

EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS A PARTIR DE SUBPRODUCTOS VEGETALES DEL SECTOR AGROALIMENTARIO DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Gutiérrez Robles Martín Eduardo (1), Franco Ramírez Alejandra Cecilia (1), Cerón García Abel (2), Abraham Juárez Ma. del Rosario (2), Ozuna César (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [me.gutierrezrobles@hotmail.com]

2 [Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [cesar.ozuna@ugto.mx]

Resumen

Actualmente, la recuperación de compuestos bioactivos a partir de subproductos vegetales es un tema de gran interés. En esta investigación se utilizaron hojas externas de brócoli, coliflor y col, las cuales fueron secadas mediante dos métodos: liofilización, SL (-40°C) y secado por aire caliente, SAC (30, 40 y 60°C). Las cinéticas de SAC fueron modeladas empleando un modelo difusivo para una geometría laminar. La bondad de los ajustes del modelo se evaluó a través del cálculo del porcentaje de la varianza explicada. Posterior al proceso de secado (SL y SAC), se determinó la cantidad de compuestos fenólicos, flavonoides y clorofila total presentes en las muestras. En el SAC, el incremento de la temperatura redujo el tiempo de secado. Los valores de difusividad también fueron mayores al aumentar la temperatura durante el SAC, estos valores oscilaron entre 0.36 y $9.17 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. En las muestras analizadas, el SAC a 60°C logró igualar y en algunos casos maximizar el contenido final de compuestos fenólicos, flavonoides y clorofila total respecto a aquellas tratadas por SL. Por lo tanto, el SAC representa un método económico y eficaz para deshidratar subproductos vegetales previo a la extracción de compuestos bioactivos.

Abstract

The recovery of bioactive compounds from plant products is nowadays a subject of great interest. In this study, outer leaves of broccoli, cauliflower and cabbage were dried by two methods: freeze-drying (also known as lyophilization), FD (-40°C) on the one hand and hot air drying, HAD (30, 40 and 60°C) on the other. HAD kinetics were modeled, using a diffusive model for laminar geometry. The goodness of fit of the model was evaluated by calculating the percentage of explained variance. Posterior to the drying process (FD and HAD), the amounts of phenolic compounds, flavonoids and total chlorophyll present in the samples were determined. As for HAD, the increase in temperature reduced the drying time. Diffusivity values also grew with increasing temperature during HAD, ranging from 0.36 to $9.17 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. In the samples tested, HAD at 60°C yielded a phenolic, flavonoid and total chlorophyll content that was equal and in some cases higher than in samples treated by FD. Therefore, HAD represents an economic and efficient method for dehydrating vegetable by-products prior to the extraction of bioactive compounds.

Palabras clave

Brassica, liofilización, secado por aire caliente, modelo difusivo, compuestos bioactivos.

INTRODUCCIÓN

La industria agroalimentaria es uno de los sectores económicos estratégicos del Estado de Guanajuato. Sin embargo, esta industria produce una gran cantidad de subproductos, los cuales representan una fuente de contaminación. Por tal motivo, la recuperación de compuestos bioactivos a partir de subproductos de este sector es, hoy en día, uno de los temas con mayor importancia en la Ciencia y Tecnología de los Alimentos [1].

Unos de los principales subproductos del sector agroalimentario son los tejidos y hojas que rodean a las frutas y verduras. A pesar de que no se aprovechan, estas partes de los vegetales poseen contenidos de compuestos bioactivos similares o aún más altos que los propios frutos [2].

De acuerdo a diversos estudios, una alimentación rica en verduras del género de las *Brassicaceae* (brócoli, col, coliflor, coles de Bruselas, entre otras), puede contribuir a la reducción de padecimientos relacionados con el cáncer [3]. Esto es debido a que dicha familia de vegetales es rica en compuestos antioxidantes, fenólicos, flavonoides, glucosinolatos y vitamina C. Sin embargo, la cantidad de estos compuestos depende de diversos factores, tales como la variedad, la genética, el estado de madurez y la parte de la planta, la composición del suelo, las condiciones del cultivo y finalmente el procesamiento al que son sometidos estos vegetales previamente a su consumo [4].

