

ARTÍCULO CIENTÍFICO

APLICACIÓN DE PULSOS ULTRASÓNICOS PARA LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DEL ERIZO PÚRPURA (*Strongylocentrotus purpuratus*)

Francisco Cadena-Cadena y Joe Luis Arias-Moscoso*

Resumen

En el presente estudio, se extrajeron pigmentos a partir de subproductos del erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*), como lo son el caparazón y las espinas. Para este proceso se utilizó el método de maceración con diferentes solventes (acetona, agua, hexano y etanol) y extracción con la asistencia de pulsos ultrasónicos. Una vez extraídos los pigmentos se determinaron las propiedades antioxidantes por el método de DPPH, ABTS y FRAP. Los resultados mostraron una mayor capacidad antioxidante en los métodos de maceración con agua como solvente; sin embargo, los extractos obtenidos con el método de asistencia con pulsos ultrasónicos presentaron valores más altos para todos los solventes con excepción del agua. Este estudio demostró, bajo las condiciones propuestas, un efecto positivo del uso de los pulsos ultrasónicos en los procesos de maceración con distintos solventes, lo cual puede ser favorable para extraer un tipo de molécula en particular para potenciar su capacidad antioxidante.

Palabras Clave:

Capacidad antioxidante, subproductos, propiedades antioxidantes, maceración.

Abstract

In the present study, pigments were extracted from by-products of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*), such as the shell and spines. For this process, the maceration method with different solvents (acetone, water, hexane, and ethanol) and extraction with ultrasonic pulses were used. Once the pigments were extracted, the antioxidant properties were determined by the DPPH, ABTS, and FRAP methods. The results showed a greater antioxidant capacity in the maceration methods with water as a solvent; however, the extracts obtained with the method assisted with ultrasonic pulses presented higher values for all solvents except water. This study demonstrated, under the proposed conditions, a positive effect of using ultrasonic pulses in maceration processes with different solvents, which may be favorable to extract a particular type of molecule to enhance its antioxidant capacity.

Keywords:

Oxidative capacity, by-products, antioxidant properties, maceration

Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México/I. T. Valle del Yaqui.
Av. Tecnológico Block 611, Bacúm, Sonora, México, C.P. 85276.

*Autor de correspondencia: joe.am@vyaqui.tecnm.mx

1. Introducción

En la mayoría de las pesquerías, la del erizo púrpura genera desechos después de su procesamiento industrial y gastronómico, ya que la única región anatómica utilizada para comercializar y de consumo humano directo es la gónada. Por lo tanto, la estructura externa (caparazón y espinas) es desechada, generalmente hacia los mares. Esto genera contaminación por las grandes cantidades de materia orgánica arrojadas. Para disminuir el impacto

ambiental y económico que esta actividad ocasiona, el uso de este subproducto es una solución, la cual aplica en la obtención de pigmentos con propiedades funcionales como la capacidad antioxidante (Pagels et al., 2021). Otros compuestos provechosos son los colorantes a base de pigmentos (Zhang et al, 2024), cuya aplicación ayuda en el aumento o asignación de color a los alimentos, telas, tintas, etc., siendo más cotizados los pigmentos naturales. La Figura 1 muestra el erizo de mar y su subproducto.



Fig. 1. Ejemplos de erizo de mar: a) vivo y b) subproducto.

Los métodos de extracción de pigmentos son diversos siendo el más utilizado la maceración (Trusheva et al., 2007). Por otro lado, la asistencia del proceso de maceración con el uso de pulsos ultrasónicos es una tecnología emergente y considerada amigable con el ambiente (Dey & Rahod, 2013; Kumar et al., 2022); ésta utiliza ondas acústicas que viajan por la superficie del material a una velocidad determinada dependiendo de su naturaleza (Strohm et al, 2017). Esta investigación se desarrolló con la finalidad de evaluar el efecto los pulsos ultrasónicos en el proceso de extracción de pigmentos de los subproductos del erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*). Así como, la determinación de efectos en el rendimiento de los pigmentos y las propiedades antioxidantes de las distintas fracciones obtenidas.

2. Metodología

En la actualidad, la determinación de la actividad antioxidante es posible con diferentes metodologías.

