humedad final considerablemente más baja (20% menor) que a 42 °C.

Del conjunto completo de ensayos, las muestras lavadas con agua a temperatura ambiente y osmodeshidratadas con sacarosa fueron las que alcanzaron menor contenido de humedad, independientemente de la temperatura del secado, con valores de 25,83 % b. h. para el secado a 42 °C y de 2,52% b. h. para el secado a 52 °C.

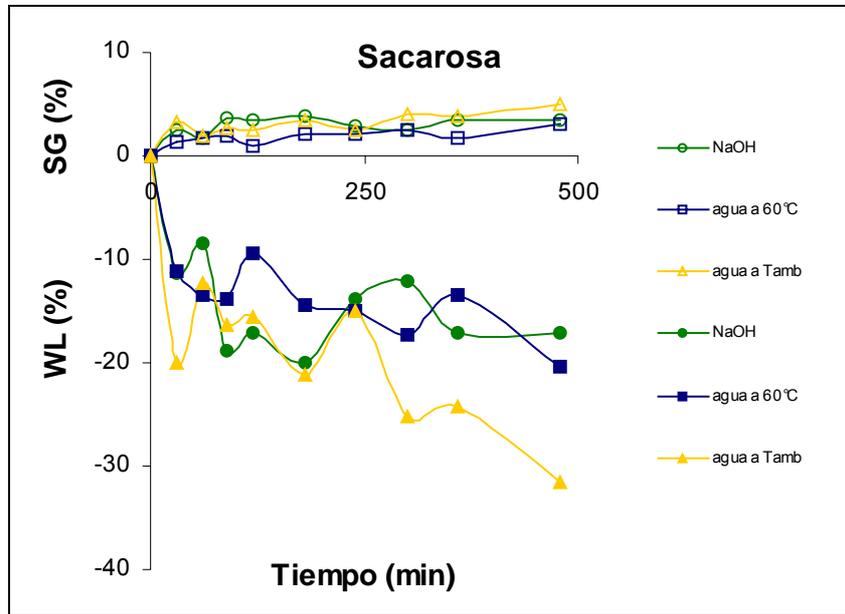
Métodos Combinados (DO+SAC)

En la Fig. 3 se muestra la variación de la humedad adimensional (MR) de las muestras a lo largo del proceso combinado de deshidratación osmótica seguido por secado con aire caliente a una temperatura de 52°C.

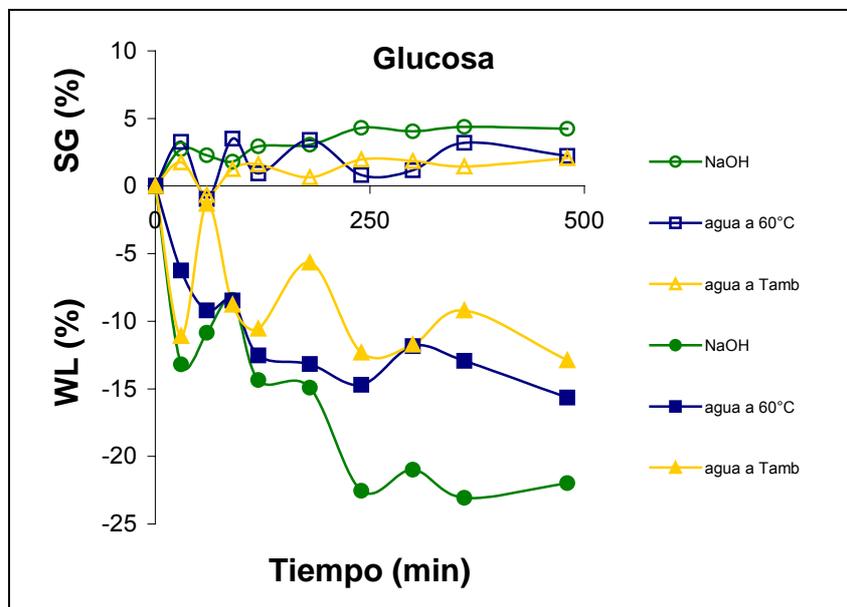
Para tener una visión de conjunto del tratamiento combinado, para la segunda etapa de secado por aire caliente (SAC), el contenido de humedad se adimensionalizó tomando como base la humedad inicial de la muestra fresca ($M_0=78,8\%$ b.h.).

Se observó que para todas las condiciones experimentales la humedad adimensional disminuyó continuamente a lo largo del tiempo, obteniéndose diferentes curvas para los distintos tratamientos lo cual evidencia la influencia

de las condiciones del proceso sobre el contenido de humedad de los productos. La menor humedad final (2,5% b.h.) se obtuvo empleando un lavado con agua a temperatura ambiente, sacarosa como agente osmótico durante la DO y 52°C como temperatura del aire en el SAC.



(a)



(b)

FIGURA 1– Pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) para ciruelas sometidas a distintos pretratamientos de lavado y deshidratadas en soluciones de (a) sacarosa y (b) glucosa.

