

Optimización de hornos industriales para deshidratado de ciruelas

URFALINO, D. P.¹; WORLOCK, J.²

RESUMEN

Las ciruelas pasas son producidas mediante deshidratación en túneles. Para lograr que las empresas locales sean competitivas en el mercado externo, se requiere incrementar la cantidad y calidad de materia prima procesada, procurando no modificar las instalaciones existentes ni aumentar excesivamente los costos en la producción. Con el objetivo de optimizar el funcionamiento de las instalaciones y aumentar la capacidad de producción, se diseñaron dos ensayos. En el primero, se compararon dos túneles diferentes funcionando a 78° C y 82° C. En los cuales se determinaron temperatura y humedad alcanzada entre la fruta, temperaturas registradas en los indicadores de los hornos, tiempo de residencia de las ciruelas dentro de los hornos, humedad final, rendimiento y calidad de la pulpa. En el segundo ensayo se monitorearon 8 hornos funcionando a una temperatura fija de 82° C diferenciando calibres (pequeños y grandes). En ellos se evaluaron los parámetros de temperatura y humedad entre la fruta durante el procesado y el tiempo de residencia de las ciruelas dentro de los hornos. En el ensayo 1, las temperaturas máximas entre las ciruelas dentro de los hornos nunca alcanzaron las temperaturas máximas registradas por los indicadores de los hornos. Los tiempos de residencia en los hornos a 78 y 82° C presentaron diferencias estadísticamente significativas. Ese aumento se tradujo en una disminución en el tiempo de residencia. No se observaron diferencias significativas en humedad final, rendimiento y calidad de la pulpa en el producto obtenido. En el ensayo 2, la temperatura máxima promedio entre las ciruelas de calibres pequeños fue 3° C mayor que la de calibres grandes, mientras que la humedad mínima promedio entre las ciruelas de calibres pequeños fue 3% menor que en los grandes. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de residencia según los calibres evaluados. Por lo tanto, trabajar en hornos diferenciando calibres permite aumentar la temperatura en forma controlada acelerando el proceso de deshidratado sin sufrir pérdidas en la calidad.

Palabras clave: ciruelas d'Agen, ciruelas pasas, temperatura, humedad, tiempo de residencia.

ABSTRACT

Prunes are produced by dehydration in drying tunnels. To achieve competitiveness in external markets companies must increase quantity and quality of this raw material processed. This attempting not to modify the existing installations or increasing excessively production costs. With the objective of optimizing the running of the installations and increasing production capacity, two trials were designed. In the first trial two different tunnels working at 78°C and 82°C were compared. In these, temperatures and humidities reached between the fruit, temperatures registered on the oven displays, the time of residence of the plums in the ovens, final humidity, output and pulp quality were determined. In the second trial 8 ovens were controlled working at a

¹INTA EEA Rama Caída. El Vivero S/N. Rama Caída, San Rafael, Mendoza. E-mail: urfalino.delia@inta.gov.ar

²INTA EEA Rama Caída. El Vivero S/N. Rama Caída, San Rafael, Mendoza. E-mail: worlock.jesica@inta.gov.ar

fixed 82°C with 2 different sizes (small and large). In these temperature and humidity parameters between the fruit during processing and the time of residence in the ovens were evaluated. In the first trial the maximum temperatures between plums in the ovens never reached the maximum temperatures registered on the displays. The times of residence in the ovens at 78°C and 82°C showed statistically significant differences. The increase of 78 to 82°C caused a reduction on the time of residence. No significant differences were registered in final humidity, output and pulp quality of the final product obtained. In the second trial the mean maximum temperature between small sized plums was 3°C higher than larger sizes, whilst the minimum mean humidity between small sized plums was 3% lower than large sizes. Statistically different times of residence were observed, depending on the sizes evaluated. Therefore, working with ovens differentiating sizes allows increasing the temperature in a controlled way hastening the process of dehydration without suffering losses in quality.

Keywords: plums d'Agen, prunes, temperature, humidity, time of residence.