En la última década, los métodos in vitro han cobrado importancia y se fundamentan en la neutralización de radicales libres sintéticos, como la evaluación con difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH por sus siglas en inglés), capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC por sus siglas en inglés) (Rodríguez Aguirre et al., 2015) y la actividad antioxidante reductora férrica (FRAP por sus siglas en inglés) (Mercado Mercado et al., 2013). Por otra parte, los pulsos ultrasónicos están fundamentados en ondas de sonido en frecuencias mayores a las audibles por el ser humano, en un rango de 16 kHz a 20 MHz. El sistema ultrasónico es un procesador VCX 750 (Vibra cell, Sonics, Newton CT, USA) con aleación de titanio y una boquilla de 13 mm con fuente de poder de 750W a una frecuencia de 20 kHz. La Figura 2 muestra este equipo. Este estudio determinó las propiedades fisicoquímicas de su composición químico proximal, humedad, ceniza, proteínas y lípidos.

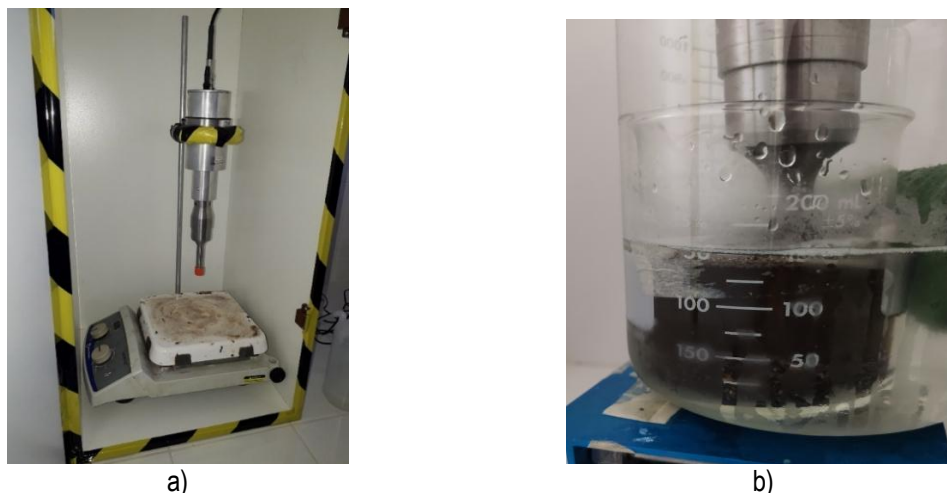


Fig. 2. Equipo ultrasónico usado en este trabajo: a) vista general y b) aplicación antes de la maceración.

3. Resultados

En la Tabla 1 se presentan los promedios de los análisis proximales del erizo púrpura, dividiendo el organismo en su parte comestible y la parte desechable, considerada un subproducto. Además, se realizó una comparación con otras especies de erizos de mar. Los valores de proteínas en las gónadas son

similares a los obtenidos en otras especies. Se observó una ausencia de lípidos en el caparazón, mientras que los bajos valores de proteína podrían estar relacionados con los vestigios de tejidos conectivos protectores en el interior del organismo, ya que la estructura externa del erizo está mayormente compuesta por minerales.

Tabla 1. Composición química proximal del caparazón y gónadas de erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*).

Muestra	Caparazón de erizo púrpura (<i>S. purpuratus</i>)	Gónadas de erizo púrpura (<i>S. purpuratus</i>)	Gónadas de erizo (<i>S. franciscanus</i>)*	Gónadas de Erizo verde (<i>L. albus</i>)**
Proteína (%)	0.28 ± 0.18	12.43 ± 0.57	13.63 ± 0.41	11.3 ± 0.3
Lípidos (%)	-	4.98 ± 0.4	5.04 ± 0.30	5.1 ± 0.4
Cenizas (%)	40.8 ± 0.15	3.76 ± 0.25	3.73 ± 0.05	2.26 ± 0.25
Humedad (%)	-	77.53 ± 0.81	75.40 ± 0.51	74.8 ± 0.5

Las determinaciones se realizaron por triplicado y los datos presentados son los promedios.

*Valores tomados de Cuevas-Acuña et al. (2019).

**Valores tomados de Huayta Osco (2019).

La Tabla 2 presenta la determinación de la actividad antioxidante con un patrón similar en los métodos analizados en este estudio: la actividad secuestrante del radical DPPH, la TEAC y el FRAP. Desde la perspectiva de los solventes, los mejores resultados en la prueba de DPPH se obtuvieron utilizando agua y etanol, que son los solventes con mayor polaridad. Esto sugiere que la estructura química de los extractos contiene grupos funcionales polares. Juárez Espinoza (2010) reporta la presencia de naftoquinonas, pigmentos naturales presentes en equinodermos, los cuales suelen tener grupos

hidroxilo y/o metilo como sustituyentes. El grupo hidroxilo confiere solubilidad en agua (hidrofílico), lo cual se refleja en mis resultados: en la técnica de extracción más simple, la maceración, el uso de agua como solvente produjo los valores más altos. Esto indica que los pigmentos extraídos podrían pertenecer al grupo de las naftoquinonas. Por otro lado, bajo las condiciones del presente estudio las muestras tratadas con la asistencia de pulsos ultrasónicos no tuvieron efecto significativo para la extracción de compuestos con capacidad secuestrante de radical DPPH.