En este sentido, la temperatura de secado puede afectar significativamente la calidad física, organoléptica y nutritiva de los productos que son deshidratados. El secado por aire caliente puede producir la oxidación y degradación de ciertos compuestos bioactivos en frutas y vegetales. Por otro lado, la liofilización, debido a las bajas temperaturas que emplea, es un método de secado ampliamente recomendado para preservar la calidad y el contenido nutricional de los alimentos [5].

Por tal motivo, el objetivo general de este trabajo fue estudiar el efecto de la temperatura de secado en el contenido final de compuestos bioactivos en las hojas externas de brócoli, coliflor y col, las cuales representan unos de los principales subproductos del sector agroalimentario del Estado de Guanajuato.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Las hojas externas de brócoli (*Brassica oleracea italica*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y col (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) fueron adquiridas en la central de abastos de la ciudad de Irapuato Guanajuato, México. Posteriormente, fueron transportadas a la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato para su procesamiento.

Secado y modelado de cinéticas

Las muestras fueron cortadas en forma cuadrangular (1x1 cm, espesor 0.23±0.05 mm) evitando los nervios de las hojas. Posteriormente, 30 g de cada muestra fueron secados a través de dos métodos: secado por liofilización (SL) y secado por aire caliente (SAC). Los experimentos de SL se llevaron a cabo en un liofilizador escala laboratorio (FreeZone 2.5 L, EUA) que opera a una temperatura de -40°C. Los experimentos de SAC se realizaron a diferentes temperaturas: 30, 40 y 60°C, hasta alcanzar una pérdida de peso inicial constante (80%, brócoli y 85% para coliflor y col). Las cinéticas de SAC fueron determinadas mediante la pérdida de peso de la muestra durante el secado y la humedad inicial de la muestra (AOAC método N° 934.06) [6]. Para cada condición estudiada, los experimentos de SAC se realizaron por triplicado.

El modelado de las cinéticas de SAC se realizó empleando un modelo difusivo basado en la segunda ley de Fick y en un balance microscópico en un elemento diferencial de la muestra, asumiendo una geometría de lámina de espesor finito y demás dimensiones infinitas.

$$\frac{\partial W(x, t)}{\partial t} = D_w \left(\frac{\partial^2 W(x, t)}{\partial x^2} \right)$$

Donde W representa el contenido de agua (kg agua/kg materia seca), D_w la difusividad efectiva del agua (m^2/s), t el tiempo (s) y x la dirección característica de transporte (m).

El valor de D_w se obtuvo mediante el método de optimización del Gradiente Reducido Generalizado (GRG) disponible en la hoja de cálculo de Excel, Microsoft Office 2016. La bondad de los ajustes del

modelo se evaluó a través del cálculo del porcentaje de la varianza explicada (%VAR):

$$\%VAR = \left[1 - \frac{S_{xy}^2}{S_y^2} \right] \cdot 100$$

Donde S_{xy}^2 y S_y^2 son la desviación estándar de la estimación y de la muestra, respectivamente.

Compuestos bioactivos

La determinación de compuestos fenólicos totales de las muestras se realizó a través de la metodología propuesta por [7]. Los valores de absorbancia se leyeron a 765 nm y el contenido fenólico total de las muestras se reportó en equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco (EAG/g peso seco).

El contenido de flavonoides totales de las muestras se llevó a cabo siguiendo el método de [8], leyendo los valores de absorbancia a una longitud de onda de 415 nm. Los resultados fueron reportados como equivalentes de quercetina por gramo de peso seco (EQ/g peso seco).