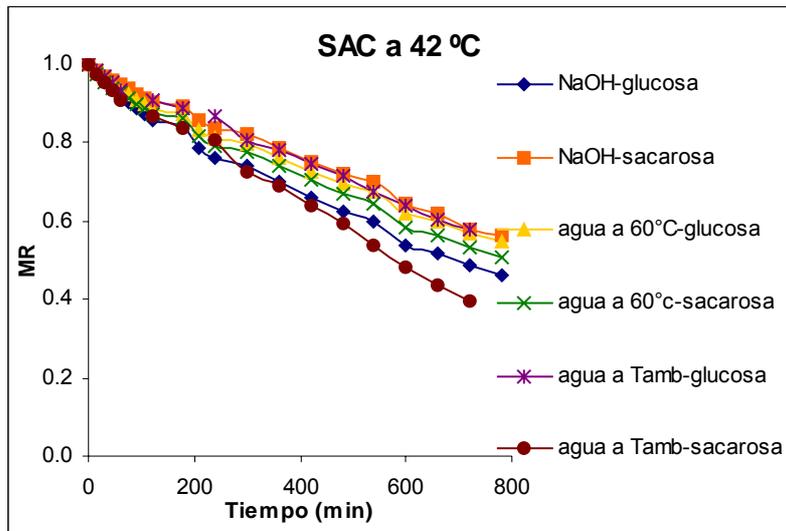


FIGURA 2– Humedad adimensional (MR) durante el secado por aire caliente (SAC) a 42°C aplicado a ciruelas sometidas a distintos pretratamientos de lavado y deshidratación en soluciones de sacarosa y glucosa.

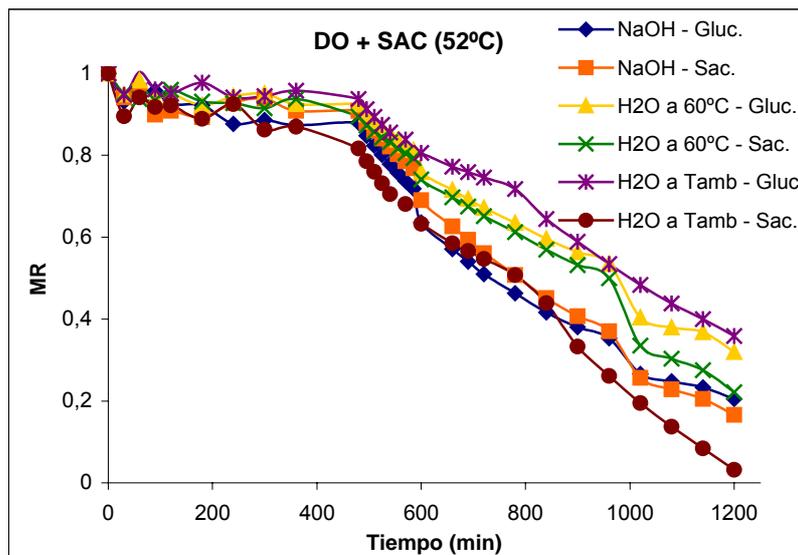


FIGURA 3– Humedad adimensional (MR) durante el proceso combinado DO+SAC para ciruelas sometidas a distintos pretratamientos de lavado y deshidratación por ósmosis, secadas con aire caliente a 52°C.

Para determinar el efecto cuantitativo de las variables de los procesos de DO y SAC (y/o de sus interacciones) sobre MR, se realizó un análisis de varianza (nivel de confianza 95%) cuyos resultados se muestran en las Tablas 1 y 2. Se observó que durante la DO tanto el agente osmótico (AO) como su interacción con el pretratamiento de lavado (AO*PR) resultaron significativos sobre la humedad adimensional. En el SAC, la variable determinante resultó ser la temperatura (T).

Tabla 1– Análisis de varianza del efecto de las variables del proceso sobre la humedad adimensional durante la DO de ciruelas frescas.

Variable dependiente	Variable independiente	gl	F	p
MR	PR	2	0,335	0,717
	AO	1	5,650	0,021
	PRE * AO	2	4,530	0,015
	Error	54		

Tabla 2– Análisis de varianza del efecto de las variables del proceso sobre la humedad adimensional durante el SAC de ciruelas predeshidratadas.

Variable dependiente	Variable independiente	gl	F	p
MR	T	1	19,599	0,000
	PR	2	0,918	0,401
	AO	1	1,822	0,179
	T * PR	2	0,671	0,512
	T * AO	1	0,355	0,552
	PR * AO	2	2,757	0,066
	T * PR * AO	2	0,146	0,865
	Error	204		

6. Conclusiones

Tanto el tipo de agente osmótico como su interacción con el pretratamiento de lavado influyen sobre la humedad adimensional en la deshidratación osmótica de ciruelas President, mientras que la temperatura es la variable fundamental en el secado por aire caliente. La menor humedad final (2,5% b.h.) se obtiene lavando las muestras con agua a temperatura ambiente, usando sacarosa en la deshidratación osmótica y secando con aire a 52°C. Este resultado es importante al extrapolarlo a nivel industrial.

7. Bibliografía

- Cinquanta, L.; Di Matteo, M.; Esti, M. (2002). Physical pre-treatment of plums (*Prunus domestica*). Part 2. Effect on the quality characteristics of different prune cultivars. *Food Chemistry*, 79(2), 233-238.
- Marcotte, M.; Tanguay, M. (2005) Design and scaling-up a continuous osmotic dehydration contactor for small fruits. 3° IADC.
- Paulo, C.I.; Pagano, A.M.; Mascheroni, R.H. (2006) Efecto de las condiciones de deshidratación sobre propiedades fisicoquímicas de manzanas *Granny Smith*. Conference Proc. XXII IACChE (ISSN 1850-3535) and V ACChE (ISSN 1850-3519), 02-084 (341).
- Rodríguez, M.M.; Gori, L.; Mascheroni, R.H.; Pagano, A.M. (2008) Dehydration of european plums (*Prunus domestica* L.) by combined methods. VII BMCFB, Lorena, SP, Brasil.