

INFLUENCIA DE PRE TRATAMIENTOS CONVENCIONALES EN EL PROCESO DE SECADO DE MANZANA Y EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PRODUCTO FINAL

Baque, Marcos; Macías, Braulio; Cornejo, Fabiola.
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Campus Gustavo Galindo Km 30,5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de diferentes pre-tratamientos como deshidratación osmótica, escaldado y uso de antioxidantes sobre las características físicas, la vida útil y la cinética de secado de la manzana.

Una vez aplicados los diferentes pre-tratamientos, las muestras fueron secadas a temperatura y velocidad constantes. Se obtuvieron las isotermas de absorción y las monocapas de las diferentes muestras. Las muestras sin tratar alcanzaron el valor mayor de monocapa, el cual se encuentra directamente relacionado con la vida útil de productos secos.

Además, se analizaron las diferentes curvas de secado y los coeficientes de difusividad para los diferentes pre-tratamientos. Las muestras tratadas con metabisulfito alcanzaron los coeficientes de difusividad y velocidad de secado más altos.

Para finalizar este estudio, se determinó la vida útil de las muestras utilizando el método propuesto por Theodore P. Labuza. Con esto, se comprobó que las muestras naturales fueron las que alcanzaron mayor tiempo de vida útil.

Todos los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un diseño experimental con un nivel de significancia del 95%.

Palabras claves: secado, deshidratación osmótica, antioxidantes.

Abstract

The Aim of this study was to evaluate the influence of different pretreatments such as osmotic dehydration, blanching and use of antioxidants on physical characteristics, shelf life and the kinetics of dried apple.

After applying the various pretreatments, the samples were dried at constant temperature and relative humidity. Then, adsorption isotherms and their respective values of monolayer were obtained. The untreated samples reached the highest value of monolayer, which is directly related to the shelf life of dried products.

In addition, we analyzed the different drying curves and diffusivity coefficients for the different pretreatments. Metabisulfite treated samples reached the highest diffusivity coefficients and drying rates.

To complete this study, the samples shelf life was determined using the method proposed by Theodore P. Labuza. With this, it was found that untreated samples reached longer shelf life.

All results were analyzed statistically using a design of experiments with a significance level of 95%.

1. Introducción

El secado es uno de los métodos más antiguos aplicados en la conservación de alimentos. El objetivo principal de este, consiste en eliminar el agua del alimento, por lo tanto reduce la actividad de agua (A_w) del mismo e inhibe el crecimiento microbiano y la actividad enzimática. El secado de una fruta cambia completamente su carácter, ya que disminuye su valor nutricional y organoléptico. Así, se pueden producir pérdidas de color. En la actualidad el desarrollo y aplicación de tratamientos preliminares al secado se hace indispensable en la búsqueda de frutas más competitivas a nivel internacional. La selección del tratamiento más conveniente es compleja, ya que no solo habrá que considerar cual de estos favorece la cinética del secado y da como resultado un fruto de mayor calidad con características organolépticas y nutritivas deseables, sino también cual influye en mayor o menor grado sobre la estabilidad en percha del producto final. El desarrollo de este estudio tiene como objetivo establecer si los pretratamientos aplicados al proceso de secado producen cambios estructurales que afectan las características organolépticas y vida útil de los productos deshidratados, de esta manera determinar los parámetros más adecuados para obtener productos de alta calidad y competitivos en el mercado. Adicionalmente se desea analizar el efecto de pretratamientos convencionales (deshidratación osmótica, uso de metabisulfitos y escaldado) en la cinética de secado utilizando el modelo de transferencia molecular de masa de Fick.

2. Materiales y Métodos

Materiales

Se utilizó una de las variedades de Manzana más comercializadas en el Ecuador *Red Delicious*. Con un grado de madurez del día 4 (1).

Métodos

Caracterización fisicoquímica.