Para la determinación de clorofila se empleó 0.2 g de muestra seca y 10 mL de acetona al 80%. El sobrenadante se centrifugó durante 10 min a 1000xg. Las lecturas para clorofila a y b se realizaron a 664 nm y 647 nm, respectivamente. Finalmente, el contenido total de clorofila (mg de clorofila total/g peso seco) fue determinado mediante la suma de ambos compuestos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido inicial de humedad para las hojas externas de brócoli, coliflor y col fueron 4.27 ± 0.15 , 3.49 ± 0.03 y 5.15 ± 0.10 kg agua/kg materia seca, respectivamente. En base a la Imagen 1, se observa que la temperatura de secado tuvo un efecto en la velocidad del SAC. A mayor temperatura de secado, menor fue el tiempo requerido para obtener una pérdida de peso constante.

El modelo difusivo propuesto ajustó de manera óptima a los resultados experimentales, obteniendo porcentajes de varianza superiores al 90% (Tabla 1). Los valores de D_w oscilaron entorno a un 0.36 y 9.17×10^{-12} m²/s. En todas las muestras estudiadas, los valores de D_w incrementaron al

aumentar la temperatura de secado, siendo este efecto más pronunciado en las hojas de coliflor (Tabla 1). Esto hecho puede ser atribuido a las diferencias fisicoquímicas y microestructurales entre las muestras.

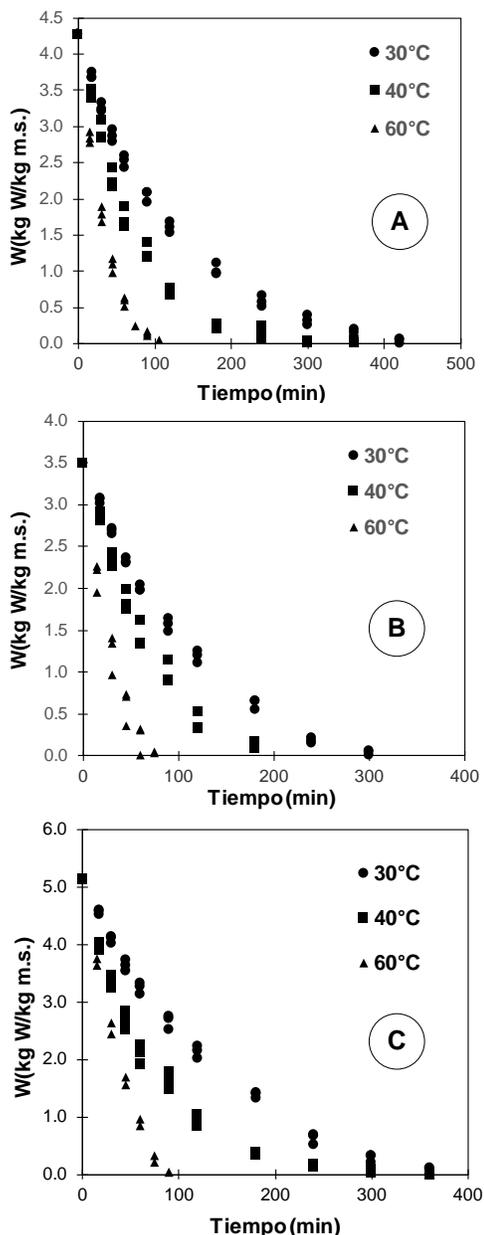


IMAGEN 1. Cinéticas de secado de hojas externas de brócoli (A), coliflor (B) y col (C) a diferentes temperaturas

Tabla 1. Valores de difusividad del agua (D_w) y porcentaje de varianza explicada (VAR) calculada por el modelo difusivo

Producto	T (°C)	D_w ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	VAR (%)
Hojas de brócoli	30	0.36 ± 0.03	95.64
	40	0.69 ± 0.06	96.86
	60	1.69 ± 0.12	98.13
Hojas de coliflor	30	0.91 ± 0.02	92.17
	40	1.64 ± 0.20	93.30
	60	4.75 ± 0.80	95.43
Hojas de col	30	1.88 ± 0.18	90.57
	40	4.33 ± 0.38	98.09
	60	9.17 ± 0.68	94.19

Respecto al efecto de la temperatura de secado en el contenido de compuestos bioactivos de las muestras, el SL se tomó como referencia para poder comparar los efectos que produjo el SAC en la concentración de fenoles totales, flavonoides y clorofila.