INTRODUCCIÓN

Las ciruelas deshidratadas o ciruelas pasas son producidas generalmente mediante la deshidratación en túneles de secado. Las variedades de ciruelas utilizadas con este fin son d'Agen, d'Ente y Stanley. Todas ellas contienen un alto contenido de sólidos solubles y altos niveles de azúcar (Forni *et al.*, 1992; Newman *et al.*, 1996). Estados Unidos es el principal productor mundial de ciruelas pasas. Argentina ocupa el cuarto lugar entre los principales productores, concentrándose casi el 98% de la producción en la provincia de Mendoza (Doreste, 2010). El 90% de la superficie total cultivada con ciruela para industria pertenece a la variedad d'Agen (IDR, 2010).

El destino de las ciruelas deshidratadas es fundamentalmente la exportación, prácticamente no hay consumo interno. Argentina tiene como principales competidores a Estados Unidos (California), Francia y Chile, frente a los cuales presenta desventajas en competitividad y calidad, lo cual no le permite mantener estabilidad en el mercado.

La deshidratación es un proceso complejo que involucra la transferencia simultánea de calor y masa. La cantidad de energía requerida para secar un producto en particular depende de múltiples factores, tales como el contenido de humedad inicial, el contenido de humedad final deseado, la temperatura de secado, la humedad relativa y la velocidad del aire (Karim and Hawlader, 2005). En el caso del deshidratado de ciruelas, el proceso implica la eliminación de humedad hasta llevar a la fruta a un contenido de 18-20% de humedad final, alcanzando el producto una actividad acuosa (a_w) de 0,65-0,68. En este rango de a_w se evitan problemas de desarrollo microbiano, lo cual permite almacenar la fruta largos periodos de tiempo (Newman *et al.*, 1996). El proceso de secado se lleva a cabo normalmente en túneles a gas en los cuales las temperaturas del aire de proceso rondan los 65 a 85° C. El costo de la energía utilizada para este proceso es elevado, constituyendo aproximadamente un cuarto del costo total de producción (Sabarez and Price, 1999), éste depende del diseño del

deshidratador, las condiciones de secado, la clase de combustible utilizado, y del tamaño de la fruta, entre otros factores (Sabarez, 2012).

Para lograr que las empresas locales sean competitivas en el mercado externo, se precisa aumentar la cantidad y calidad de la materia prima procesada sin aumentar excesivamente los costos fijos y variables en la producción.

La cantidad de materia prima procesada en la planta industrial PROA S.A. nunca fue superior a 5.000.000 kg en 45 días de funcionamiento. Se aspiraba elevar en 1.000.000 kg lo procesado durante el mismo intervalo de tiempo sin modificar las instalaciones existentes.

La planta industrial de deshidratado de ciruelas cuenta con un total de 10 hornos con circulación de aire a contracorriente. Cada horno está conformado por 2 túneles que permiten alojar 16 carros cada uno; cada carro tiene una capacidad de carga de 23 bandejas (con un peso promedio por bandeja de 17 kg de ciruelas).

La planta industrial nunca empleó en los hornos de deshidratado temperaturas superiores a 76° C debido a que se temía que al elevar la temperatura el producto se deteriorara.

El objetivo del presente estudio fue optimizar el funcionamiento de las instalaciones existentes con el propósito de aumentar la capacidad de producción, evitando aumentar excesivamente los costos fijos y variables, para lograr una mejor competitividad en el mercado externo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una encuesta para relevar el funcionamiento general de la planta industrial de deshidratado de ciruelas mediante entrevista con el gerente y las encargadas de planta.

El proceso de elaboración de ciruelas deshidratadas realizado por la empresa se detalla a continuación:

Las ciruelas cosechadas se reciben y se almacenan en una playa bajo techo en bines plásticos de aproximadamente 480 kg de capacidad de carga. Seguidamente, se descargan en una lavadora de inmersión para eliminar las impurezas presentes y, posteriormente, pasan a través de una cinta calibradora en la cual se clasifican en dos calibres (pequeñas y grandes). Luego se llenan las bandejas y se colocan en pilas de 23 bandejas sobre estructuras metálicas con ruedas ("carros"), los cuales se ubican sobre rieles para su traslado hacia los hornos.