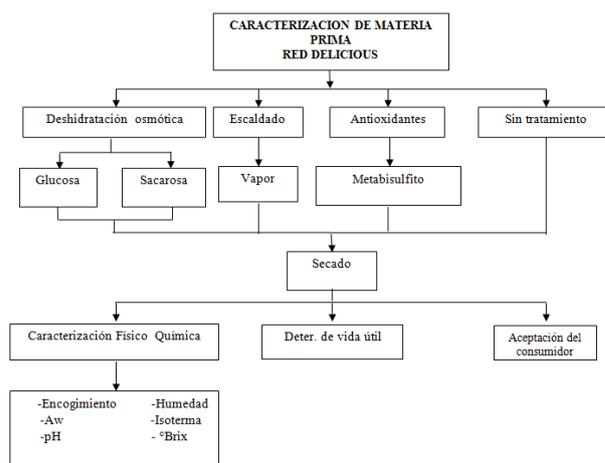
Se midió la humedad según el método oficial 22.021(A.O.A.C.). Los sólidos solubles se determinaron midiendo el índice de refracción de las muestras en un refractómetro 31.009 (A.O.A.C.). La actividad de agua se determinó según el método oficial 32.005 (A.O.A.C.) (2). Además se midió el pH mediante un potenciómetro y el encogimiento de la manzana a la salida del secador utilizando un calibrador vernier. Los datos fisicoquímicos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características Fisicoquímicas.

Color	Rojo Día 4
A_w	0,993 +/- 0,005
H (%)	86,30 +/- 1,739
Sólidos Solubles 0 Brix	13,60 +/- 0,597
pH	4,78 +/- 0,309

Procedimiento

Figura 1. Esquema experimental realizado



Procedimiento general para la deshidratación de la manzana.

La Deshidratación Osmótica se realizó con dos agentes osmóticos, Sacarosa y Glucosa a 60° Brix (3).

Previo a este proceso, las muestras de manzana fueron cortadas en forma de prisma con dimensiones de 4cm x 1cm x 1cm. La relación empleada fruta-agente osmótico fue de 4:1 y el proceso fue monitoreado considerando el peso, humedad, A_w y grados Brix hasta su finalización en 5h (4). Las pruebas fueron realizadas por quintuplicado.

Metodología del Escaldado

La Manzana es una fruta que se pardea con mucha facilidad, por esta razón, las muestras fueron sometidas a este tratamiento con el fin de inhibir la enzima polifenoloxidasas. Este proceso se lo llevó a cabo mediante inmersión en agua a 100 °C. El tiempo óptimo de escaldado fue de 1 minuto con 15 segundos y fue determinado mediante la prueba de la peroxidada.

Metodología del proceso de Agentes Antioxidantes.

El agente antioxidante escogido para el desarrollo de este tratamiento fue metabisulfito. Según estudios realizados por Chávez y Avanza (2006), la concentración adecuada de metabisulfito para evitar reacciones de oxidación posterior al pelado de las manzanas es de 0,05% de metabisulfito. Las muestras fueron expuestas a estas soluciones por 3 minutos previos al proceso de secado (5).

Metodología del Proceso de Secado.

Una vez finalizados los diferentes pre-tratamientos se procedió a realizar el proceso de secado. Este se realizó a una temperatura de 50 +/- 2 C y una humedad relativa de 68 +/- 2 C (5). Se monitoreó el peso de las muestras hasta alcanzar peso constante (6).

Se utilizó el secador de flujo circulante localizado en el Laboratorio de Termofluidos de La Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción. Una vez terminado el proceso, se determinaron porcentajes de encogimiento, Aw y Humedad. Las pruebas fueron realizadas por quintuplicado.

Con los datos obtenidos se graficaron las respectivas curvas de secado.

Determinación de estabilidad de productos secos.

Una vez finalizado el proceso de secado se realizaron las pruebas para determinar la estabilidad en percha de los diferentes productos. Primero, se determinó la humedad crítica de la manzana seca, para esto, las muestras fueron expuestas a vapor durante diferentes tiempos, a fin de aumentar la humedad de las mismas hasta que se consideren organolépticamente inaceptables según una escala hedónica de cinco puntos con cinco panelistas semientrenados y analizados estadísticamente, con un grado de significancia del 95%.

