

ESTABILIDAD TÉRMICA DEL EXTRACTO ACUOSO DE FLOR DE JAMAICA (*HIBISCUS SABDARIFFA L.*). UN ESTUDIO PARA APLICACIONES ALIMENTARIAS

*José Luis Rodríguez Sánchez^{*1,2}, Nidia Cabrera Corrales² y Ana Silvia Falco Manso¹*

¹Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao km 3 ½,

CP 192000, La Habana, Cuba. E-mail: joseluis@iiaa.edu.cu

²Dpto Alimentos. Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de La Habana. Ave. 23 No. 21425, C.P.

13600, La Lisa, La Habana, Cuba

Recibido:11-04-2024 / Revisado: 25-04-2024 /Aceptado: 01-05-2024 / Publicado: 30-08-2024

RESUMEN

La sustitución de colorantes alimentarios sintéticos por naturales presenta un desafío, ya que el color y la estabilidad de los pigmentos dependen de diversos factores, como el pH, la temperatura y la presencia de oxígeno, entre otros. El objetivo de este trabajo fue determinar la cinética de degradación térmica de las antocianinas presentes en el extracto acuoso de flor de Jamaica. Los estudios de estabilidad se llevaron a cabo bajo condiciones controladas de temperatura en el intervalo de 60 – 90 °C. El análisis estadístico mostró que la degradación sigue una cinética de

primer orden y se determinó que el valor de la energía de activación es de 63,3 kJ/mol.

Palabras clave: Estabilidad térmica, antocianinas, *Hibiscus sabdariffa*, extracto acuoso.

ABSTRACT

Thermal stability of the aqueous extract of hibiscus flower (*hibiscus sabdariffa L.*): a study for food applications.

The substitution of synthetic colorants with natural ones presents a challenge, as the color and stability of pigments depend on various factors such as pH, temperature, and the presence of oxygen, among others. The objective of this study was to determine the thermal degradation kinetics of

anthocyanins present in the aqueous extract of hibiscus flower. Stability studies were conducted under controlled temperature conditions in the range of 60 – 90 °C. Statistical analysis revealed that degradation follows first-order kinetics, and the activation energy values was determined to be 63,3 kJ/mol.

Key words: Thermal stability, anthocyanins, *Hibiscus sabdariffa*, aqueous extract.

INTRODUCCIÓN

La flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) ha cobrado gran relevancia en la industria alimentaria debido a sus múltiples aplicaciones y beneficios. Reconocida por su intenso color rojo y sabor ácido, se utiliza ampliamente en la elaboración de bebidas, mermeladas, gelatinas y otros productos alimenticios (1). Su extracto acuoso, rico en antocianinas, no solo proporciona un colorante natural atractivo, sino que también aporta propiedades antioxidantes y beneficios para la salud como la reducción de la presión arterial y el colesterol (2-5).

La estabilidad de las antocianinas, pigmentos naturales responsables de los colores rojo y púrpura está influenciada por varios factores entre ellos la temperatura. La comprensión de cómo afectan su degradación es fundamental para optimizar las condiciones de procesamiento, almacenamiento y aplicación, que aseguraría la retención del color y las propiedades beneficiosas a la salud, lo que resulta esencial para su uso eficiente en la industria alimentaria. Por tanto, esta investigación se trazó como objetivo determinar la cinética de degradación térmica de las antocianinas presentes en el extracto acuoso de flor de Jamaica.

MATERIALES Y MÉTODOS

– Material experimental: Los cálices secos de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Anadelia fueron suministrados por la finca de plantas medicinales del Centro de Investigaciones y Desarrollo de Medicamentos (CIDEM) ubicada en Güira de Melena.

– Preparación del extracto de antocianinas: Los cálices secos fueron previamente homogeneizados utilizando un molino de cuchilla de alta velocidad (3 500 min⁻¹, 20 s). Una vez triturados, se pesó una porción de 10,0 g en un vaso de precipitado de 250 mL de capacidad, al cual se le adicionó 100 mL de agua destilada como disolvente de extracción. A continuación, se realizó la extracción por medio de un agitador magnético a 800 min⁻¹ durante veinte minutos. Concluida la extracción se procedió a filtrar el extracto a presión reducida.