Para poner en funcionamiento los hornos, los mismos se llenan por completo de carros y se encienden. El carro que se encuentra en la posición 1 (frente a la salida de aire caliente) es el primero en eliminar la cantidad de agua necesaria para su conservación.

Una vez que las ciruelas alcanzan el punto deseado de humedad (determinado cualitativamente por el encargado de los hornos), se retira el carro y se reemplaza, ingresando un nuevo carro en la posición 16. Los carros de fruta ya deshidratada se retiran y se colocan un sector destinado para su oreo. Finalmente, las ciruelas se despegan de las bandejas, colocándose en bines y se ubican en un depósito donde se almacena toda la producción de la temporada para su posterior tiernizado.

De la encuesta realizada surgió que la etapa de deshidratado era el "cuello de botella" del proceso. Las operaciones de recepción, lavado y calibrado se hacían en tiempo y forma, pero posteriormente, la playa se colmaba de carros listos para ser procesados frente a los hornos.

A partir de esa información se diseñaron dos ensayos detallados a continuación.

Materia prima

Para la realización de los ensayos se utilizaron ciruelas variedad d'Agén provenientes de los montes frutales de la empresa PROA S.A. (fincas: San Rafael Arcángel y San Francisco).

Previo al ingreso de la fruta fresca a los hornos, se realizaron 15 determinaciones aleatorias de °Brix por turno (mañana, tarde y noche) con un refractómetro digital Arcano DBR0045nD. En total se realizaron 630 determinaciones de °Brix. Asimismo, se les midió calibre con el objetivo de caracterizar la materia prima. Para ello, se empleó un calibre electrónico digital de 0-150 mm marca Schwyz.

Los ensayos 1 y 2 se llevaron a cabo en hornos industriales (con flujo de aire a contracorriente) durante la temporada de elaboración 2013.

Ensayo 1

Se compararon dos túneles de hornos diferentes funcionando con dos temperaturas distintas empleando ciruelas de calibre pequeño.

En el túnel n.º 2 perteneciente al horno n.º 1 el quemador se fijó a 78° C.

En el túnel n.º 3 perteneciente al horno n.º 2 el quemador se fijó a 82° C.

Se monitorearon 220 carros por túnel ensayado.

Temperatura y humedad durante el procesado

- Cada 10 carros que ingresaron a los hornos se identificaron y se colocaron dos sensores de temperatura/humedad tipo i-button adheridos a las bandejas n.º 2 y 22 manteniendo siempre el mismo orden. Los mismos registraron estos parámetros, entre la fruta, cada 15 minutos durante todo el proceso de deshidratación.
- Se registraron las temperaturas de los indicadores de los hornos cada 30 minutos.

Tiempo de residencia

Se registró la hora de ingreso y egreso de cada carro en ambos túneles para determinar el tiempo de residencia de los mismos dentro del horno.

Caracterización del producto obtenido

- Cada 5 carros por temperatura ensayada se pesaron las ciruelas de la segunda bandeja (de arriba hacia abajo) en fresco y una vez deshidratadas.

A las ciruelas deshidratadas de la 2ª bandeja se les determinó: humedad (método Dean Stark) y rendimiento corregido por el factor humedad.

Por otro lado, se retiró una muestra aleatoria de 1 Kg de ciruelas deshidratadas de todo ese carro. A la misma se le efectuaron las siguientes determinaciones: humedad (método Dean Stark), peso, calibre y se les practicaron cortes a las ciruelas deshidratadas para evaluar si la pulpa se presentaba continua y de coloración uniforme, lo cual indicaría un procesamiento adecuado (en el caso de observarse orificios en la pulpa la temperatura aplicada sería inadecuada).

Ensayo 2

En los ocho hornos restantes (3 al 10) se trabajó con una temperatura fija en los quemadores de 82° C diferenciando calibres (6 hornos utilizaron calibres pequeños y 2 hornos calibres grandes).

Se evaluó el efecto de la temperatura y la humedad en el proceso de deshidratado en función al calibre de ciruelas utilizado.