Posteriormente, se calculó la densidad de las muestras a fin de determinar la masa que estas ocuparan en el área

del empaque; también se obtuvo la Humedad Inicial y Humedad en Equilibrio de los diferentes pre-tratamientos empleando sus isotermas.

Una vez obtenidos estos datos se procedió a calcular la vida útil de las diferentes muestras mediante el método de Labuza.Ec1. Ec2.

$$\Theta_c = \frac{\ln \tau c}{(k/x) * (A/Ws) * (Po/b)} \quad \text{Ec1.}$$

$$\ln \tau = \ln \frac{me - mi}{me - m} \quad \text{Ec2.}$$

Humedad Crítica

Con el fin de obtener la humedad crítica de las diferentes muestras, se desarrolló una prueba hedónica, la cual busca evaluar la apariencia de las muestras cuando han sido sometidas a vapor durante un tiempo determinado, a fin de determinar la humedad a la cual las muestras se consideran organolépticamente inaceptables.

Diseño Experimental.

Para la elaboración del diseño experimental y el análisis de los datos obtenidos se empleó el software para análisis estadístico Minitab.

El modelo empleado que se ajustó a la experimentación fue un diseño de un solo factor completamente aleatorizado y como herramienta de análisis se empleó Anova de un solo factor.

Las variables de respuestas utilizadas fueron vida útil, encogimiento, humedad crítica, coeficientes de difusividad en periodo constante y en periodo decreciente. En total fueron 5 los experimentos que se llevaron a cabo, en los cuales se mantuvo constante los niveles del factor, modificando únicamente la variable de respuesta según sea el caso. El nivel de significancia seleccionado para todas las pruebas fue del 95% (P=0,05).

Una vez realizado el diseño experimental se analizan los valores P y R de la tabla de análisis de varianza.

Para una mejor interpretación de los resultados, se obtienen graficas de residuos cuatro en uno, de cajas de datos y de valores individuales.

Si el P obtenido es menor o igual que el P seleccionado, se concluye que las medias de uno o más pre-tratamientos son significativamente diferentes y que

existe influencia significativa del pre-tratamiento sobre la variable de respuesta. Caso contrario, se afirma que no existe influencia alguna de los pre-tratamientos sobre la variable de respuesta. Por otro lado los valores R, indican la precisión con la que el modelo se ajusta a los datos.

Si el p obtenido es menor o igual que 0,05, se concluye que las medias de uno o más pre-tratamientos son significativamente diferentes y que existe influencia significativa del pre-tratamiento sobre las variables de respuesta mencionadas anteriormente.

Adicionalmente se comprobó que el modelo cumpliera los supuestos de normalidad del error, homogeneidad de la varianza e independencia del error para la validación del mismo.

Una vez validado el modelo se realizaron comparaciones múltiples entre los pre-tratamientos utilizando la herramienta de diferencia significativa mínima de Fisher, a fin de determinar cual pre-tratamiento tiene mayor efecto sobre la variable de respuesta, y cuales tiene similar efecto sobre la misma.

3. RESULTADOS

Cinética de Deshidratación Osmótica.

Los tiempos para alcanzar el 50% de reducción de peso del producto en la solución de sacarosa y glucosa fueron, 240 min y 300 min respectivamente (7).

Los factores que influyen principalmente en la velocidad de deshidratación son el tipo de agente osmótico y la relación soluto-alimento, su solubilidad y su capacidad depresora de la actividad de agua. Un soluto de mayor peso molecular como la sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) favorece la pérdida de agua en desmedro de la ganancia de sólidos, mientras que un soluto de bajo peso molecular como la glucosa ($C_6H_{12}O_6$) favorece la ganancia de sólidos con una consecuente menor pérdida de agua(8).

Otros factores preponderantes en la velocidad de deshidratación osmótica son el tamaño de las muestras y las características intrínsecas del alimento como: el grado de compactación del tejido, el espacio intercelular y la alta porosidad de la manzana.

Una vez obtenidos los coeficientes de transferencia de agua (Kw) y del sólido (Ks), se seleccionó el agente osmótico (sacarosa) como el más idoneo para la deshidratación osmótica previo al secado, ya que al poseer el Kw más alto y Ks más bajo (TABLA 2) permite que haya mayor salida de agua del alimento y una menor entrada de sólidos.