Tabla 2. Actividad antioxidante de muestras de erizo de mar obtenidos por maceración y extracción asistida por pulsos ultrasónicos

Método de extracción	Solvente	DPPH	ABTS	FRAP
		mg ET/g muestra		
Maceración	Aqua	108.66 ^a ± 7.63	112.29 ^a ± 4.19	155.41 ^a ± 1.42
Maceración	Etanol	25.18 ^c ± 3.99	62.39 ^{bc} ± 3.54	31.57 ^d ± 8.86
Maceración	Acetona	46.60 ^b ± 2.19	72.58 ^b ± 3.58	47.76 ^c ± 1.23
Maceración	Hexano	35.05 ^c ± 6.63	67.71 ^c ± 5.24	39.26 ^d ± 1.32
Pulsos ultrasónicos	Aqua	32.30 ^c ± 3.92	64.82 ^c ± 1.58	33.09 ^d ± 5.16
Pulsos ultrasónicos	Etanol	98.50 ^a ± 2.47	79.73 ^b ± 0.95	97.95 ^b ± 3.23
Pulsos ultrasónicos	Acetona	51.79 ^b ± 7.30	78.24 ^b ± 4.95	38.83 ^{cd} ± 8.01
Pulsos ultrasónicos	Hexano	48.34 ^b ± 0.63	69.46 ^{bc} ± 2.40	39.77 ^d ± 2.29

Los valores son la media ± desviación estándar (SD) de tres repeticiones (n>3). ANOVA unidireccional, con la prueba Tukey. Las medias seguidas de una letra minúscula diferente en la misma columna indican diferencias significativas (p < 0.05).

Los resultados del análisis de TEAC son coherentes con los obtenidos en la prueba de DPPH. El mejor resultado se logró mediante la técnica de maceración con agua, 112.29 mg ET/g muestra, mientras que los valores más bajos correspondieron a los extractos obtenidos con maceración en hexano y a los extraídos con pulsos ultrasónicos en agua, 62.71 mg ET/g muestra y 64.82 mg ET/g muestra, respectivamente. Este cambio en los resultados de las extracciones con agua sugiere que los compuestos hidrosolubles pueden verse afectados durante el proceso de cavitación por ultrasonido.

La extracción con agua destaca por su capacidad de extraer compuestos antioxidantes, probablemente debido a su mayor polaridad. Esto se debe a que en la naturaleza existen muchos compuestos hidrosolubles, como los equinocromos, que pertenecen al grupo de las naftoquinonas y han sido reportados en varias especies de erizos (Ye et al., 2019). Casillas-Navarrete (2014) también observó una mayor capacidad antioxidante en muestras extraídas con agua mediante la técnica de maceración, señalando que las extracciones acuosas no solo aíslan pigmentos, sino que también capturan cualquier otro componente soluble debido a la baja selectividad del agua.

La mejora de la capacidad antioxidante en los extractos obtenidos con la asistencia de pulsos ultrasónicos se dio con el uso de los solventes acetona, etanol y hexano, posiblemente esté relacionado con el medio donde se propagan las ondas ultrasónicas ya que crean ciclos alternos de alta y baja presión. Este proceso genera burbujas de cavitación que crecen durante estos ciclos hasta que no pueden soportar más energía y colapsan. Este

colapso genera condiciones extremas localizadas en la muestra sometida a los pulsos, lo que permite que el solvente se incorpore y extraiga los pigmentos de manera más eficiente. Como resultado, se logra una mejora en el rendimiento del solvente.

Los resultados indican que asistir la maceración con pulsos ultrasónicos en etanol mejora la capacidad antioxidante de los extractos. Soto-García & Rosales-Castro (2016) describieron que el etanol en concentraciones superiores al 50% favorece el rendimiento de extracción, lo cual se confirma en este estudio. Corana-Jiménez et al. (2015) reportan que la polaridad del agua disminuye con los pulsos ultrasónicos, afectando su capacidad de extracción. Además, el agua presenta una baja selectividad, lo que se evidencia en el fuerte olor del extracto, a diferencia de los otros solventes utilizados. Por otro lado, el agua pierde efectividad al extraer pigmentos del erizo púrpura con ultrasonidos, resultando en un rendimiento ineficiente; sin embargo, el uso de los pulsos potencia la capacidad antioxidante en los otros solventes utilizados, lo cual puede favorecer la extracción y rendimiento de compuestos específicos alineados a la polaridad y fuerza iónica del solvente asociado a algún componente fenólicos de alta capacidad antioxidante.

