



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revencyt
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



Quiébranos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia

Patrimonio del Estado Zulia e
interés Cultural desde 2001

Fecha de Construcción:
1954-1958

Diseño: Arquitecto Carlos Raúl
Villanueva, con elementos
novedosos de adaptación
climática.

Policromía de la obra: Artista
Zuliano Víctor Valera.

Osmotic dehydration process evaluation in the fruit to loss reduction using a fractional factorial desing

L. Landaeta, D. Venegas, P. Hidalgo

Departamento de Procesos Industriales, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile

*Autor contacto: phidalgo@uct.cl

<https://doi.org/10.22209/rt.ve2019a12>

Recepción: 20/06/2019 | Aceptación: 24/10/2019 | Publicación: 01/12/2019

Abstract

In this study is evaluated the process of osmotic dehydration focused on loss reduction of an agro-food company dedicated to the elaboration and commercialization of infused dehydrated fruits. The evaluation of the process was on the washing stage after the dehydration of the fruit. A fractional factorial design was used as a tool and strategy for reduction of the losses. The effect of the fruit flow rate (gr /s), water flow rate (L/h) and the number of passes of the fruit, on the superficial brix were evaluated. The results show the effectiveness of the integration of experimental design techniques in the definition of operational parameters of the process. Of the results obtained the condition that give a brix close to 2.7 °Bx, corresponds to an open sprinkler row (4 sprinklers), fruit flow of 868.747 gr / s, 1054.74 L / h of water flow and 2 passes on the shaker.

Keywords: factorial design; osmotic dehydrated; ° Brix; infused dehydrated fruits.

Evaluación del proceso de deshidratado osmótico en la fruta para la reducción de mermas, utilizando un diseño experimental factorial

Resumen

El propósito de este estudio es evaluar el proceso de deshidratado osmótico para la reducción de mermas de una empresa agroalimentaria de la zona dedicada a la elaboración y comercialización de frutos deshidratados infundidos. En la evaluación del proceso, se determinaron las variables que condicionan la etapa de lavado posterior al deshidratado de la fruta. Utilizando un diseño factorial fraccional 2^x como herramienta de evaluación y disminución de las mermas del proceso de deshidratación osmótica, se analizaron el efecto del caudal de fruta (gr/s), caudal de agua (L/h) y el número de pasadas de la fruta infundida, en el brix superficial. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad que tiene la integración de las técnicas de diseño de experimentos en la definición de parámetros operacionales del proceso productivo. De los resultados obtenidos, la condición que proporciona el brix más cercano al esperado (2,7 °Bx), corresponde a la alternativa que considera una fila de aspersores abiertos (4 aspersores), utilizando un caudal de 868,747 gr/s y 1054,74 L/h de fruta y agua respectivamente y 2 pasadas por el shaker para la reducción de mermas en el proceso.

Palabras clave: diseño factorial; deshidratado osmótico; Brix; frutos deshidratados infundidos.

Introducción

La industria agroalimentaria es la parte de la industria encargada de los procesos relacionados con la cadena alimentaria de origen vegetal, la cual incluye actividades de transporte, recepción, almacenamiento, procesamiento, envasado, conservación de productos, ventas, consumo y eliminación de alimentos. Corresponde a la industria de los procesados agrícolas de carácter alimentario, sean comestibles o bebestibles[1]. Esta industria a nivel mundial desempeña un papel clave en el conjunto de los sectores económicos ya que constituye un gran aporte al desarrollo económico internacional.

Desde el año 2006 al 2014, bajo el concepto de Chile Potencia Agroalimentaria se estableció como objetivo aumentar el ingreso nacional basado en las exportaciones de US \$ 8.000 millones a US \$ 17.000 millones [2].

Al año 2017, las exportaciones chilenas de alimentos sumaron US\$ 15.751 millones, experimentando un alza del 3% en relación al año 2016, emergiendo como uno de los rubros de mayor peso en la canasta exportadora nacional, al representar el 46% de los embarques no cobre. En cuanto a la composición de las exportaciones, un 51% correspondió a alimentos agropecuarios, seguido de un 36% de alimentos del mar y un 13% aportado por el rubro vitivinícola [3]. El principal destino de las exportaciones agrícola fue Asia con una participación de 23,3%, seguido por Estados Unidos con 22,8%. En cuanto a exportaciones de alimentos agropecuarios durante el año 2017, la fruta alcanzó US\$5.910 millones. Donde las uvas y manzanas frescas fueron los principales productos exportados en ese rubro, con envíos por US\$1.207 millones y US\$628 millones, respectivamente[4].