Tabla2. Coeficientes de transferencia de Agua y de Sólidos

	<i>Kw</i>	<i>Ks</i>
Glucosa	0.0360	0,0252
Sacarosa	0.0413	0,0235

Efecto de los pre-tratamientos en la capacidad de absorción de agua de la manzana deshidratada.

Con la finalidad de analizar los diferentes pre-tratamientos luego del secado, se elaboraron las isotermas de absorción tanto para las muestras sin tratamiento, como para aquellas sometidas a los diferentes pre-tratamientos.

Tabla3. Contenido de humedades en las diferentes monocapas.

Pre-tratamiento	Contenido de humedad de la monocapa (g H₂O/100 g ss.)
Sin Tratamiento	0,19
D.O. Glucosa	0,17
Escaldado vapor	0,15
D.O. Sacarosa	0,13
Metabisulfito	0,10

Analizando la tabla 3 se puede observar que las muestras de manzana natural seca presentan el contenido de humedad de la monocapa mayor (0.19 g H₂ O/100 g ss), debido a que las uniones de agua, puentes de hidrógeno, no se ven distorsionadas, al no ser sometidas a ningún tipo de pre-tratamiento. Conjuntamente la manzana natural contiene azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa las cuales fijan fuertemente el agua a la matriz del alimento.

Las muestras tratadas con glucosa presentan el segundo valor de monocapa más alto (0.17 g H₂O/100 g ss.), esto

se debe a que la glucosa fija más fuertemente el agua al permitir el ingreso de sólidos en mayor cantidad a los espacios intercelulares de la manzana durante la deshidratación osmótica.

Consecutivamente, las muestras tratadas con escaldado poseen un valor de monocapa menor (0.15 g H₂O/100 g ss.), esto de debe a que este pre-tratamiento modifica la microestructura del alimento, aumentando la amplitud de los espacios intercelulares y la porosidad de la manzana, lo que implica una mayor fuga de agua durante el secado y una consecuente disminución del agua ligada.

Las muestras deshidratadas osmóticamente con sacarosa muestran un valor de monocapa aún inferior (0.13 g H₂O/100 g ss.), puesto que la sacarosa no liga el agua tan fuertemente como la glucosa, por lo tanto, permite una mayor salida de agua. Adicionalmente, la pectina contenida en la manzana, reacciona con la sacarosa formando geles, haciendo el agua de la manzana menos ligada (9).

Por último, las muestras tratadas con metabisulfito muestran el valor de monocapa inferior (0.10 H₂O/100 g ss.), debido a que el antioxidante al interactuar con la manzana forma uniones Van Der Waals, las cuales son débiles, permitiendo mayor migración de agua en comparación con los demás pre-tratamientos (9).

Efecto de los pre-tratamientos en la cinética de secado de la manzana.

Con el objeto de conocer la influencia de los diferentes tratamientos previos al secado convencional, se graficaron curvas de velocidad de secado vs humedad libre para cada una de las muestras; aquellas naturales o sin pre-tratamiento y aquellas sometidas a pre-tratamientos.

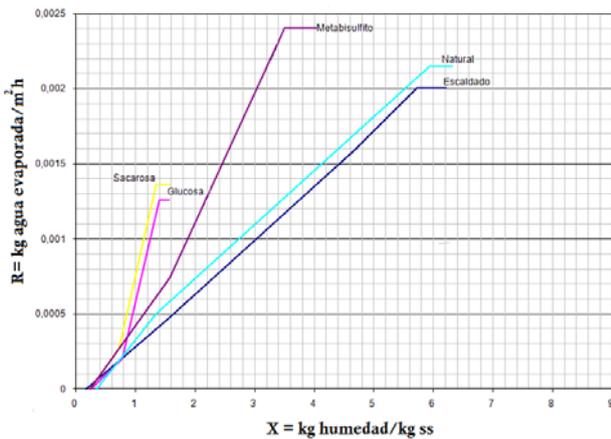


Fig. 3. Análisis de Curvas de Secado

Teniendo en cuenta que el agua libre se encuentra disponible para ser removida durante el periodo de

secado se obtuvo que: Las muestras deshidratadas osmóticamente presentan las tasas más bajas de velocidad de secado debido al efecto ligante de agua que ejercen los agentes osmóticos y a la formación de una capa superficial de azúcar.