4. Conclusiones

La extracción de pigmentos antioxidantes de subproductos del erizo púrpura *S. purpuratus* es posible mediante maceración y ultrasonidos. El agua es el solvente más eficiente en la extracción por maceración, mientras que el etanol, acetona y hexano lo es con la asistencia de ultrasonidos. La eficacia de los ultrasonidos depende del solvente, ya

que algunos, como el agua, pierden afinidad, mientras que otros como etanol, acetona y hexano mejoran su rendimiento. Los compuestos fenólicos contribuyen a la actividad antioxidante y tienen afinidad por distintos solventes.

Referencias

- Casillas Navarrete, I. (2014). Propuesta de una práctica de extracción líquida en una etapa para el laboratorio de introducción a los procesos de separación. Ciudad de México, Tesis de Ingeniería Química, Instituto Politécnico Nacional.
- Corana Jimenez, E., Martinez Navarrete, N., Ruiz Espinoza, H. & Carranza Concha, J., (2015). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. *Agrociencia*, 50(4), 403-412.
- Cuevas-Acuña, D.A., Gracia Valenzuela, M.H., Santacruz-Ortega, H.C., Valdez-Melchor, R.G., & Arias-Moscoso, J.L. (2019) Composición química, contenido de proteína, aminoácidos y morfología de gónadas de erizo de mar (*Strongylocentrotus franciscanus*), *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 21(3), 86-91.
- Dey, S., & Rathod, V.K. (2013) Ultrasound assisted extraction of β -carotene from *Spirulina platensis*, *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 271-276.
DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.05.010.
- Huayta Osco, J.K. (2019) Evaluación de la calidad físico, químico y sensorial en la producción de lenguas de erizo (*Loxechinus albus*) de diferentes procedencias. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Perú.
- Juárez Espinoza, P.A. (2010). Determinación de la actividad biológica de los extractos orgánicos del erizo de mar *Diadema mexicanum* A. Agaziss, 1863, La Paz, Baja California Sur, Tesis de Biólogo Marino, Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Kumar, G., Upadhyay, S., Yadav, D. K., Malakar, S., Dhurve, P., & Suri, S. (2023). Application of ultrasound technology for extraction of color pigments from plant sources and their potential bio-functional properties: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 46(6), e14238.
DOI: 10.1111/jfpe.14238.
- Mercado Mercado, G., de la Rosa Carrillo, L., Wall-Medrano, A., López Díaz, J.A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, Volumen 1, 36-46.
- Pagels, F., Pereira, R.N., Vicente, A.A., & Guedes, A.C. (2021). Extraction of Pigments from Microalgae and Cyanobacteria—A Review on Current Methodologie. *Applied Sciences* 11(11), 5187.
DOI: 10.3390/app11115187.
- Rodríguez Aguirre, O.E., Andrade Barreiro, W.A. & Díaz López, F.E., (2015). Actividad antioxidante de extractos de hojas de *Bocconia frutescens* L. (Papaveraceae). *Revista de Tecnología*, 14(2), 21-36.
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M., (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 4(18), 701-714.
- Strohm, E.M., Wirtzfeld, L.A., Czarnota, G.J., & Kolios, M.C. (2017). High frequency ultrasound imaging and simulations of sea urchin oocytes. *J. Acoust. Soc. Am.* 142 (1), 268–275. <https://doi.org/10.1121/1.4993594>.
- Trusheva, B., Trunkova, D. & Bankova, V. (2007) Different extraction methods of biologically active components from propolis: a preliminary study. *Chemistry Central Journal*, 1, 1-13.
DOI: 10.1186/1752-153X-1-13.
- Ye, K.X., Fan, T.T., Keen, L.J., & Han, B.N. (2019). A review of pigments derived from marine natural products. *Israel Journal of Chemistry*, 59(5), 327-338.
- Zhang, Z.-H., Huang, X., Chen, J., Qin, Y., & Gao, X., (2024) Recent research and prospects of non-thermal physical technologies in green and high-efficient extraction of natural pigments: A review, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 92, 103593.
DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103593.