– Tratamiento térmico: El extracto acuoso de antocianinas se distribuyó en tubos de polipropileno con cierre de 1,5 mL de capacidad. Cada experimento para un tratamiento térmico específico estuvo constituido por quince frascos conteniendo 1 mL de extracto, los cuales se colocaron en baño de agua con temperatura controlada. Las temperaturas objeto de estudio fueron: 60, 70, 80 y 90 °C (± 2,0 °C). A diferentes intervalos de tiempo, en dependencia de la temperatura de estudio, tres tubos fueron extraídos del baño, rápidamente enfriados e inmediatamente se les realizó la determinación del contenido total de antocianinas monoméricas por el método diferencial de pH con dos sistemas de búfer: búfer KCl (0,025 M) pH 1,0 y búfer de acetato de sodio (0,4 M) pH 4,5 (6). El contenido total de antocianinas del extracto fue expresado en mg/L de cianidina-3-glucósido.

– Modelación de la cinética de degradación: A partir de los datos experimentales de la concentración total de antocianinas contra tiempo, se realizó el análisis de regresión lineal para los modelos cinéticos: orden cero, primer orden y segundo orden (Tabla 1) y así determinar el orden de la reacción de degradación de las antocianinas presentes en el extracto acuoso y estimar las constantes cinéticas a las temperaturas seleccionadas.

El orden de la reacción de degradación se determinó con el modelo cinético de mejor ajuste, para lo cual se tuvo en

consideración el coeficiente de determinación (R^2) y la prueba F de falta de ajuste (7).

Tabla 1. Modelos cinéticos utilizados

	Ecuaciones lineales	Tiempo de vida medio ($t_{1/2}$)
Orden cero	$C = C_0 - kt$	$C_0/2k$
Primer orden	$\ln C = \ln C_0 - kt$	$\ln 2/k$
Segundo orden	$1/C = 1/C_0 - kt$	$1/kC_0$

C_0 concentración inicial; C concentración al tiempo t; k constante de velocidad.

Además, se determinó la energía de activación, E_a , por medio de la transformación lineal de la ecuación de Arrhenius:

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT$$

Donde k es la constante de velocidad de la reacción a la temperatura T, k_0 es el factor pre-exponencial, R es la constante universal de los gases (8,31 kJ/mol K) y T es la temperatura absoluta en Kelvin.

- Análisis estadístico: Los parámetros de los modelos cinéticos fueron estimados por el método de los mínimos cuadrados, así como el coeficiente de determinación (R^2) y la prueba F de la falta de ajuste mediante la herramienta de regresión lineal del paquete estadístico STATISTICA 8.0 (StatSoft, Inc).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Determinación del orden de la reacción: Los modelos cinéticos son fundamentales en la tecnología alimentaria ya que permiten predecir la estabilidad y la vida útil tanto de ingredientes como de productos alimenticios. El conocimiento de los parámetros cinéticos como el orden de reacción, la constante de velocidad y la energía de activación, son vitales para prever el comportamiento de los componentes de alimentos y la optimización de

procesos a fin de alcanzar la máxima calidad del producto alimenticio (8).

Es conveniente señalar que el orden de reacción es un concepto empírico, por lo que su valor tiene que ser determinado experimentalmente, ya que el mismo no puede ser derivado de la estequiometría de la reacción. De igual modo, la constante de velocidad y otros parámetros cinéticos son cantidades empíricas que deben ser estimadas experimentalmente a partir del modelo cinético de mejor ajuste (9).

Los resultados del análisis de regresión lineal se muestran en la Tabla 2. Como se puede observar, el modelo cinético de primer orden presenta mejor ajuste a los datos experimentales de la degradación térmica en función del tiempo. En términos generales, el coeficiente de determinación fue el más elevado (superior a 0,95) y en ninguna de las temperaturas evaluadas la prueba de falta de ajuste resultó significativa. Por lo tanto, se puede concluir que la cinética de primer orden explica con menor error la degradación de las antocianinas debido a la temperatura.

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con lo publicado por otros autores sobre la degradación térmica de las antocianinas de diferentes fuentes. Fernando y Cisneros (10), al evaluar el efecto de la temperatura en la estabilidad de extractos de antocianinas provenientes de papas rojas y moradas comprobaron que la degradación de estos compuestos seguía un comportamiento exponencial típico de primer orden. De igual modo, Mercadante (11) comprobó que el modelo cinético de primer orden fue el que mejor se ajustó a los resultados experimentales de la degradación térmica de las antocianinas provenientes de acerola en función del tiempo. Recientemente, Martynenko y Chen (12) reportaron que durante el procesamiento de la pulpa de arándanos la disminución del contenido de antocianinas sigue una cinética de primer orden. Por lo general, la cinética de primer orden es

considerada como la que mejor describe los cambios de la concentración de componentes o la intensidad de atributos en los productos alimenticios en función del tiempo (13, 14).