Por el contrario, el metabisulfito tiene la mayor velocidad de secado debido a la formación de uniones tipo Van Der Waals con el agua presente en la fruta, que son uniones débiles y fáciles de romper facilitando la salida del agua libre de la superficie de la fruta (9).

Debido a la alta temperatura de escaldado los poros de la fruta se dilatan, sin embargo al ser enfriadas las muestras se produce un choque térmico que provoca una pequeña contracción de los poros lo que disminuye ligeramente la velocidad de secado con relación a las muestras naturales en las que no se altera la estructura original de la fruta.

Difusividades durante el secado

La manzana tratada con metabisulfito alcanzó los valores máximos de difusividad en los periodos de velocidad constante y decreciente. Sin embargo, la glucosa y la sacarosa alcanzaron los valores mínimos, esta baja significativa de los coeficientes de difusividad puede ser atribuida a la capa de azúcares saturadas formada sobre la superficie de la fruta y al incremento de sólidos ganados durante la deshidratación osmótica que incrementa la fuerza de fijación del agua en la manzana. Por otro lado, las muestras sin tratar y las tratadas con escaldado presentan coeficientes de difusividad similares, esto se atribuye a la no alteración de la microestructura en el caso de la manzana sin ningún tratamiento, y en el escaldado a la acción del calor, el cual modifica la porosidad de la manzana e incrementa simultáneamente el coeficiente de difusividad.

Tabla4. Coeficientes de difusividad

Tratamiento	Periodo Constante	Desviación Estándar	Periodo Decreciente	Desviación Estándar
Metabisulfito	0.0250	+/- 0.0080	0.0117	+/- 0.0003
Natural	0.0123	+/- 0.0027	0.0074	+/- 0.0011
Escaldado	0.0095	+/- 0.00028	0.0070	+/- 0.0004
Sacarosa	0.0036	+/- 0.0004	0.0019	+/- 0.0002
Glucosa	0.0027	+/- 0.0003	0.0017	+/- 0.0002

Efecto de los pre-tratamientos en las características físicas y sensoriales de la manzana deshidratada.

El cambio físico más notable que sufren los productos secos es el encogimiento.

Tabla4. Encogimientos promedios

Metabisulfito	71.38%	+/- 0.055
Escaldado	58,33%	+/-0.159
Natural	53,71%	+/-0.085
Sacarosa	32.11%	+/- 0.042
Glucosa	25.94%	+/- 0.080

Las muestras que presentaron menor encogimiento fueron las deshidratadas osmóticamente con sacarosa y glucosa, esto se debe a que durante este proceso existe una alta reducción del contenido de agua y de la porosidad de la manzana con un consecuente encogimiento. Adicionalmente la presencia de azúcares fija el agua más fuertemente lo que hace que la remoción del agua durante el secado sea más difícil y se minimice el encogimiento.

Las muestras que presentaron el mayor encogimiento fueron las de metabisulfito y escaldado. En el caso del escaldado existe una alteración de la estructura del alimento, en la cual se modifican los espacios intercelulares y la porosidad de la manzana, lo que produce un aumento en la cantidad de agua eliminada durante el secado, maximizando el encogimiento.

En el caso del metabisulfito, se debe a que este promueve la formación de uniones débiles Van Der Waals con las moléculas de agua, facilitando la migración de agua durante el secado y aumentando el encogimiento (9).

Finalmente, las muestras que no fueron sometidas a ningún pre-tratamiento presentan un mediano encogimiento, lo cual se debe a que al no modificar la microestructura de la manzana, la cantidad de agua libre a eliminar durante el secado no es tan elevada y por lo tanto el encogimiento es mesurado.

Efecto de los pre-tratamientos en la estabilidad de la pina deshidratada.