En el caso de la concentración de fenoles totales (Imagen 2, liofilización), se observa que las muestras de hojas de brócoli liofilizadas poseen un mayor contenido de compuestos fenólicos totales en comparación con las dos otras muestras liofilizadas estudiadas. Al comparar la temperatura de SAC queda en evidencia que al aumentar esta variable del proceso se obtuvieron mayores concentraciones de estos compuestos bioactivos. En el caso de las hojas externas de col (Imagen 2, C), se observa que la muestra secada a 60°C presentó casi el doble de la concentración de compuestos fenólicos que la muestra liofilizada (11.08 y 6.03 mg EAG/g peso seco, respectivamente). Sin embargo, en las muestras de coliflor (Imagen 2, B), las diferencias de la concentración de compuestos fenólicos totales entre el SL y el SAC a 60°C no fueron significativas.

Al comparar el SL, la Imagen 3 evidencia que las muestras de coliflor poseen un mayor contenido de flavonoides totales, seguido por las de brócoli y col (8.79, 7.14 y 3.25 mg EQ/g peso seco, respectivamente). Respecto al efecto de la temperatura de SAC, se observa una tendencia similar a los resultados obtenidos en compuestos fenólicos totales.

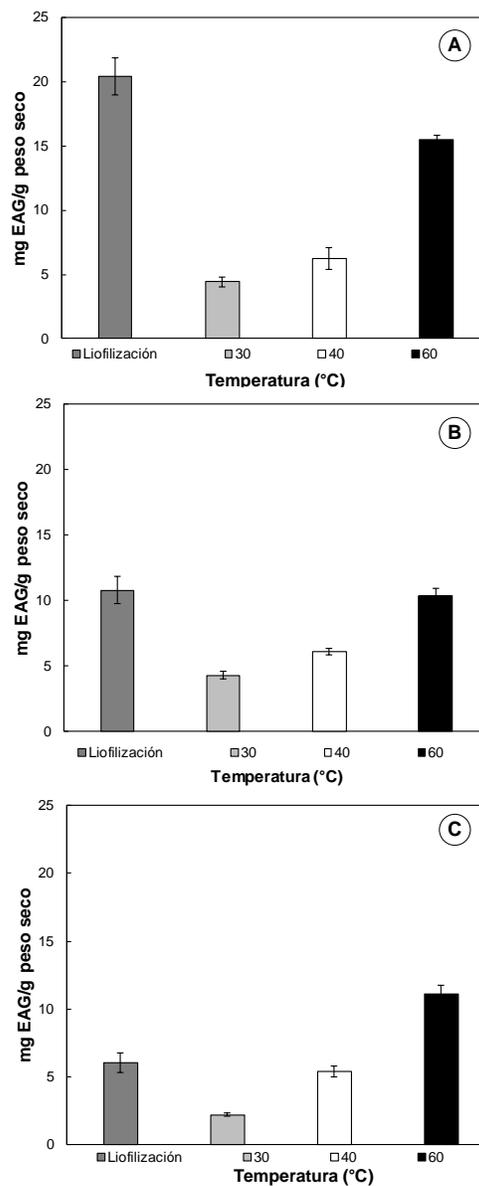


IMAGEN 2. Efecto de la temperatura de secado en la concentración de compuestos fenólicos totales presentes en hojas externas de brócoli (A), coliflor (B) y col (C)

Para las muestras de brócoli y coliflor (Imagen 3, A y B), la temperatura de 60°C resultó ser igual de efectiva que el SL para extraer estos compuestos. Sin embargo, en las muestras del col (Imagen 3, C), la temperatura de 40°C logró extraer una mayor concentración de flavonoides totales que las muestras liofilizadas y secadas a 60°C (5.12, 3.25 y 4 mg EQ/g peso seco, respectivamente).