En cuanto a la exportación de berries en Chile, esta ha crecido en promedio 20% anual en la última década, llegando a US\$896 millones el año 2015[5] Chile se ubica como el tercer principal exportador a nivel mundial, detrás de España y Estados Unidos. Respecto a exportaciones de arándanos frescos, Chile es el principal exportador a nivel mundial, mientras en frambuesas congeladas es el segundo[6].

Respecto a la cantidad de productores de arándanos se estima en 2.079, distribuidos entre las regiones de Arica y Parinacota y la de Aysén, concentrándose 71,8% en las regiones del Maule, Ñuble, Biobío y la Araucanía. Estos productores abarcan una superficie total de 9.923 hectáreas a lo largo del país. Respecto a la producción de frambuesa, cifras cercanas a 2.181 productores, lo que correspondiendo a una superficie de 3.178 hectáreas. Tanto la superficie como los productores se concentran en las regiones del Maule, Ñuble, Biobío y la Araucanía[7].

Dentro de las empresas dedicadas a la producción y exportación de berries en Chile se encuentra

Procesos Naturales Vilkun. Empresa localizada en el Fundo Santa Elena, Vilcún, Región de la Araucanía, Chile. Es una empresa enfocada en la producción de infundidos deshidratados a partir de berries. En la actualidad tiene una producción aproximada de 70 toneladas al mes y su principal producto procesado en la planta corresponde al arándano infundido deshidratado, que representa más del 90% del total de fruta exportada por la empresa. Las exportaciones se concentran principalmente en países como Italia, Alemania, China, Reino Unido y Francia.

El proceso de infundido de la fruta es por deshidratación osmótica, proceso que consiste en sumergir la fruta en una solución con una alta presión osmótica, lo cual crea un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el fruto 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 la membrana celular[8]. Posterior a esta etapa, el producto infundido es lavado (enjuague de la fruta por 15 segundos) para la remoción del azúcar superficial por medio de ciclos de enjuague en contracorriente, produciéndose altas pérdidas tanto de volúmenes de agua como de azúcar.

En base a lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar las variables determinantes de la etapa de lavado de la fruta, en función del caudal de fruta (gr/s), caudal de agua (L/h) y el número de pasadas de la fruta infundida por un shaker, para alcanzar el Brix superficial óptimo de 2,7 °Bx utilizando un diseño factorial fraccional 2^x como herramienta de evaluación y disminución de las mermas del proceso de deshidratación osmótica.

Materiales y métodos

Proceso de deshidratación osmótica de la fruta

Las etapas principales del proceso de deshidratado osmótico de la fruta, corresponden a la recepción de materia prima, escarificado para el retiro de la membrana externa de la fruta, deshidratación osmótica, lavado, secado y envasado, de acuerdo a la Figura 1.

2.2 Procedimiento experimental

El diseño factorial fraccional 2^x fue utilizado para evaluar el efecto en el °Brix superficial en función del caudal de fruta (gr/s), caudal de agua (L/h) y el número de pasadas de la fruta por un shaker. El diseño experimental fue evaluado considerando variaciones en la velocidad de impacto del agua sobre la fruta, evaluado en función del número de aspersores abiertos. Los aspersores están ubicados en 3 filas. En cada fila se encuentran 4 aspersores equidistante cada uno de ellos.

El diseño de experimentos de la matriz experimental y los niveles de las variables de diseño se presentan en la Tabla 1 y 2.



Figura 1. Etapas principales del proceso de deshidratado osmótico de la fruta

Tabla 1. Variables independientes y niveles del diseño factorial fraccional

Variables Independientes	Niveles codificados y valores reales		
	-1	0	1
Caudal de fruta (gr/s): X_1	400	800	1200
Caudal de agua (L/h): X_2	0	1000	1700
Número de pasadas: X_3	1	2	3

Análisis estadístico

El diseño factorial fraccional en dos niveles del software Design Expert-7.0 fue utilizado para el análisis de varianza y en la determinación de los coeficientes de regresión en la evaluación de las variables determinantes de la etapa de lavado de la fruta para alcanzar un brix superficial óptimo.