Utilizando las Ec. 1 y 2 se calculó la vida útil del producto, se pudo comprobar que está guarda una estrecha relación con el valor de las monocapas, ya que a mayor monocapa, la vida útil aumenta, y viceversa.

Según la tabla 5, las muestras naturales alcanzan el mayor tiempo de vida útil y por consecuente mayor estabilidad. Los tratamientos con glucosa y escaldado presentan valores de vida útil ligeramente inferiores. Opuestamente las muestras tratadas con metabisulfito exhiben el menor tiempo de vida útil. El pre-tratamiento con sacarosa muestra un tiempo de vida útil medianamente mayor que el de metabisulfito.

Tabla5. Vida Útil de los distintos pre-tratamientos

Tratamiento	Vida útil	Desviación Estándar
Natural	3,35 meses	+/- 0,419
Glucosa	3,21 meses	+/- 0,313
Sacarosa	2,04 meses	+/- 0,146
Escaldado	3,05 meses	+/- 0,246
Metabisulfito	1,57 meses	+/- 0,221

Conclusiones

Se comprobó que el uso de tratamientos preliminares al secado disminuye el tiempo de vida útil en menor o mayor medida, según sea el caso. Así la vida útil disminuyó ligeramente en un 5 % con la aplicación de deshidratación osmótica con glucosa como pre-tratamiento, mientras que se redujo drásticamente con el empleo de metabisulfitos en un 53 %.

En general la deshidratación osmótica ofrece productos de buena calidad organoléptica y mediana estabilidad. En el caso de la glucosa, esta alcanzó un mayor tiempo de vida útil que la sacarosa debido a una mayor impregnación de sólidos y por lo tanto, una mejor fijación del agua a la matriz de la manzana. Por otro lado, las muestras deshidratadas osmóticamente con sacarosa se consideran organolépticamente mejores que aquellas tratadas con glucosa.

Se comprobó que el uso de metabisulfitos como tratamiento previo incrementa notablemente la velocidad de secado al aumentar y facilitar la remoción de agua libre en la manzana, debido a la formación de uniones débiles Van der Waals. Sin embargo, el producto final resultante presenta un sabor desagradable por lo que se considera organolépticamente inaceptable.

Se comprobó que el uso de calor como pre-tratamiento en el escaldado disminuye también las características organolépticas del producto final. La matriz inicial de la fruta se ve afectada, lo cual provoca que haya una mayor pérdida de sustancias volátiles y consecuentemente, una disminución en la calidad sensorial y nutricional del producto final.

Agradecimiento

A la Ms.c. Fabiola Cornejo por su invaluable ayuda, a la Escuela Superior Politécnica y al Programa de Ingeniería de Alimentos.

Bibliografía y Referencias

- [1] Berger, H. 2004. "Cosecha, índices de madurez y manejo de frutas y hortalizas". Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.
- [2] Association of Official Analytical Chemists.1980. Thirteenth edition. Printed and bound by George Banta Company, Inc. pp. 363,507,537,547. Menasha, Wisconsin.
- [3] Bolin, H.R. & Huxsoll. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. J. Food Sci. 48, pp 202-205.
- [4] Fernandes, F.A.N., Rodriguez, S., Gaspareto, O.C.P.,& Oliveira, E.L. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. Food Research International, 39, 492-498.
- [5] Chavez Maria G- Avanza J.R. 2006. Evaluación de pretratamientos en el secado convectivo de berenjenas. Universidad Nacional del Nordeste Comunicaciones Cientificas y Tecnologicas. pp 1-4.
- [6] Mauro, M.A., E. Shigematsu, N.M. Eik, M. Kimura. Osmotic dehydration and air-drying kinetics of star fruit(Averrhoa Carambola L). Sao Paulo State University.
- [7] Ponting, J.D., Watters G.G., Forrey RR. Jackson R, Stanley W.L. 1966. Osmotic dehydration of fruits. Food Technol. 20: 125-128.
- [8] Raoult-Wack, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science & Technology. 20:125-128.
- [9] Fennema, O.R., Ed. 1985. Food chemistry. Second edition, revisado y expandido. New York: Marcell Dekker, inc. pp. 46-50.