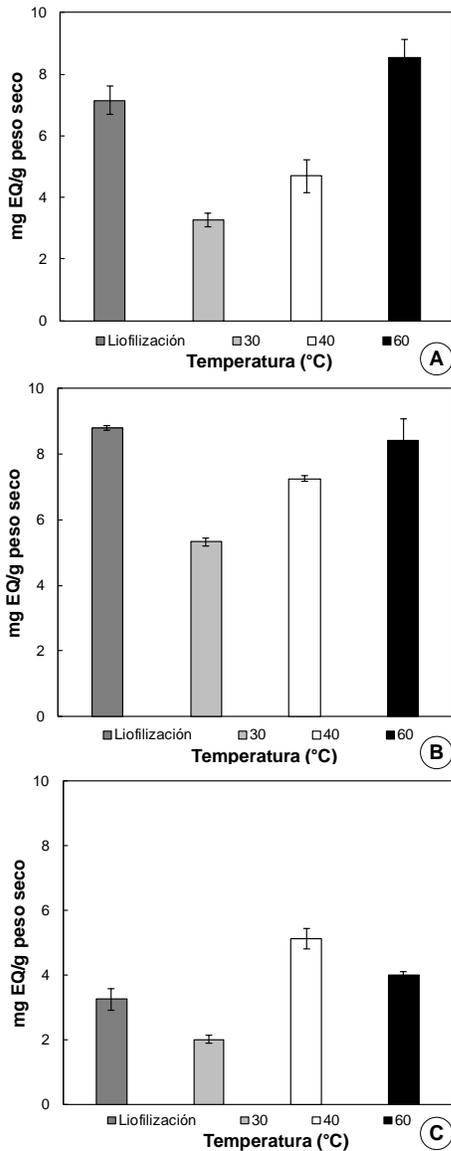


IMAGEN 3. Efecto de la temperatura de secado en la concentración de flavonoides totales presentes en hojas externas de brócoli (A), coliflor (B) y col (C)

Finalmente, al comparar el efecto del SL en la concentración final de clorofila (Imagen 4), se observó que las muestras de hojas de brócoli y coliflor poseen un mayor contenido de este biocompuesto (0.27 mg clorofila total/g peso seco) en comparación con las hojas de col (0.11 mg clorofila total/g peso seco). De igual forma que en la concentración de compuestos fenólicos y

flavonoides totales de todas las muestras, el incremento de la temperatura de SAC contribuyó a la extracción de clorofila. Cabe destacar que para las hojas de brócoli y coliflor (Imagen 4, A y B), el SAC a 60°C resultó ser un método de secado efectivo para preservar este biocompuesto previo a su extracción. En el caso de las hojas de col (Imagen 4, C), la temperatura de 40°C fue el tratamiento de secado más efectivo para extraer clorofila en este tipo de muestra (0.18 mg clorofila total/g peso seco).