Tabla 2. Comparación de modelos cinéticos de la degradación de las antocianinas del extracto de flor de Jamaica a las diferentes temperaturas de estudio

Modelo cinético	Temperatura							
	60 °C		70 °C		80 °C		90 °C	
	R ²	P.F.A.	R ²	P.F.A.	R ²	P.F.A.	R ²	P.F.A.
Orden cero	0,998	NS	0,930	*	0,955	NS	0,867	*
Primer orden	0,994	NS	0,954	NS	0,984	NS	0,985	NS
Segundo orden	0,930	NS	0,957	NS	0,983	NS	0,921	NS

R² coeficiente de determinación; P.F.A. prueba de falta de ajuste; NS no significativo (p>0,05); * significativo (p <0,05).

En la Tabla 3 se presentan los parámetros cinéticos de la degradación derivados de considerar la cinética de primer orden. Como era de esperar, la degradación se acentúa por el aumento de la temperatura, lo que afecta el tiempo de vida media. La estabilidad térmica de las antocianinas ha sido ampliamente estudiada por numerosos investigadores, sin embargo, sobre las antocianinas de la flor de Jamaica la información es escasa, a pesar del amplio uso que tienen los extractos en la elaboración de diversos productos alimenticios. Domínguez y col. (15), evaluaron el efecto de la temperatura en el intervalo de 60 hasta 100 °C sobre la infusión de Jamaica, reportando valores de constantes de velocidad entre 0,6 y $3,6 \times 10^{-3} \text{min}^{-1}$, mientras que Fernández y col. (16), al determinar la estabilidad térmica de seis extractos de colorantes naturales, informaron valores de k de 0,092 y $0,29 \text{h}^{-1}$ y tiempo de vida media de 7,5 y 2,4 horas para 70 y 90 °C respectivamente, para el extracto de flor de Jamaica. En ambos casos, los valores informados son similares a los determinados en este estudio.

– Determinación de la energía de activación: La determinación de este parámetro cinético se llevó a cabo utilizando el modelo de Arrhenius a partir de los datos experimentales. En la Figura 1 se presenta el gráfico de Arrhenius, que muestra un satisfactorio ajuste de los resultados experimentales. La energía de activación calculada a partir de la pendiente de la recta de regresión fue 63,3 kJ/mol, un valor que se sitúa dentro del rango general de 35 a 125 kJ/mol reportado por Heldman (9) para la degradación térmica de las antocianinas. Resultados similares a los obtenidos en esta investigación han sido reportados por Domínguez y col. (15) quienes informaron una energía de activación de 62,2 kJ/mol en un estudio sobre infusiones de flor de Jamaica. Por su parte, Gradinaru y col. (17), encontraron valores entre 55,6 y 63,4 kJ/mol al investigar la estabilidad térmica de antocianinas individuales de la misma flor.

Tabla 3. Influencia de la temperatura en las constantes cinéticas de degradación (k) y el tiempo de vida media ($t_{1/2}$).

Temperatura	k (min ⁻¹) ^a	$t_{1/2}$ (h) ^a
60 °C	$0,7 \times 10^{-3}$	16,5
70 °C	$1,65 \times 10^{-3}$	7,0
80 °C	$2,35 \times 10^{-3}$	4,9
90 °C	$5,63 \times 10^{-3}$	2,1

^a Promedio de tres experimentos.