Temperatura y humedad durante el procesado entre la fruta

- Cada 4 carros que ingresaron a los hornos se identificaron y se colocaron dos sensores de temperatura/humedad tipo i-button adheridos a las bandejas n.º 2 y 22 manteniendo siempre el mismo orden. Los mis-

mos registraron estos parámetros, entre la fruta, cada 15 minutos durante todo el proceso de deshidratación. Los sensores ingresaron 10 veces en cada uno de los túneles (10 repeticiones).

Tiempo de residencia

- Se registró la hora de ingreso y egreso de cada carro en los túneles para determinar el tiempo de residencia de los mismos dentro de los hornos.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron con el software estadístico InfoStat versión 2008.

Se realizaron análisis de varianza para evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre tiempo de residencia, rendimiento y humedad final de las ciruelas deshidratadas obtenidas a 78 y 82° C. Asimismo, se efectuó un análisis de varianza para detectar si había diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de residencia de las ciruelas en función al calibre empleado.

En todos los análisis efectuados se utilizó un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la materia prima

El 75% de los valores medidos se encontró comprendido en el rango de 24±2,6 °Brix. El valor mínimo medido fue de 16 °Brix y el máximo de 29,8 °Brix.

Más del 70% de las muestras evaluadas presentaron calibre pequeño (49-62 unidades de ciruela fresca/kg).

Ensayo 1

Temperatura y humedad durante el procesado

En la figura 1 pueden observarse grandes oscilaciones en las curvas de temperatura tanto en el túnel n.º 2 como en el túnel n.º 3 en los primeros carros monitoreados. A partir del carro 30, habiendo entrado ya los hornos en régimen, los perfiles por carro tienen una marcada tendencia creciente de temperatura a medida que se acercan a la zona de alta temperatura (egreso del túnel), que posteriormente desciende bruscamente al retirar el carro del horno.

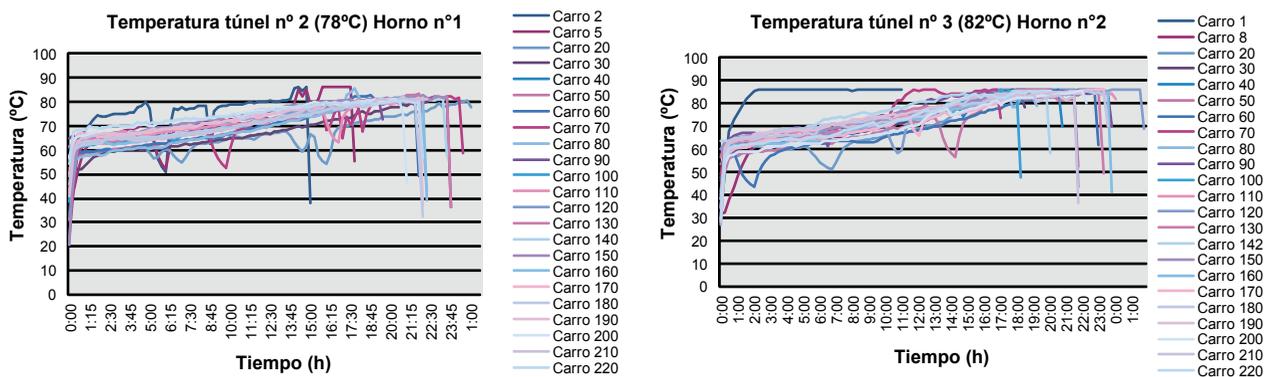


Figura 1. Comparación de temperaturas en los túneles n° 2 y n° 3.