Resultados y discusión

Evaluación del efecto de las variables independiente en el Brix superficial

Se utilizó un diseño factorial fraccional para evaluar la función de respuesta (Brix superficial) en la etapa de lavado. El diseño de la matriz de experimentos y los valores de las funciones de respuesta determinados experimentalmente se muestran en la Tabla 3. El análisis presentan en la Tabla 4. Valores F grandes y valor-P más pequeños, son indicadores de la importancia de la variable de varianza (ANOVA) y los coeficientes de regresión se en el modelo [9]

Tabla 2. Matriz de experimentos del diseño experimental 2^3

Corrida experimental	Caudal fruta (gr/s) X_1	Caudal agua (L/h) X_2	Nº Pasadas X_3
1	1200	0	3
2	1200	0	1
3	400	1700	1
4	1200	1700	3
5	1200	0	3
6	400	0	3
7	800	1000	2
8	400	0	1
9	1200	0	3
10	400	0	3
11	400	0	1
12	400	1700	3
13	800	1000	2
14	400	1700	3
15	800	1000	2
16	1200	1700	3
17	1200	0	1
18	1200	1700	1
19	400	0	3
20	800	1000	2
21	400	0	3
22	400	1700	3
23	400	0	1
24	1200	1700	1
25	1200	1700	1
26	400	1700	1
27	1200	0	1
28	400	1700	3
29	400	1700	1
30	400	1700	1
31	1200	0	1
32	1200	1700	3
33	1200	1700	3
34	400	0	1
35	1200	1700	1
36	1200	0	3

Tabla 3. Brix superficial del diseño de la matriz de experimentos, considerando 3, 2 y 1 filas de aspersores abiertos

°Brix superficial con aspersores abiertos			
Corrida experimental	3 fila (3F)	2 fila (2F)	1 fila (1F)
1	4,4	4,4	4,4
2	4,7	4,7	4,7
3	2,9	2,7	3,4
4	2,5	2,4	2,1
5	4,4	4,4	4,4
6	4,6	4,6	4,6
7	2,7	2,6	2,4
8	4,9	4,9	4,9
9	5,1	5,1	5,1
10	4,6	4,6	4,6
11	4,8	4,8	4,8
12	2,6	2,8	2,4
13	2,7	2,4	2,6
14	2,7	2,2	2,5
15	2,8	2,8	2,7
16	2,1	2,2	2,2
17	4,7	4,7	4,7
18	3,4	2,9	3,5
19	4,3	4,3	4,3
20	2,7	2,5	2,6
21	4,2	4,2	4,2
22	2,8	2,2	2,5
23	4,9	4,9	4,9
24	3,0	2,8	3,3
25	2,9	2,8	3,9
26	3,7	2,7	3,3
27	4,8	4,8	4,8
28	2,8	2,6	2,7
29	3,2	3,1	3,2

30	3,2	3,0	3,7
31	5,3	5,3	5,3
32	2,6	2,0	2,4
33	2,2	2,2	2,2
34	5,0	5,0	5,0
35	3,0	2,8	3,6
36	4,7	4,7	4,7

*La fila tiene 4 aspersores

De acuerdo con el análisis de varianza realizado para evaluar la función de respuesta (Brix superficial) en la etapa de lavado, se encontró que los valores F de los caudales de agua y número de pasadas eran superiores al valor crítico de 4,38. Además, el valor P obtenido fue inferior a 0,05 y, por lo tanto, tienen un efecto significativo sobre el brix superficial con 3 y 1 filas de los aspersores abiertos. En contraste, para 2 filas de aspersores, solo el número de pasadas fue significativo (valor P <0,05) y presentaron un efecto significativo en el brix superficial. Entonces, los valores superiores a 0,05 (valor P) indican que los términos del modelo no son significativos en la respuesta para los rangos evaluados en este estudio.

En base a los resultados del análisis estadístico, los modelos de regresión fueron ajustados y se utilizaron para representar los datos experimentales. Los modelos de regresión ajustados que representan el Brix superficial para 3F, 2F y 1F en términos de variables codificadas significativas (valor P <0,05) corresponden a las siguientes expresiones:

$$^{\circ}\text{Brix}_{1F} = 2,75 + 0,18 \times X_2 - 0,56 \times X_3 \quad (1)$$

$$^{\circ}\text{Brix}_{2F} = 2,59 - 0,26 \cdot X_3 \quad (2)$$

$$^{\circ}\text{Brix}_{3F} = 3,68 - 0,96 \times X_2 - 0,25 \times X_3 \quad (3)$$

Según estos modelos, el caudal del agua y el número de pasadas por el shaker resultaron tener un efecto negativo sobre el Brix superficial. Esto se relaciona con la disminución del Brix superficial con el flujo de agua y el número de pasadas cuando todos los aspersores están abiertos. En cambio, cuando están abierto 2 filas se aspersores, el número de pasadas por el shaker tiene un efecto negativo sobre el Brix superficial. Con una corrida de aspersores abierta, el caudal de agua tiene un efecto positivo en el Brix superficial y el número de pasadas un efecto negativo, por lo que la disminución del Brix superficial está limitada por el número de pasadas de la fruta en el shaker.