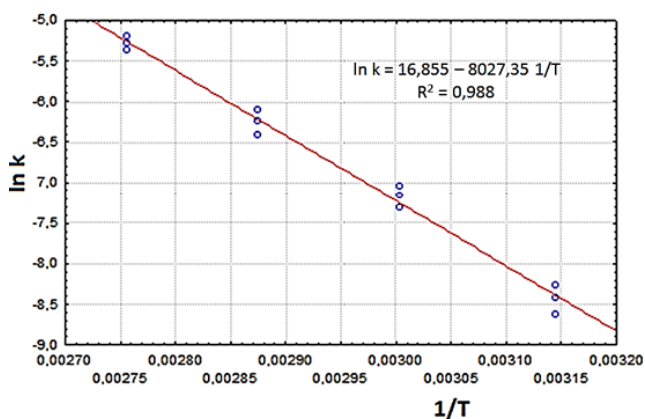


Fig.1. Gráfico de Arrhenius para la degradación de las antocianinas del extracto de flor de Jamaica en función de la temperatura.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio proporcionan información detallada sobre la cinética de la degradación térmica de las antocianinas presentes en el extracto de flor de Jamaica. Esta información es una herramienta valiosa para predecir los cambios que experimentan estos pigmentos bajo diferentes condiciones de temperatura tanto en procesos tecnológicos como durante el almacenamiento.

Atendiendo a los valores de las constantes de degradación y los tiempos de vida media a diferentes temperaturas estimado en este estudio, las antocianinas presentes en el extracto acuoso son sensibles a la degradación térmica, aspecto a tener

en consideración en las distintas aplicaciones en la industria alimentaria.

REFERENCIAS

1. Cisse M, Dornier M, Sakho M, Ndiaye A, Reynes M, Sock O. Le bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.): composition et principales utilisations. *Fruits* 2009; 64:179 -93
2. Jabeura, I, Pereira, E, Barrosa, L, Calhelha, RC, Soković, M. *Hibiscus sabdariffa* L. as a source of nutrients, bioactive compounds and colouring agents. *Food Res Int* 2017; 100: 717 - 23.
3. Tsai PJ, McIntosh J, Pearce P, Camden B, Jordan BR. Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Int. Food Res* 2002; 35: 351-56.
4. Herrera-Arellano A, Miranda-Sánchez J, Avila-Castro P, Herrera-Alvarez S, Jiménez-Ferrer JE, Zamilpa A y otros. Clinical effects produced by a standardized herbal medicinal product of *Hibiscus sabdariffa* on patients with hypertension. A randomized, double-blind, lisinopril controlled clinical trial. *Planta Medica* 2007; 73: 6-12.
5. Lin TL, Lin HH, Chen CC, Lin MC, Chou MC, Wang CJ. *Hibiscus sabdariffa* extract reduces serum cholesterol in men and women. *Nutr Res* 2007; 27: 140-45.
6. AOAC. Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines. pH Differential Method, Method 2005.02 en: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th Edition, Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC; 2005.
7. Van Boekel MAJS. Statistical aspects of kinetic modeling for food science problems. *J. Food Sci* 1996; 61:477 - 86.
8. Toukis PS, Labuza T, Saguy IS. Kinetics of food deterioration and shelf life prediction. En: KJ Valentas, E Rotstein, RP Singh (Eds.). *The Handbook of Food Engineering Practice*, CRC Press LLC, Boca Raton 1997; pp. 361 - 403.

9. Heldman, DR. Kinetic models for food systems. En: Food Preservation Process Design, London, Academic Press, Elsevier 2011; pp. 20 – 48.
10. Fernando L, Cisneros L. Kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple and red-flesh potatoes (*Solanumtuberosum* L.). Food Chem 2005; 100: 885 - 94.
11. Mercadante A. Evaluation of colour and stability of anthocyanins from tropical fruit in an isotonic soft drink system. Innov Food Sci Emerg Technol 2007; 8: 347 - 52.
12. Martynenko A, Chen Y. Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blue berry hydrothermodynamic (HTD) processing. J. Food Eng 2016; 171:44 - 51.
13. Lund D. Predicting the impact of food processing on food constituents. J Food Eng 2003; 56: 113 - 17.
14. Villota R, Hawkes JG. Reaction kinetics in food systems. En: Heldman, DR y Lund, DB. (Eds). Handbook of food engineering, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group 2007; pp. 125 - 286.
15. Dominguez A, Remondetto GE, Navarro S. Thermal kinetic degradation of anthocyanins in a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. cv. ‘Criollo’) infusion. Int J Food Sci Technol 2008; 43:322 - 25.
16. Fernández JA, Angosto JA, Giménez PJ, León G. Thermal Stability of Selected Natural Red Extracts Used as Food Colorants. Plant Food Hum Nutr 2013; 68:11 - 7.
17. Gradinaru G, Biliaderis CG, Kallithraka S, Kefalas P. Thermal stability of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanins in solution and in solid state, effects of copigmentation and glass transition. Food Chem 2003; 83:423 - 36.