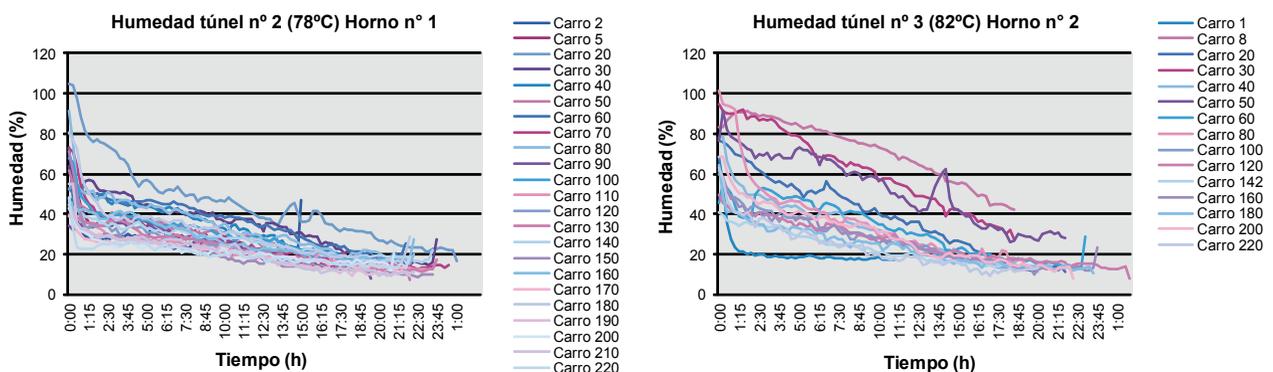


Figura 2. Comparación de humididades en los túneles n° 2 y n° 3.

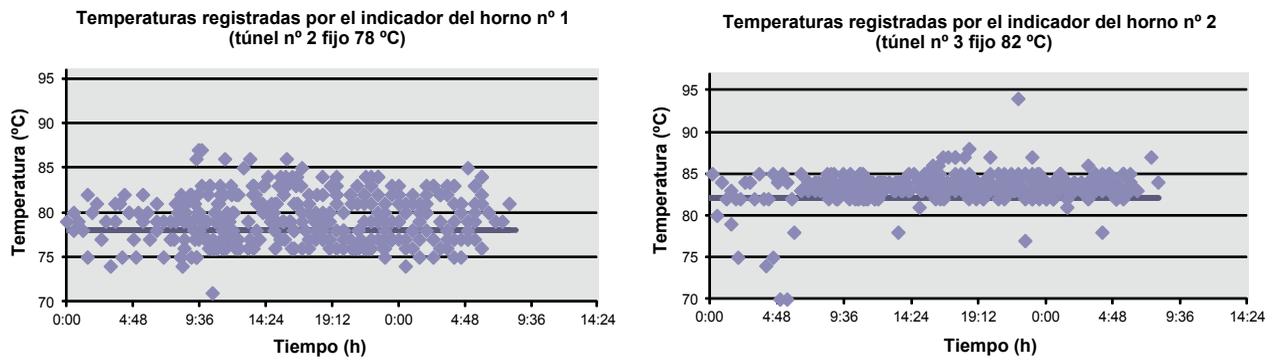


Figura 3. Comparación de las temperaturas registradas por los indicadores de los hornos n° 1 y n° 2.

A su vez, las figuras reflejan la ocurrencia de imprevistos coincidentes con los datos registrados en la planta industrial. En el caso del túnel n.º 3 pueden observarse oscilaciones de temperatura posteriores a la entrada en régimen de los hornos. Esto se debe a los problemas surgidos durante el transcurso del ensayo, los cuales fueron básicamente detenciones del horno de deshidratado por desperfectos mecánicos.

La temperatura máxima promedio entre las ciruelas fue de 81,14° C para el túnel n.º 2 y de 85,81° C para el túnel n.º 3 (es decir que habría una diferencia de 4,67° C).

La humedad mínima promedio entre las ciruelas fue de 14,59% para el túnel n.º 2 y de 15,54% para el túnel n.º 3.

Los parámetros de temperatura y humedad se consideran críticos debido a que para obtener una adecuada cali-

dad de ciruelas deshidratadas, la temperatura no debe superar 90°C y la humedad no debe ser inferior a 10% entre los frutos.

Con respecto a las temperaturas registradas por los indicadores de los quemadores se puede apreciar en la figura 3 que se presentaron mayores oscilaciones en el indicador del túnel n.º 2 (fijado a 78° C) que en el del túnel n.º 3 (fijado a 82° C).