Las representaciones gráficas de las ecuaciones de regresión (Ec, 1-3) se muestran en las Figura 2. Los efectos de la interacción flujo de agua y el número de pasadas sobre el Brix superficial para 3F, 2F y 1F se resumen en la Figura 2, Como se muestra en la Tabla 4,

Tabla 4. Coeficientes de regresión y resultados del análisis estadístico.

	3 filas		2 filas		1 filas	
	Coefficiente estimado	Valor F	Coefficiente estimado	Valor F	Coefficiente estimado	Valor F
Modelo		31,15		8,38		43,83
Intercept :X₀	3,68		2,59		2,75	
Caudal de fruta: X1	-0,043	0,41	-0,085	3,07	-0,04	0,77
Caudal de agua: X2	-0,96(*)	201,07	-0,052	0,009	0,18(*)	12,73
Nº pasadas:X3	-0,25(*)	13,11	-0,26(*)	29,46	-0,56(*)	153,92
X₁X₂	-0,089	1,73				
X₁X₃	-0,026	0,0014	-0,048	0,97	-0,13	7,91
X₂X₃	-0,07	0,95				
X1X2X3	-0,061	0,81				
R²	0,89		0,69		0,92	

* Significativo en el nivel p <0,05

estas variables presentaron un efecto significativo en la respuesta, A partir de los resultados de la Fig. 2, se observa que al incrementar en el número de pasadas y del caudal de agua se alcanza el Brix superficial óptimo, cuando todos los aspersores se encuentran abiertos.

Considerando dos corridas de aspersores abiertos, el número de pasadas independiente del caudal de agua, reduce el Brix superficial. Por otro lado, con una corrida de aspersores abiertos, el incremento en el número de pasadas y caudales de agua más bajo reduce el Brix superficial. De acuerdo a los resultados obtenidos, la cantidad de aspersores abiertos, tiene un efecto en la velocidad de impacto del líquido sobre la fruta, reduciendo el Brix superficial. Una mayor velocidad es alcanzada con una corrida de aspersores abiertos en la etapa de lavado.

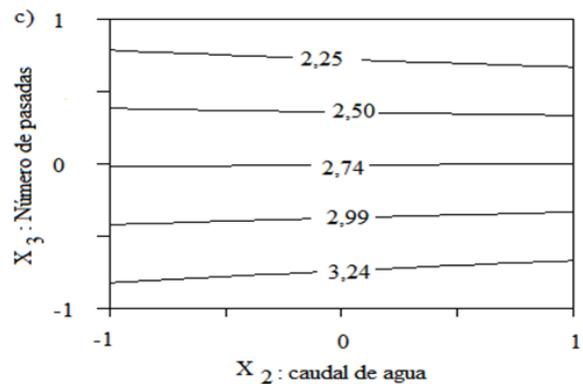
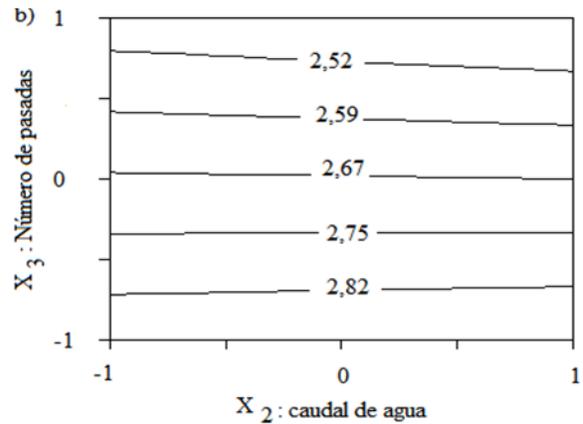
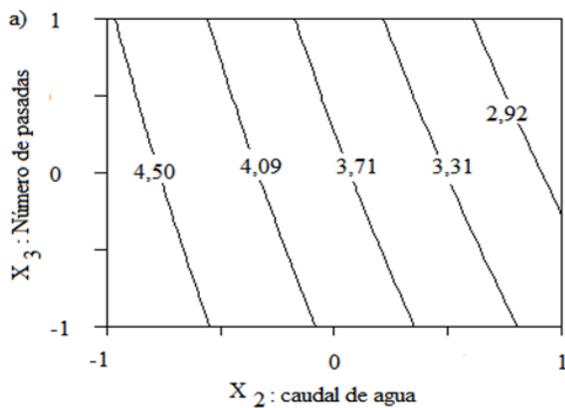


Figura 2. Contorno del brix superficial en función del número de pasadas y el caudal de agua (a) 3F, (b) 2F y (c) 1F

Condiciones óptimas para alcanzar el Brix superficial

Para determinar las condiciones óptimas para alcanzar el Brix superficial, se resolvieron las ecuaciones de regresión (ecuaciones 1-3). Los valores de las funciones de respuesta que para el Brix superficial óptimo y los valores de los parámetros correspondientes se presentan en la Tabla 5 para 3,2 y 1 filas de aspersores abiertos.