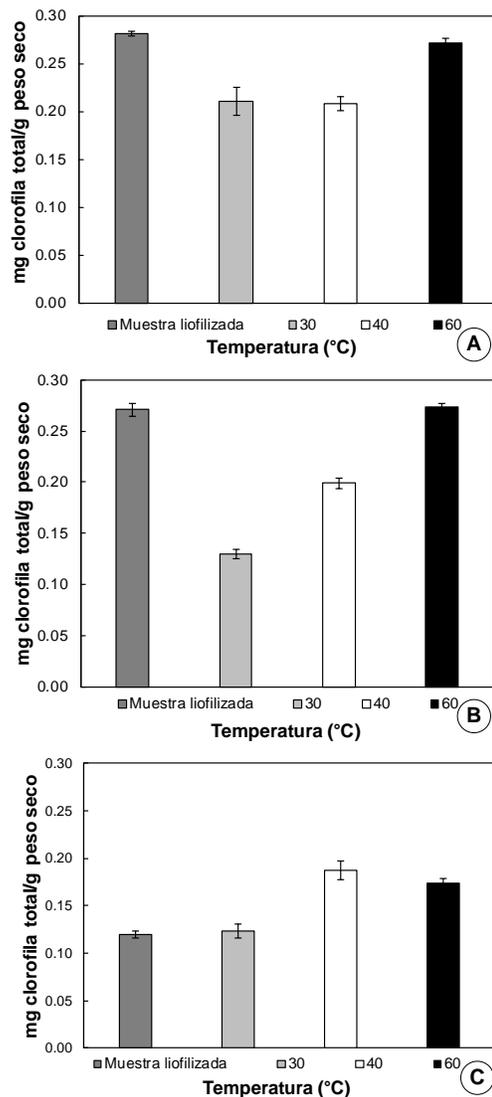


IMAGEN 4. Efecto de la temperatura de secado en la concentración de clorofila total presente en hojas externas de brócoli (A), coliflor (B) y col (C)

El efecto de la temperatura del SAC en la extracción de compuestos bioactivos obtenidos en esta investigación es congruente con los resultados obtenidos por [5] y [9] para hojas de olivo y tomillo, respectivamente. En ambos trabajos, demostraron que el incremento de la temperatura en el SAC favorece a la extracción de biocompuestos. Este efecto es atribuido a que altas temperaturas pueden inactivar enzimas que son las responsables de la degradación de compuestos bioactivos presentes en las muestras [5].

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, se puede observar que el tipo de material vegetal empleado y la temperatura de procesamiento son variables importantes para lograr maximizar la extracción de compuestos bioactivos. En la mayoría de las muestras estudiadas, el SAC a 60°C logró maximizar la extracción de compuestos fenólicos totales, flavonoides y clorofila. Esto puede resultar favorable para aplicaciones industriales, donde el SAC es uno de los principales métodos empleados para deshidratar alimentos, siendo además un método de secado más económico que el SL.

REFERENCIAS

- [1] Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68–87.
- [2] Ayala-Zavala, J. F., Rosas-Domínguez, C., Vega-Vega, V., & González-Aguilar, G. A. (2010). Antioxidant enrichment and antimicrobial protection of fresh-cut fruits using their own byproducts: Looking for integral exploitation. *Journal of Food Science*, 75(8), R175–R181.
- [3] Kushad, M. M., Brown, A. F., Kurilich, A. C., Juvik, J. A., Klein, B. P., Wallig, M. A. & Jeffery, E. H. (1999). Variation of glucosinolates in vegetable crops of brassica oleracea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4), 1541–1548.
- [4] Hwang J.-H. & Lim, S.-B. (2015). Antioxidant and anticancer activities of broccoli by-products from different cultivars and maturity stages at harvest. *Preventive Nutrition and Food Science*, 20(1), 8–14.
- [5] Ahmad-Qasem, M. H., Barraji-Catalán, E., Micol, V., Mulet, A., & García-Pérez, J. V. (2013). Influence of freezing and dehydration of olive leaves (var. Serrana) on extract composition and antioxidant potential. *Food Research International*, 50(1), 189-196.
- [6] AOAC, (1997). *Official Methods of Analysis*, Association of Official Analytical Chemists. Virginia, USA.

- [7] Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55.
- [8] Khanam, U. K. S., Oba, S., Yanase, E., & Murakami, Y. (2012). Phenolic acids, flavonoids and total antioxidant capacity of selected leafy vegetables. *Journal of Functional Foods*, 4(4), 979-987.
- [9] Rodríguez, J., Ortuno, C., Benedito, J., & Bon, J. (2013). Optimization of the antioxidant capacity of thyme (*Thymus vulgaris* L.) extracts: Management of the drying process. *Industrial Crops and Products*, 46, 258-263.