Las máximas temperaturas registradas por los indicadores fueron de 87° C (túnel n.º 2) y de 94°C (túnel n.º 3).

Cabe destacar que las temperaturas máximas entre las ciruelas dentro de los túneles (monitoreadas por los sensores), nunca alcanzaron las temperaturas máximas registradas por las termocuplas de los indicadores.

		Horno n° 1 (78 °C) T n° 2	Horno n° 2 (82 °C) T n° 3	Diferencia (h)	Diferencia (h)
Tiempo de residencia (h)	Promedio en 220 carros	22,15	21,38	0,77	46,2 minutos
	Máximo carros 1-220	33,25	29,92	3,33	3 h 20 min
	Mínimo carros 1-220	13,95	11,09	2,86	2 h 52 min
	Máximo carros 32-220 (en régimen)	29	25	4	4 h
	Mínimo carros 32-220 (en régimen)	19,2	16,93	2,27	2 h 16 min
Rendimiento (Kg de fruta fresca necesaria para obtener 1 kg de ciruelas deshidratadas)	Promedio en 44 muestras	3,16 ± 0,13	3,19 ± 0,1	-	No signif.
Humedad (%)	Promedio en 50 determinaciones	19,7	18,8	Calibres medianos	
	Máxima promedio en 50 determinaciones	30	28	Calibres grandes-medianos	
	Mínima promedio en 50 determinaciones	14	11	Calibres pequeños	
Unidades muestreadas por calibre	Muestreados industria	3	0		
	Muestreados pequeños	34	38		
	Muestreados medianos	13	9		
	Muestreados grandes	1	0		

Tabla 1

Tiempo de residencia

Los tiempos de residencia en los hornos ensayados presentaron diferencias estadísticamente significativas.

El aumento de 4° C de temperatura (de 78 a 82° C), se tradujo en una disminución del tiempo de residencia de los carros dentro del horno de 46,2 minutos (promedio en 220 carros incluyendo carros iniciales) (tabla I). Es probable que esta diferencia de tiempo fuese aún mayor debido a que se registraron múltiples detenciones en el túnel 3 durante el transcurso del ensayo debido a problemas mecánicos.

El tiempo de residencia máximo para los hornos en régimen (a partir del carro 32) fue de 29 horas para el n.º 1 y 25 horas para el n.º 2 (aproximadamente 4 horas de diferencia).

El tiempo de residencia mínimo para los hornos en régimen fue de 19,20 horas para el n.º 1 y de 16,93 horas para el n.º 2 (aproximadamente 2 horas de diferencia).

Caracterización del producto obtenido

La evaluación visual de la pulpa de las ciruelas deshidratadas fue óptima en las muestras procedentes de las dos temperaturas evaluadas.

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre rendimiento y humedad final del producto obtenido a distintas temperaturas (tabla I). Por lo tanto, ambas temperaturas utilizadas (78 y 82° C) se consideran aptas para un correcto procesamiento.

Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en el horno piloto de INTA EEA Rama Caída. En el mismo se han evaluado temperaturas de hasta 85°C sin detectar modificaciones en las variables anteriormente mencionadas (Urfalino & Quiroga, 2011).

Asimismo, en el horno piloto de INTA EEA Rama Caída se han efectuado ensayos posteriores utilizando temperaturas de hasta 90° C sin sufrir deterioros en la calidad de las ciruelas deshidratadas logrando agilizar el proceso de producción. Sin embargo, los resultados todavía no se encuentran publicados.

Ensayo 2

Temperatura y humedad entre la fruta durante el procesado

La temperatura máxima entre las ciruelas de calibres pequeños fue de 86,24° C y en los calibres grandes de 83,81° C (figura 4).