De los resultados obtenidos, la condición óptima que proporciona el Brix más cercano al esperado (2,7 °Bx), corresponde a la opción que considera una fila de aspersores abiertos (4 aspersores), utilizando un caudal de fruta de 868,747 gr/s, 1054,74 L/h y 2 pasadas para la reducción de mermas en el proceso de deshidratado osmótico. Al considerar, una fila de aspersores abiertos, la velocidad de impacto del agua sobre la fruta, es mayor.

Tabla 5. Condiciones óptimas para el Brix superficial de la fruta

Filas de aspersores abiertos	Caudal de fruta (gr/s) X_1	Caudal de agua (L/h) X_2	Número de pasadas X_3	Brix superficial
3	1003,38	1498,89	3	2,63
2	977,835	1099,85	2	2,59
1	868,747	1054,74	2	2,65

Conclusiones

En este trabajo presenta las ventajas operacionales que tiene el uso de técnicas de diseño de experimentos para la optimización de un proceso. Mediante el uso de diseños experimentales es posible describir la interacción y relaciones que tienen diferentes factores sobre la respuesta.

En este estudio, se determinaron las variables que condicionan la etapa de lavado posterior al deshidratado de la fruta. Se analizaron el efecto del caudal de fruta (gr/s), caudal de agua (L/h) y el número de pasadas de la fruta infundida, en el brix superficial. De los resultados obtenidos, la condición que proporciona el brix más cercano al esperado (2,7 °Bx), corresponde la etapa de lavado con una fila de aspersores abiertos, bajo un caudal de fruta de 868,747 gr/s, y de agua 1054,74 L/h, considerando 2 pasadas por el shaker.

Por otro lado, con el uso de esta metodología permite evaluar el efecto de las interacciones o curvaturas de los planos de operación sobre la respuesta, encontrándose que el flujo de agua y el número de pasadas tienen un efecto significativo en el brix superficial.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el programa del 2° Concurso de Apoyo a la Investigación de la Facultad de Ingeniería (FDI 012019), Universidad Católica de Temuco, Chile.

Referencias Bibliográficas

- [1] Silva, L., Marin, R.: "Industria agroalimentaria y agroindustria hortofrutícola en Chile hasta 1930: antecedentes para una construcción histórica". *Historia* 396, Vol. 3, N°2, (2016), 351-377.
- [2] Glatz, P.: "Becoming an agri-food super power: Exploring the politicization of the Chilean Food System". <http://lup.lub.lu.se/luur/download?unc=downloadFile&recordId=8908350&fileId=8908353>, (2017).
- [3] ProChile: "Anuario de Exportaciones Chilenas" https://www.prochile.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/anuario_servicios_capitulo1_bienes_2018.pdf, (2018).
- [4] Central, B.: "Indicadores de Comercio exterior cuarto trimestre 2017". <https://www.bcentral.cl/-/indicadores-de-comercio-exterior-cuarto-trimestre-2017>, (2017).
- [5] AGAP: "BOLETÍN N°41, Asociación de gremios productores Agrarios del Perú" <https://www.agapperu.org/wp-content/uploads/2017/01/boletin-agap-41.pdf>, (2016).
- [6] ProChile: "Mercado de Arándanos en Estados Unidos 2015 / Oficina Comercial en Washington, DC". https://www.prochile.gob.cl/wp-content/files_mf/1442319618FMP_EEUU_Arandanos_2015.pdf, (2015).
- [7] ODEPA: "Estudio estándar de sustentabilidad para la producción de berries en Chile". <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/estudioBerries2018.pdf>, (2018).
- [8] Panagiotou, N., Karathanos, V., Maroulis, Z.: "Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits". *Drying Tech.*, Vol. 17, N° 1-2 (1999), 175-189.
- [9] Forsdyke, K., Starr, T.F.: "Thermoset Resins: Market Report 2002", United Kingdom: Smithers Rapra Technology, (2002).



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen Especial, 2019, No. 1, pp. 154 - 262_____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2019, por el **Fondo Editorial Serbiluz, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela***

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientificaluz.org