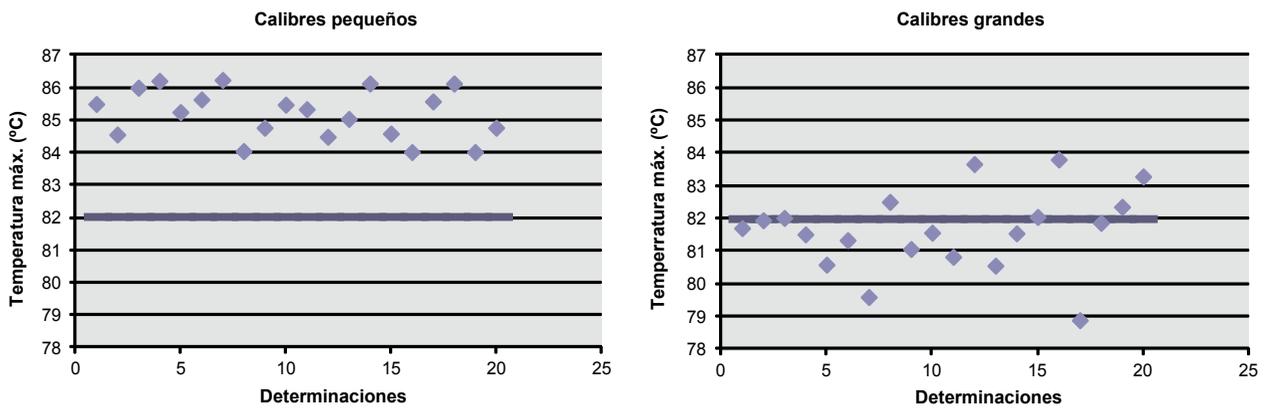


Figura 4. Comparación de temperaturas máximas en calibres pequeños y grandes.

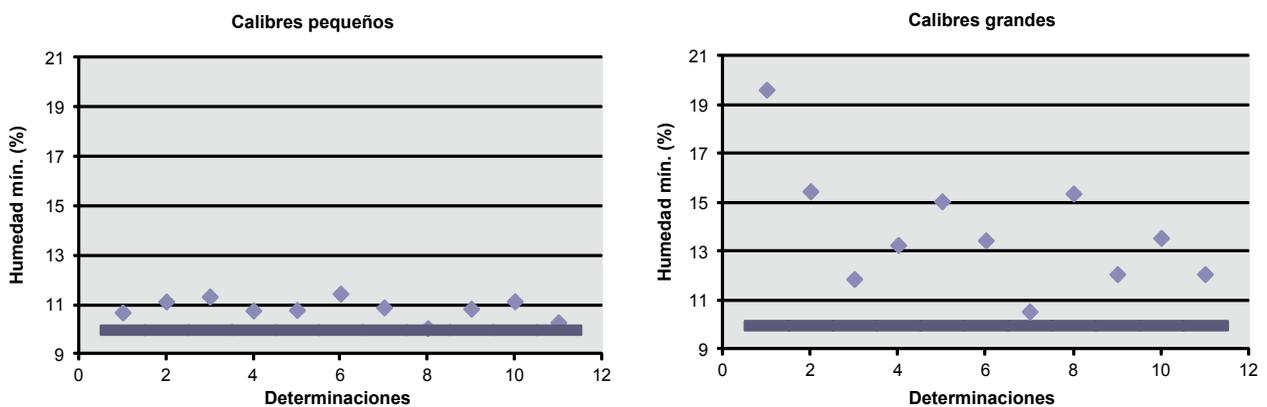


Figura 5. Comparación de humedades mínimas en calibres pequeños y grandes.

La temperatura máxima promedio entre las ciruelas de calibres pequeños fue de 85,19° C y en los calibres grandes de 81,64° C.

Este resultado pone de manifiesto que a pesar de trabajar con la misma temperatura fijada, la temperatura entre la fruta de calibre pequeño es mayor que entre la fruta de calibre grande. Este hecho se correspondería con el mayor contenido de humedad dentro del horno, vinculado al mayor contenido de humedad en la fruta de calibre grande.

La humedad mínima entre las ciruelas de calibres pequeños oscila entre 10 y 12% con un promedio de 10,86%, y en los calibres grandes comprende entre 10 y 20% con un promedio de 13,87% (figura 5). Este resultado comprueba que en los túneles en los cuales se deshidratan ciruelas de calibres grandes existe un contenido mayor de humedad. Esta característica permitiría elevar aún más la temperatura (de manera controlada) sin correr el riesgo de deteriorar la calidad del producto.

Trabajar en hornos diferenciando calibres permitiría continuar aumentando la temperatura en forma progresiva y controlada, hasta que la calidad del producto lo admita.

Tiempo de residencia

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de residencia en horno para calibres pequeños y grandes.

El tiempo de residencia promedio para los túneles que emplearon calibres pequeños fue de 19,45 horas y en el caso los túneles con calibres grandes de 26,04 horas. Se observó una diferencia promedio del orden de 6,59 horas en el tiempo de residencia.

CONCLUSIONES

El aumento de 4° C (de 78 a 82° C) en la temperatura del quemador se tradujo en una disminución del tiempo de residencia de los carros dentro del horno de 46,2 minutos.

Al elevar la temperatura a 78 y 82° C en los hornos de deshidratado no se registraron diferencias en los parámetros evaluados en el producto final (calidad de la pulpa, rendimiento y humedad). Por lo tanto, se aceleró el proceso sin necesidad de efectuar modificaciones en las instalaciones existentes en la planta industrial.

Al comparar calibres pequeños y grandes se observó una diferencia de tiempo de residencia promedio en horno de aproximadamente 7 horas.

La temperatura máxima promedio entre las ciruelas de calibres pequeños fue 3°C mayor que la de calibres grandes, mientras que la humedad mínima promedio entre las

ciruelas de calibres pequeños fue 3% menor que en calibres grandes.

Por lo tanto, trabajar en hornos diferenciando calibres permite aumentar la temperatura fijada en forma controlada acelerando el proceso de deshidratado sin sufrir pérdidas en la calidad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la empresa Productos Andinos S. A. por permitir divulgar el contenido de la presente publicación obtenida dentro del marco del Convenio de Asistencia técnica INTA EEA Rama Caída - Productos Andinos S. A.

Se agradece al Gerente Ing. Esteban Farré y a los encargados de la empresa por su colaboración.

Al Lic. Andrés Quiroga y a Alejandra Martínez de INTA EEA Rama Caída por sus participaciones en los ensayos efectuados y en el análisis de las muestras.

Asimismo se agradece a las pasantes: Stella Gonzalez, Ayelén Varela y Florencia Onaga por su participación en la recolección de datos de los ensayos.

REFERENCIAS

- DORESTE, P. (2010). Informe sectorial N.º 2 Frutas Deshidratadas: Ciruelas. Disponible en línea: www.alimentosargentinos.gov.ar/.../CiruelaDesecada_... (Verificado: octubre de 2013).
- FORNI, E.; ERBA, M.L.; MAESTRELLI, A.; POLESELLO, A. (1992). Sorbitol and free sugar contents in plums. *Food Chemistry* Volume 44, Issue 4, Pages 269–275.
- INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL (IDR). (2010). Ciruela para industria. Censo Frutícola provincial Mendoza – Argentina 2010. Disponible en línea: <http://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2012/07/Informe-Ciruela-Industria.pdf> (Citado 01 octubre de 2013).
- KARIM, M.A.; HAWLADER, M.N.A. (2005). Drying characteristic of banana: theoretical, modeling and experimental validation. *Journal of Food Engineering*, 70:35-45.
- NEWMAN G.M., PRICE W.E., WOLF L.A. (1996). Factors influencing the drying of prunes 1. Effects of temperature upon the kinetics of moisture loss during drying. *Food chemistry*, 57(2):241-244.
- SABAREZ, H.; PRICE, W.E. (1999). A diffusion model for prune dehydration. *Journal of food engineering*, 42:167-172.
- SABAREZ, H.T. (2012). Computational modeling of the transport phenomena occurring during convective drying of prunes. *Journal of food engineering* 111:279-288.
- URFALINO, D.P.; QUIROGA, A. (2011). Deshidratado de ciruela d'Agen: Estudio de perfiles de temperatura. XIII Congreso Argentino CYTAL; Buenos Aires. Universidad Católica Argentina - Sede Puerto Madero. ISBN:978-987-22165-4-2.